

2016 年度案件別外部事後評価
パッケージⅣ－3（インドネシア）

平成 30 年 1 月
(2018 年)

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

委託先
三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング株式会社
新光オーエムシー株式会社
オクタヴィアジャパン株式会社

評価
JR
17-58

本評価結果の位置づけ

本報告書は、より客観性のある立場で評価を実施するために、外部評価者に委託した結果を取り纏めたものです。本報告書に示されているさまざまな見解・提言等は必ずしも国際協力機構の統一的な公式見解ではありません。

また、本報告書を国際協力機構のウェブサイトに掲載するにあたり、体裁面の微修正等を行うことがあります。

なお、外部評価者とJICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等の見解が異なる部分に関しては、JICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等のコメントとして評価結果の最後に記載することがあります。

本報告書に記載されている内容は、国際協力機構の許可なく、転載できません。

インドネシア

2016年度 外部事後評価報告書

円借款「メラピ山プロゴ川流域及びバワカラエン山緊急防災事業」

外部評価者：新光オーエムシー株式会社 杉本 正実

0. 要旨

本事業はジョグジャカルタ特別州におけるメラピ山噴火による同山麓・プロゴ川下流部、及び南スラウェシ州のバワカラエン山カルデラ大崩壊によるジェネベラン川流域及びビリビリ・ダムに対するハード、ソフトの両面からの防災対策を行う2事業より構成される。両事業のうちメラピ山・プロゴ川流域事業においては人命及び公的・私的財産保護の促進、及び同地域の持続可能な防災体制の構築を図り、もって地域開発の促進に寄与すること、バワカラエン山事業においては土石流から人命及び農地等を含む公的・私的財産を保護し、被災地域からの土砂流出を防止することで下流のダム機能を改善することを図り、もって州都マカッサル市及びその周辺地域への安定的な水供給等を通じて同市及びその周辺地域の社会経済活動の維持に寄与することを目的として実施された。

本事業の実施はインドネシアの開発政策、自然災害に取り組む国際枠組み、開発ニーズ及び事前評価時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。一方、事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

メラピ山事業においては事業実施中に発生した想定外の大噴火により当初設定した定量指標である土砂制御率は効果が測定不能となったが、過去の被災統計及び受益者調査その他より事業の防災効果及び地域開発効果が確認できた。またバワカラエン山事業でも各種指標の達成状況及び受益者調査その他により防災及び地域開発効果が確認できた。以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性、インパクトは高いといえる。

整備された砂防施設の維持管理体制、公共事業・国民住宅省水資源総局の責任機関である両流域管理事務所の技術、財務には問題が認められないが、本事業で計画された土砂採掘管理公社設立が実現されなかったことによる違法土砂採掘のコントロール体制整備が未実現であり、また予警報システム機器等の運営・維持管理には懸念がみられる。従って本事業の運営・維持管理の体制面、状況には軽度な問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本事業の評価は高いといえる。

1. 案件の概要



(プロジェクト位置図)



(床固め工 <Consolidation Dam> : バワカラエン山事業)

1.1 事業の背景

<メラピ山・プロゴ川流域>

メラピ山は標高 2,986m、インドネシアの古都ジョグジャカルタ市の北北西約 30 km に位置する世界でも有数の活火山であり、記録の残っている 1800 年以降 40 回以上の噴火を繰り返している。1990 年代に入っても 2、3 年に 1 度の噴火が続き、大量の不安定土砂が堆積し土石流の発生可能性も高まっていた。またメラピ山周辺では土砂の採掘が盛んに行われており、管理されない土砂採掘により既存砂防施設の損傷、河道の変動、下流での河床低下、騒音・粉塵等による環境悪化、過積載車両による道路の破壊等の問題が生じており、火山、土砂災害防止及び土砂採掘管理体制の整備といった総合的な対策を講じる必要があった。

<バワカラエン山>

2004 年 3 月 26 日、スラウェシ島南部・ジェネベラン川源流域のバワカラエン山（標高 2,833m）のカルデラ壁の大崩壊が起こった。崩壊土砂は 2.5 km 下流の村にまで到達し、死者・行方不明者 32 名、総額 220 億ルピア（約 3 億円<審査時為替レート 0.012 円/ルピア>）の被害を与えた。カルデラ内外に堆積した崩壊土砂量は 2~3 億 m³ と推定され、崩壊後の降雨により土石流が繰り返し発生し 2004 年 6 月までの 3 か月間に約 1,400 万 m³ の土砂が堆積地点から流出したと推定されている。これによりカルデラより 5 km 下流にある砂防ダムが完全に埋没したほかジェネベラン川流域の農地の埋没や河川を横断する交通障害等の被害が発生した。また、崩壊地点から下流 35 km には円借款により建設されたビリビリ多目的ダムがあり、マカッサル市への上水、電力供給及びマカッサル市周辺地域への灌漑用水供給などの機能を有しているが、崩壊土砂の流入及びそれに伴う水質の劣化によるダム機能低下が懸念されており、人口 120 万人を有するマカッサル市及びその周辺地域の社会経済活動を妨げる要因の排除と地域住民の安全確保の措置を講ずる必要があった。

1.2 事業概要

<メラピ山及びプロゴ川流域>

ジョグジャカルタ市の北約 30 kmにあるメラピ山麓・プロゴ川下流部において、火山砂防対策、河床低下対策、予備警報システム整備及び土砂採掘管理の改善等といったハード・ソフト両面からの対策を行うことにより、人命及び公的・私的財産保護の促進、及び同地域の持続可能な防災体制の構築を図り、もって地域開発の促進に寄与する。

<バワカラエン山>

2004年3月の南スラウェシ州バワカラエン山の大规模崩壊によって土砂災害が発生したジェネベラン川流域において、既存インフラ（桥梁等）の修復、砂防施設及び土石流予警報システムを整備することにより、土石流から人命及び農地等を含む公的・私的財産を保護し、被災地域からの土砂流出を防止することで下流のダム機能を改善することを図り、もって州都マカッサル市及びその周辺地域への安定的な水供給等を通じて同市及びその周辺地域の社会経済活動の維持に寄与する。

円借款承諾額／実行額	16,436 百万円／16,385 百万円
交換公文締結／借款契約調印	2005 年 3 月／2005 年 3 月
借款契約条件	金利 1.5% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイド
借入人／実施機関	インドネシア共和国／公共事業・国民住宅省水資源総局
貸付完了	2014 年 7 月
本体契約	PT. WIJAYA KARYA (インドネシア) / HAZAMA CORPORATION (日本)、PT. ADHI KARYA (インドネシア) / PT. BRANTAS ABIPRAYA (インドネシア) / PT. GUNAKARYA NUSANTARA (インドネシア) PT. WIJAYA KARYA (インドネシア) / SHIMIZU CORPORATION (日本)
コンサルタント契約	八千代エンジニアリング(日本)、建設技術インターナショナル(日本)
関連調査 (フィージビリティ・スタディ：F/S) 等	-
関連事業	(技術協力) <メラピ山及びプロゴ川流域> メラピ山火山防災基本計画 (1977-1980)

	<p>火山地域総合防災(ISDM)プロジェクト(2000-2006) インドネシアにおける地震火山の総合防災策プロジェクト (2009-2012) 「火山噴出物の放出に伴う災害の軽減に関する総合的研究プロジェクト」 (2014-2019) (円借款) <メラピ山及びプロゴ川流域> メラピ火山緊急防災事業 (1985-1993) <円借款貸付契約 (以下、「LA」という) : 1983年 10月> メラピ火山およびスメル火山防災事業 (2) (1995-2001) <LA: 1995年 12月> メラピ山緊急防災事業 (II) <LA: 2014年 2月> (事後評価時点で実施中) <バワカラエン山> ビリビリ多目的ダム建設事業(1)(2)(3) (1990-2001) <LA: (1) 1990年 12月 (2) 1992年 10月 (3) 1994年 11月> ビリビリ灌漑事業 (1996-2005) <LA: 1996年 12月> 多目的ダム発電事業 (1996-2007) <LA: 1996年 12月></p>
--	--

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

杉本 正実 (新光オーエムシー株式会社)

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2016年 10月～2018年 1月

現地調査：2017年 3月 5日～3月 21日、2017年 7月 20日～7月 29日

2.3 評価の制約

(1) 防災事業は、天変地異を含む大規模な自然現象の変化そのものを対象とする。一般の事業の評価においては、これを事業効果とインパクト測定にとっての外部要因として排除する場合がある。かかる自然現象の発生は不規則であり、それゆえ事前にその発生の頻度、タイミング、規模を的確に予測することは極めて困難である。したがって適切な定量指標を設定すること自体が困難であり、仮に設定できたとしてもそれをもって単純に事業の効果、インパクトの有無、強弱を測ることはできないという制約がある。想定外の 2010 年大

噴火により砂防施設の一部に損傷が発生し、事前設定の土砂制御率といった定量指標の有効性が失われたメラピ山はその極端な例であるが、バワカラエン山のケースも同様であり、本事業の効果・インパクトの評価にあたっては、現地調査における受益者調査、現場状況の視察、現地関係機関へのヒアリング、過去の被災状況に関する結果を重視した。

(2) 本事業は公共事業・国民住宅省水資源総局の下で行われた別個の2事業であり、事業実施管理はそれぞれの流域管理事務所によって独立に行われた。しかしながら一つの円借款事業としての包括的な事業管理が完全には行われておらず、コンサルタント人月数、政府予算から拠出分の事業費がプロジェクトとして管理されておらず、総事業費実績、コンサルタントの投入実績総人月数の把握ができず、事業の効率性判定の根拠に制約が生じた。

(3) 砂防施設の運営・維持管理のトレーニングは主にジョグジャカルタ市の砂防技術センター (STC: Sabo Technical Center) により一括して行われているが、そこでのトレーニング実施実績の情報提供が同センターより入手できず、持続性の一部の技術に関する客観的な裏付け情報に制約があった。

3. 評価結果 (レーティング : B¹)

3.1 妥当性 (レーティング : ③²)

3.1.1 開発政策との整合性

インドネシア政府は1969年の大災害を機にメラピ山周辺を国家災害管理プログラムの最重要地域に指定し、そのもとにJICA開発調査によるメラピ火山防災基本計画が1980年に策定され、さらに円借款による砂防事業が1985年より2001年までの2期にわたり実施されていた。また、バワカラエン山の場合は崩壊による土石流及び土砂流出を緊急に抑制するという高い必要性から支援要請があったものである。審査時の国家中期開発計画 (RPJMN: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2005~2009においても、地域開発促進のための地域経済に資するインフラの整備が掲げられていた。

事後評価時のRPJMN 2015~2019は2014年10月20日に就任したジョコ・ウィドド大統領が提示した“Nawa Cita”と称する9つの優先課題を新開発計画に盛り込んでいる。その一つとして「国内経済における各戦略セクターの開発推進による経済の自立の実現」が掲げられているが、そのもとでの優先分野の一つとして位置づけられているのが「災害対策及び災害リスクの軽減 (Penanggulangan Bencana dan Pengurangan Risiko Bencana)」である。このように本件の開発政策との整合性は一貫して高いといえることができる。

2005年の第2回国連防災会議で採択された「兵庫行動枠組 2005-2015」は①防災を国、地方の優先課題に位置付けての実行のための制度基盤の確保 ②災害リスクの特定、評価、観測による早期警報の向上、③全てのレベルでの防災文化構築のための、知識、技術、教育の活用 ④潜在的なリスク要因の軽減、⑤効果的な応急対応のための事前準備の強化を優

¹ A:「非常に高い」、B:「高い」、C:「一部課題がある」、D:「低い」

² ③:「高い」、②:「中程度」、①:「低い」

先行動として掲げている。一方 2015 年の第 3 回国連世界防災会議の仙台防災枠組においては ①災害リスクの理解、②災害リスク管理のための災害リスク・ガバナンスの強化、③強靱化に向けての災害リスク軽減への投資、④効果的な応急対応に向けた準備の強化と「より良い復興 (Build Back Better)」といった優先事項を提示しており、本事業は自然災害に取り組む国際枠組にも沿っているといえることができる。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

<メラピ山及びプロゴ川流域>

メラピ火山周辺はボロブドゥール、プランバナン等の遺跡を有する有数の観光地であり、ジョグジャカルタ地域は人口 270 万人を数える地域の中心である。審査時活火山メラピ山の断続的な噴火による火砕流、土石流被害の危険が高まっている中で同地域の経済発展を妨げる要因を排除するためには、砂防ダムの建設といったハード面の対策に加え、観測、予警報・避難体制の整備といったソフト面の対策の双方が必要であった。また、不十分な管理体制での過剰かつ不適切な土砂採掘が引き起こす砂防施設の不安定化、河床低下等の対策として、土砂採掘管理体制の整備が必要であるとともに、河床低下の結果倒壊の危険があるプロゴ川下流の 2 橋梁についても河床安定のための対策が緊急の課題となっていた。

活火山メラピ山の噴火活動は予測できる将来において休止することはなく事後評価時点においても本事業に対するニーズは継続的に高い。本事業は第 1 期事業 (1985~1992) 第 2 期事業 (1995~2001) に続く第 3 期事業として位置付けられ、引き続いての第 4 期事業 (事業名称は「メラピ山緊急防災事業(II)」 LA:2014 年 2 月 <IP-566>) も現在実施中である。メラピ山は事業実施中の 2006 年、2010 年にも噴火を繰り返しており本事業へのニーズは一層高まっている。

<バワカラエン山>

バワカラエン山の大規模崩壊により、審査時においてジェネベラン川流域は土石流の危険性が高まっており、すでに発生した土石流により、既存の橋梁や砂防ダムといったインフラも被害を被っており修復が必要な状態となっていた。これに対する対策を行わない場合は下流のビリビリ・ダムへの多量の土砂が流入する恐れがあり、灌漑、発電、上水のための用水供給といったダム機能が著しく低下することが予測され、その結果人口 120 万人を有するマカッサル市及びその周辺地域の社会経済活動に多大な影響を与えることが懸念されていた。そのため、緊急対策としての流出土砂の除去と共に、長期的な対策として砂防ダムの建設による流下土砂の抑制のみならず、堆積土砂の状況、推移等の観測、予警報、住民意識向上、避難体制の整備といったハード・ソフト両面の対策が必要であった。

メラピ山と異なり、バワカラエン山事業は 2004 年 3 月 26 日に発生したカルデラ壁の大崩壊に起因するものであるが、大量の崩壊残土の存在、将来の拡大崩壊の可能性、砂防施設では捕捉困難な微細浮遊土砂 (Wash Load) のビリビリ・ダム貯水地への絶え間ない流入対策等により本事業への継続的なニーズは高い。本事業での提言に基づき、現在継続事業の準備が進められている。2004 年以降崩壊は起こっていないが 2004 年崩壊時の土砂がまだ

上流にはたまっており雨季の降雨等による流出は続いている。また事業実施中の追加調査により今後の崩壊の可能性が指摘されている。

以上、メラピ山、バワカラエン山両地域とも開発を阻害する自然災害リスクの存在は継続しており、それらを軽減、防止するための本事業に対するニーズは一貫して高いものと判断することができる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

3.1.3.1 対インドネシア国別援助計画

日本政府の「対インドネシア国別援助計画」（2004年11月）では、重点分野・重点事項として「民主的で公正な社会造り」のための支援を掲げており、その中の基礎的公共サービスの向上において、頻発する洪水・土砂災害、渇水等の自然災害対策等の支援を行うとしている。また同方針では援助の重点分野の一つの柱として「民間主導の持続的な成長」を掲げておりそのための支援として「投資環境改善のための経済インフラ整備」等を掲げている。本事業はインドネシアの主要経済地域であるジョグジャカルタ地域の火山災害・土砂災害防止、またマカッサル市を中心とした地域の社会活動を妨げる土砂災害及びビリビリ・ダムへの土砂流入を排除するものであり、審査時の援助計画の掲げる「民主的で公正な社会造り」「投資環境改善のための経済インフラ整備」の方針に合致するものと判断する。

3.1.3.2 海外経済協力業務実施方針

JICAの海外経済協力業務実施方針（2002年4月）では、対インドネシア支援の重点分野として、経済改革を通じた持続的成長軌道への回復努力に不可欠な「経済インフラ整備」及び「環境改善・公害防止への支援」を掲げている。本事業は同業務実施方針の掲げる「経済インフラ整備」の方針、及び特にバワカラエン山事業によるジェネベラン川流域の環境破壊の軽減、水質低下が引き起こすマカッサル市都市環境への悪影響軽減は審査時の「環境改善・公害防止への支援」の方針に合致するものと判断する。

3.1.3.3 国別業務実施方針

JICAの海外経済協力業務における国別業務実施方針（2004年9月）では、重点課題の一つとして「民間主導の成長のための環境整備」を挙げており、その一環として「主要経済地域に対して防災インフラの整備を集中的に支援する」こととしている。インドネシアの主要経済地域の一つであるジョグジャカルタ地域の火山災害・土砂災害防止、またマカッサル市を中心とした地域の社会活動を妨げる土砂災害、及びビリビリ・ダムへの土砂流入排除に寄与する本事業は「主要経済地域に対して防災インフラの整備を集中的に支援する」審査時の同方針に合致するものと判断する。

以上のとおり、本事業の審査時の日本の援助政策との整合性は高い。

以上より、本事業は審査時、事後評価時のインドネシアの開発政策、自然災害に取り組む国際枠組み、開発ニーズ及び審査時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 効率性（レーティング：②）

3.2.1 アウトプット

<メラピ山及びプロゴ川流域>



図1 メラピ山周辺地図

出所：実施機関提供資料より評価者作成

注：メラピ山 (Gunung Merapi) の原語の発音はムラピ山であり、図中にはそのように表記されている。

3.2.1.1 メラピ山及びプロゴ川流域の本体事業

本事業の中味は多岐に渡るがその内容は(a)土石流・火砕流対策、(b)プロゴ川河床低下対策、(c)土砂採掘管理、(d)メラピ山麓の地域開発と、事業実施中の2006年の地震、噴火 (e)、2010年の噴火災害への緊急災害対応 (f) に分類される。以下、本事業による実績と計画との相違について記す³。

³ 事業費のうち非適格項目である用地取得費、一般管理費、税金はすべて政府負担分となっている。審査時には物的予備費の一部（審査時の見積もりでは1.9%）も政府負担分となっていたが、実際には上記非適格項目以外の事業費はすべて円借款より支出されている。

表 1：実績アウトプットの主な内容 <メラピ山及びプロゴ川流域>

区分		主な実績内容
(a) 土砂流出対策	構造物対策	・砂防施設建設 (30 基)
	非構造物対策	・土石流観測・予警報システム整備 (雨量観測所 6 カ所、マスター・ステーション 1 カ所、コントロール・ステーション 1 カ所、モニタリング・ステーション 3 カ所) ・避難シェルター (3 棟)、避難用道路整備 (5.82 km) ・火山防災 GIS データベース構築 ・災害復旧活動用重機調達、整備棟建設 ・地域防災組織能力強化支援 ・教育機関と連携した防災知識普及啓発 ・避難訓練実施
(b) プロゴ川河床低下対策		・床固工 (Groundsill) 建設 (2 基)
(c) 土砂採掘管理		・砂利採掘管理計画作成 ・住民主導型モニタリング活動実施
(d) メラピ山麓の地域開発		・灌漑設備補修 (14 基) ・灌漑施設安定化のための床固工建設 (1 基)
(e) 2006 年地震及び噴火後の緊急災害対応		・砂防施設建設 (6 基) ・灌漑設備補修 (35 カ所) ・水資源施設補修 (20 カ所)
(f) 2010 年噴火後の緊急災害対応		・砂防堰堤補修 (5 基) ・護岸工、導流堤建設 (2 基)

注

出所：JICA 提供資料及び本事後評価質問票回答から評価者作成

注：住民の防災意識の向上、訓練等としては、参加型のコミュニティ活動（四面会議制度の導入によるファシリテーターの教育、アクションプランの策定等）、子供たちをも巻き込んだ防災トレーニング（防災ダンス、防災ダックの導入等）、防災マニュアルの作成等を行った。（P.24 の写真参照）

3.2.1.2 メラピ山及びプロゴ川流域のコンサルティング・サービス

事業実施支援等のため、次の内容によるコンサルティング・サービスが供与された。

1. 事業実施支援（詳細設計、入札補助、施工管理、運営・維持管理補助）
2. 土砂採掘管理公社設立のための各種調査、設立支援
3. 砂防コミュニティの設立支援、住民の防災意識向上、避難体制確立

総人月の対計画実績値は以下の通り。

表2：コンサルティング・サービス総人月計画・実績対比

単位：MM

	計画	実績	差異
国際コンサル	187.00	317.68	130.68
ローカル・コンサル	780.00	801.79	21.79

出所：本事後評価質問票回答

計画に比較して実績人月が増加した主な理由は、2010年の大噴火の勃発に起因する以下の業務が追加となったためである。

1. 損傷状況の分析評価及び最緊急事業対応のための調査
2. パッケージ3（砂防ダム工区2）、7（監視・予警報機材調達）内容変更に伴う業務
3. 損傷砂防施設の修復対応及びプティ川分水路建設工事に関する詳細設計

3.2.1.3. メラピ山及びプロゴ川流域の計画からの主な変更事項

3.2.1.3.1. 土砂採掘管理公社の設立キャンセル

計画では本事業の支援により土砂採掘管理公社(SMMI: Sand Mining Management Institution)を設立し、同公社が諸施設の維持管理を担うことになっていたが、1999年に始まったインドネシア政府の地方分権化政策への転換により、施設の維持管理はスラク・オパック流域管理事務所 (BBWS-SO: Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak、以下BBWS-SOという)と砂防コミュニティによることとなり⁴、同公社の設立に替わってコミュニティ開発に力が注がれた。計画にあるSMMI設立準備作業はすべて行われたがその設立は上記の理由により頓挫したため、2009年BBWS-SOはそれに代わって同様の機能を付与したBLU: Badan Layanan Umum <Public Service Board>を内部で組織しようと試みた。同年1月財務省にその申請を提出後BBWS-SOはJICAに対してSMMIに替わって同様の機能を果たすBLUを組織して土砂採掘管理にあたる旨の通知を发出、JICAはBLU設立準備に関する情報を徴求の後、2010年1月BLU設立を条件としてオフィス建屋の詳細設計の開始に同意した。しかしながら結局現在に至るまでその設立は実現していない。利権調整の困難が主たる障害である、との現地意見が優勢である。しかし、主な設立準備活動としての地域住民との協議 (Public Consultation Meetings)、参加型村落調査 (PRA: Participatory Rural Appraisal)の結果をもとにしたSMMI及び砂防コミュニティの組織枠組、業務、規則等の決定及土砂採掘管理マニュアルの策定は計画通り実施された。

⁴ 砂防施設周りの清掃、その他マイナーな損傷の修復等、住民レベルで可能な維持管理活動は地元のコミュニティ自らの手で行われる。

3.2.1.3.2 スコープの追加

(1) バントウル地震対応

事業開始直後の 2006 年 5 月 27 日に発生したバントウル地震により地域のインフラ設備が大きなダメージを受け、最緊急事業として下記が追加され、まずその実施が行われた。

- ・ バントウル、グヌン・キドウル、クロン・プロゴ、スレマン、ジョグジャカルタ市の灌漑施設の修復。(35 カ所)
- ・ スレマン、バントウル、クロン・プロゴ、ジョグジャカルタ市の水資源施設の修復。(20 カ所)

(2) メラピ山噴火対応

① 2006 年 6 月 3 日噴火

噴火災害対策の実施（追加パッケージ DCME <Disaster Countermeasures for Mt. Merapi Eruption>）のもとにゲンドル川に 3 基、オパック川に 3 基の砂防ダムを 3 カ月の緊急工事により設置した。

② 2010 年 10 月～11 月噴火（100 年に 1 度の大噴火）

噴火により損害を受け緊急修復を行う必要のあった砂防施設等は 150 以上に渡り（灌漑施設 42、取水施設 2 カ所を含む）、工事施工自体のほとんどは政府予算で行われたが、16 施設修復・建設の詳細設計を本事業内で行った。なお、後続事業「メラピ山緊急防災事業 (II)」で工事が行われているプティ川の河道改修、ゲンドル川のサンド・ポケット建設の詳細設計も本事業で行われている。重機の追加購入も 2010 年大噴火を起因とし、借款の未使用残を使って行われた。主な追加内容は以下の通り。

(a) 被災設備の調査と被災した砂防ダム修繕の詳細設計（コンサルティング・サービス）

内容は上記 3.2.1.2 コンサルティング・サービスの項を参照。

(b) 重機の追加調達

- 堤防作業のための振動ローラー突き固め機 1 台
- 飲料水運搬用給水車 1 台
- 緊急作業用ピックアップ・トラック 6 台

③ 地方政府の能力強化

州水資源事務所等の地方政府に対する、参加型開発等に関する能力開発を行った。

噴火災害復旧・防災事業は実施中の火山活動の進行、追加災害の発生に応じての臨機応変の対応を要する。本事業中に追加された上記スコープは事業実施中に生じた計画時に予測のできなかった事象発生に対応した適切なものであったと判断できる。

<バワカラエン山>

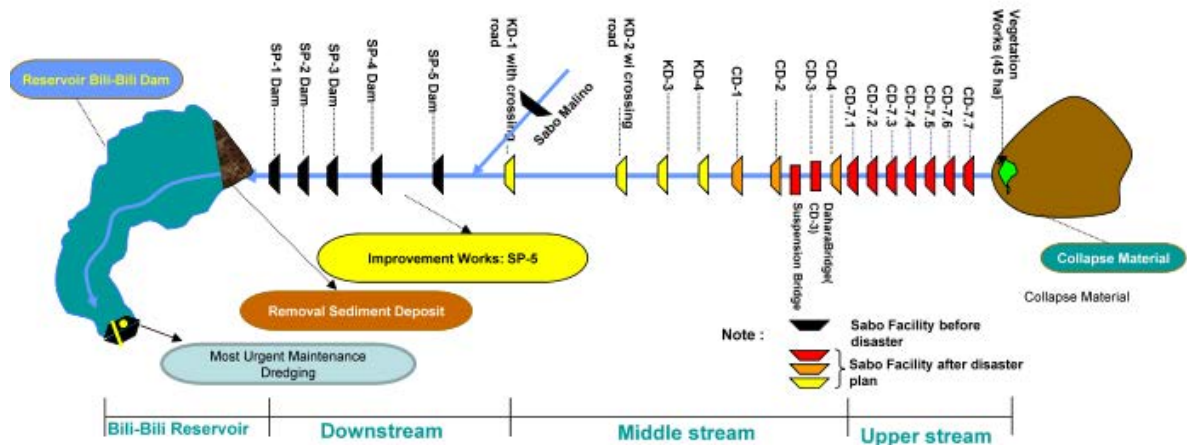


図2 バワカラエン山事業の概念図

出所：実施機関提供資料

注：図中の赤、オレンジ、黄色の砂防施設が本事業によるもの

3.2.1.4 バワカラエン山の本体事業

本事業の中味は多岐に渡るがその内容は(a)土砂流出対策、(b)地域コミュニティ開発、(c)掘削・浚渫 に分類される。以下、本事業による実績と計画との相違について記す⁵。

表 3：実績アウトプットの主な内容 <バワカラエン山>

区分		主な実績内容
(a) 土砂流出対策	構造物対策	(上流域砂防施設建設) ・砂防ダム (7カ所) ・チェック・ダム (4カ所：うち1カ所は橋梁兼用<ダラハ橋>)

⁵ 事業費のうち非適格項目である用地取得費、一般管理費、税金はすべて政府負担分となっている。審査時には物的予備費の一部（審査時の見積もりでは1.8%）も政府負担分となっていたが、実際には上記非適格項目以外の事業費はすべて円借款より支出されている。

		(中流域砂防施設建設) ・床固め工 (Consolidation Dam) (4カ所：うち2カ所は河川横断構造)
	非構造物対策	・予警報システム整備 (雨量観測所3カ所<うち兼りピーターステーション1カ所>、水位観測所1カ所、土石流振動センサー2カ所、マスター・ステーション1カ所) ・ビリビリ・ダム・テレメトリーシステム改善 ・避難路 ・避難体制の改善 ・住民の防災意識の向上 } 注
(b) 地域・コミュニティ開発		・村落道路 (15.6 km) ・吊り橋 (1 橋) ・村落給水 (1,000 世帯) ・カルデラ内土砂植林 (45 ha)
(c) 掘削・浚渫	貯水池末端、河道河床掘削	総掘削量 (6.9 百万 m ³)
	ビリビリ・ダム既設取水口機能維持浚渫	・浚渫機器調達・製作 ・パイプライン敷設 ・沈殿池建設 ・試験施工

出所：JICA 提供資料及び本事後評価質問票回答から評価者作成

注：住民の防災意識の向上、訓練等としては参加型コミュニティ活動、防災トレーニング、ドラ、サイレン等の警報グッズの配布、モニタリング小屋の設置等を行っているが、恒久的に常に噴火危機にさらされているメラピ地域に比べ相対的に活動の深度、密度は低いといった印象はある。

3.2.1.5 バワカラエン山のコンサルティング・サービス

事業実施支援等のため、次の内容によるコンサルティング・サービスが供与された。

1. 事業実施支援 (詳細設計、入札補助、施工管理、運営・維持管理補助)
2. 砂防コミュニティ運営支援による住民の防災意識の向上、避難体制確立
3. 地域・コミュニティ開発の促進

2.3 評価の制約 に記したとおり、メラピ山及びプロゴ川流域、バワカラエン山両事業の事業実施管理はそれぞれの管轄流域管理事務所 (BBWS) によって独立に行われており、実施機関としての公共事業・国民住宅省水資源総局による包括管理が完全には行われていない。特に2社により別々に行われているバワカラエン山事業の場合には、総人月実績に関する記録がなく、計画総人月 1,227MM (内訳：国際コンサルタント 179MM、ローカル・コ

ンサルタント 1,048MM) に対して量的にどれだけの人月が投入されたかの実数は不明であるが、ビリビリ・ダム貯水池堆砂対策のフィージビリティ・スタディに 143.5MM、浚渫実施監理に 30MM の追加人月を要した。

その他コンポーネントは多岐に渡っており個別コンポーネントごとの数値については実施時の状況変化等に対応して一部細かい変更は加えられているが、以下の点を除き項目ごとに基本的な変更はない。

3.2.1.6 バワカラエン山の計画からの主な変更事項

3.2.1.6.1 土砂流出対策

- (1) サンドポケット・ダム No.4、5 建設の JICA 無償資金協力への移管に替わってビリビリ・ダム際の河床及びビリビリ貯水池末端部分浚渫の追加
- (2) 床固め工 4 基の追加
- (3) ビリビリ・ダム取水口付近の緊急浚渫

3.2.1.6.2 地域・コミュニティ開発

- (1) 市の取水口と浄水施設の建設
- (2) 既存アクセス道路の改修
- (3) Sepakat に小学校建物建設

細砂は砂防施設でも捕捉困難で、また採掘ビジネスの対象ともならないためビリビリ貯水池に流れ込む。それによって貯水池末端に堆積した細砂の浚渫はビリビリ・ダムの洪水制御機能維持のため、またビリビリ・ダム取水口付近の土砂の継続的な浚渫による除去は、既設取水口機能維持のために必要となった。河床浚渫は河床の低下を招き灌漑取水に影響が出るとの住民の訴えもあり最小限とし、浮いた資金を貯水池末端の浚渫作業に回した。「床固め工」は、本事業内で見直しを行った施設計画により新たに必要性が認識され、追加されたものである。また、本事業の主な目的はビリビリ・ダムへの土砂流入阻止と、ジェネベラン川流域住民のための地域経済社会開発であり、後者のためのインフラ整備が追加された。



ビリビリ・ダム貯水池取水口付近の浚渫作業

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本事業の総事業費は、計画では193億3,700万円（うち円借款部分164億3,600万円：融資比率85%）であった。円借款部分貸付実行総額は163億8,500万円であったが、インドネシア側からの支出事業費の記録が取られておらず総事業費の実績額は不明である。円借款部分の内訳は以下のとおり。

表4：円借款部分事業費の計画・実績対比

（単位：百万円）

	計画	実績	実績－計画
	借款対象 事業費	貸付実行額	
メラピ山及びプロゴ川流域	6,050	6,174	124
本体工事	4,099	4,313	214
資機材調達	633	429	-204
コンサルティング ・サービス	1,318	1,432	114
バワカラエン山	10,386	10,211	-175
本体工事	8,363	8,494	131
コンサルティング ・サービス	2,023	1,717	-306
合計	16,436	16,385	51

出所：JICA 提供資料及び本事後評価質問票回答

<メラピ山及びプロゴ川流域>

実施途中に発生したバントゥル地震、2度にわたるメラピ山の噴火による施設損害修復のための追加工事、追加調達、コンサルティング・サービス（調査、設計業務）の投入人月増加が生じたが、計画値に対しての増加率は僅少で、資機材調達費はむしろ計画を下回っている。主な要因としては次の二つが考えられる。

- (1) 土砂採掘管理公社の建設が上記のとおりキャンセルとなり、その分の支出額（建物建設及び付帯設備費、アクセス道路整備費等）がゼロとなった。
- (2) 審査時の設定交換レートが¥1=Rp.83であったのに対し、事業終了時には¥1=Rp.116と事業実施中のルピア価値下落が大きく、内貨の円建て支出換算額が大幅に計画を下回った。

<バワカラエン山>

スコープ追加があったにも拘らず総事業費が計画値を若干下回ったのは、主に事業実施中の対円ルピア・レート下落があったことによる。

総合的にみると円借款部分につき実際事業費は計画（借款承諾額）の99.7%に達している。「妥当性・開発ニーズとの整合性」の項で示したとおり両地域の防災ニーズは継続的に高く、後続事業も実施中（メラピ）または準備中（バワカラエン）である。本事業実施中には円借款未使用残の動向を睨みながら必要な工事を適宜追加して行っていったことにより、承諾額目一杯の事業資金使用となった。

以上、事業費実績合計額は不明であるものの⁶、円借款部分事業費は計画内に収まった。なお本事業は2事業に分かれているうえそれぞれが細かいコンポーネントに細分されており、またそれぞれの個々の施工ボリュームの増減もあるのでそれらを計画、実績から加減するのは困難である。

3.2.2.2 事業期間

<メラピ山及びプロゴ川流域>

事業期間は、計画では2005年3月～2011年12月（82カ月）であったが、実際には2005年3月～2013年10月（104カ月）と計画比127%となり計画を上回った。主な遅れの要因は次のとおりである。ただし、下記要因のうち天変地異に起因する(2)と(3)による遅れは事業期間実績に含めていない。また、メラピ山及びプロゴ川流域のすべての事業内容は本事業全体の完了予定時期であった2013年11月までには完了している⁷。

(1) コンサルタント選定

計画ではL/A調印前にコンサル選定手続きを開始する予定であったが、実現しなかった。また選定作業に入る前の準備期間が、選定委員会の組織化、国内公共調達諸規則とJICAコンサル雇用ガイドラインとの調整、ショートリスト作成のためのPQ（事前資格審査）等の作業に時間がかかったことにより長引いた。（選定開始に16カ月、選定手続きの終了に6カ月の遅れ）

(2) コンサルティング・サービスの実施

以下の原因によりコンサルティング・サービスの実施期間が計画に対して31カ月長引いた。

- ・サービス開始前の2006年に発生した地震と噴火により必要となった最緊急復旧対策により詳細設計、調達計画、工事監理業務に多大の変更が生じた。
- ・2010年の大規模噴火により、被災砂防施設の調査・評価、修復のための詳細設計、プティ川分水路修復のための詳細設計が新たに追加となった。
- ・緊急に追加が必要となった重機の調達管理が加わった。

⁶ 前記脚注3、5に記したとおり、実際に政府予算により支出されたのは用地取得、一般管理費、税金から成る円借款融資非適格項目のみであり、本体事業、コンサルティング・サービス支出はすべて円借款により支出されている。

⁷ 事業完了の定義は、保証期間を含む施設の実施機関への最終引き渡し時である。

(3) 工事の実施

実施途中のバントゥル地震、メラピ山の噴火に起因して、オリジナル・スコープに4つの契約パッケージが追加されたことによる工事期間の延長26カ月が生じた。

<バワカラエン山>

事業期間は、計画では2005年3月～2013年11月(105カ月)であったが、実際には2005年3月～2014年6月(112カ月)と計画比107%となり計画を上回った。本コンポーネントは2004年3月26日の大規模崩壊への緊急措置の必要性に基づき、次の通り基本的にスピーディな対処がなされた。

- ・事業準備とそれに続く円借款供与決定も極めてスピーディに行われ、すでに決まっていたメラピ山及びプロゴ川流域事業に合流する形での事業形成が行われた。
- ・最も緊急を要したジェネベラン川における浚渫による流出土砂の除去、1基の砂防ダム建設、及びコンサルティング・サービスは審査時計画を前倒して2005年～2006年の間に実施され、期待されたよりも早期からの事業効果発現がみられた。

事業完了の7カ月遅れは主に前項3.2.1 アウトプット に列挙した、実施中に必要となった土砂流出対策のための追加作業のうちのビリビリ貯水池取水口付近浚渫作業の継続実施によるものであり、その他のコンポーネントは計画で設定された完了予定時期の2013年11月にはすべて完了している。

以上より、本事業は事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である⁸。

3.3 有効性⁹ (レーティング：③)

3.3.1 定量的効果

<メラピ山及びプロゴ川流域>

審査時においては有効性を測る指標として、「ケース1：砂防施設のみ」と「ケース2：砂防施設及び土砂採掘管理の合併効果」といった2つの異なるケースについて「土砂制御率」が採られており、基準値26%(2004年：ケース1)に対して、施設完成予定2年後(2012年)の目標値としてケース1：50%、ケース2：75%が設定されていた。しかし、次の三つの事実より、この「土砂制御率」を指標としての効果測定は適切性を欠く。

1. 3.2.1 アウトプットの項で記したとおり、計画されていた土砂採掘管理公社(SMMI)の設立は実現せず、ケース2の適用は不能となった。
2. 本事業実施中の2010年に1872年以来といわれる大規模噴火が起き、2001年改訂の「メラピ火山砂防基本計画」で対象とする10年確率規模の火砕流量5百万m³の28倍に相

⁸ 効率性レーティングにあたっては、メラピ、バワカラエン両事業の事業費と事業期間に基づく個別サブレーティングをまず行い、両者の均等なウェイト付けによって本事業全体の効率性レーティングを出している。

⁹ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

当する総量 140 百万 m³の火山噴出物が放出され、250 基の砂防施設のうち 77 基が損傷を受けた。そして、本事業の中でそれらの緊急補修が追加で行われている。過去の噴火に比べ 2010 年噴火の被災面積が桁違いに広いのも（下記表 5 を参照）その未曾有の噴火規模を物語っている。審査時における目標値の設定においてはかかる事態の発生（100 年以上に一度の大噴火、それによる砂防施設の損壊等）は想定しておらず、計算の前提自体が適用不能となり、事前計算と整合的に比較できる実際制御率の計算は困難である。

3. 砂防施設はこれまで国家予算及び第 1 次、第 2 次円借款事業（本事業は第 3 期事業と位置付けられる）で整備されており、本事業設置の設備のみの効果を切り分けて測るのも困難である。

以上より、代替手段としてメラピ山のこれまでの噴火災害履歴及び 2010 年大噴火の際のインドネシア政府の公式見解により、本事業を含む一連のメラピ山防災事業の効果を推定することにする。

表 5：メラピ山の噴火災害履歴

噴火発生年	死者／行方不明 (人)	被災家屋数 (戸)	被災面積 (ha)
1930 年	1,869	1,109	
1954 年	64	144	
1961 年	6	103	
1969 年	6	322	125
1971 年			10
1973 年 (1 月)			10
(10 月)			19
1974 年 (1 月)		9	
(10 月)	9	6	
(11 月)		10	
(12 月)		4	
1975 年		107	30
1976 年	27	385	
1986 年	1		
1994 年	66	40	295
2001 年			1,200
2006 年	2		3,230
2010 年	341	3,722	31,470

出所：「メラピ火山及びスメル火山防災事業 (2)」事後評価報告書及び本事後評価質問票回答

噴火の大きさそのものに比例する被災面積、被災家屋数に比べて死者／行方不明者数は砂防施設効果をよりよく表す指標となりうる。1872 年噴火の死者／行方不明者数 1,400 人以上、及び噴出物の量では 2010 年を下回るとされる¹⁰1930 年噴火の死者／行方不明者数 1,869

¹⁰ 2010 年 11 月 6 日付じゃかるた新聞記事「ジョグジャカルタ火山研究調査所スバンドリオ所長談」によ

人と比べても、地域人口が増加している状況下での 2010 年大噴火犠牲者 341 名は桁違いに少なく、設置された砂防施設の防災効果は大きかったものと推定される（本事業による砂防施設はパッケージ 2 及び 3 で建設されているがこのうちパッケージ 2 は 2008 年 7 月に完成、パッケージ 3 は 2010 年噴火の際に施工中でそれによって工事が一時中断したが 2012 年 11 月に完成している）。また同所長は「噴火前から行っている避難活動が功を奏した」との見解を表明している（出所：同上）¹¹。

<バワカラエン山>

審査に直接関する JICA 提供資料で特定化された運用・効果指標による実績値は以下のとおりである。

表 6：運用・効果指標による比較 (1) (バワカラエン山)

指標	基準値 (2004)	目標値 (2013) (砂防ダム 完成 1 年後)	2013 実績
砂防ダムによる制御土砂量 (千 m ³)	0	22,500	33,500
浚渫土砂量*1*2 (千 m ³)	0	15,000	15,800 (8,900)*
保全された灌漑、水力発電、上水容量 (千 m ³)	0	14,200	記録なし

出所：本事後評価質問票回答

- *1: ここでの「浚渫土砂量」は主に河川部分の堆積土砂除去量であり、ビリビリ貯水池での浚渫は含まない。また目標値は取り除く必要のある総量で事業のみで浚渫する量ではない（下記*2 参照）
- *2: 河川部分の浚渫は、「河床の低下を招き灌漑取水に影響が出る」との住民の訴えと、浚渫の契約単価が高かったため予定通りには行わなかったが、民間人による土砂採掘には事業による浚渫と同様の効果がある。除去すべき目標値の 15,000 千 m³は適正量であり、そのうち参考数値として記した 8,900 千 m³は民間の収益事業としての土砂採掘によって自発的に行われた量で、本事業では残量の 6,900 千 m³の浚渫を行っている。
- *3: 追加スコープとなったビリビリ・ダム取水口付近の浚渫作業によりバワカラエン事業全体の完了は 2013 年 10 月になったが、砂防施設自体は 2012 年までにすべて完了している。

その他の JICA 提供資料によれば上記以外の以下の効果指標が掲げられており、それらの実績値は以下のとおりである。

る。

¹¹ 避難訓練を含む防災活動に関しては 3.4.1 インパクトの発現状況 のメラピ山の項、防災効果を参照。

表 7：運用・効果指標による比較 (2) (バワカラエン山)

指標	基準値 (2004)	実績値 (2009)	2013 年 実績
5 年間の農地被害面積 (ha)	4,500	2,500	0
5 年間のビリビリ・ダムへの土砂流入量 (千 m ³) *	54,300	15,800	87,100

出所：本事後評価質問票回答

*: 2004 年数値は崩壊時の年間流入量。2009 年数値は崩壊後 5 年間に流入した実際流入総量。

上記注記*と同量の流入が毎年続いたとすると 2013 年までの予測流入累積量は 82,740 千 m³ (54,300 + 15,800 x 9/5) となる。流入量自体は降雨等の気候その他の要因によっても左右され、事前に設定した目標値自体の土砂流下量は流動的ではあるが、実績値 (2013 年までの流入累積量) は目標値を若干超えている。これは違法土砂採掘により 2009 年 2 月に No.1 サンド・ポケットに損傷が生じ (2012 年に修復)、そこから多くの土砂が一時的にビリビリ貯水池に流れ込んだためであるが、その超過割合は 5% ((87,100-82,740)/82,740) と僅少で目標をほぼ達成しており、本事業砂防施設の効果は概ね発揮されているといえる。

また上記のとおり保全された灌漑、水力発電、上水容量を直接示す定量的記録はないものの、ビリビリ・ダム管理記録によると直近 2016 年のビリビリ・ダム貯水池から灌漑、上水、水力発電への実績放流量は 22.6 m³/秒と計画放流量 16.9 m³/秒を 33% 余り上回っており、砂防施設及び堆積土砂の浚渫によりそれぞれのサービス供給へのダム機能を維持するのに十分な水容量の保全が行われていることを間接的に示している。以上より、保全された灌漑、水力発電、上水容量への定量的効果は不明なるも、その他の指標の目標値は達成されており、本事業の効果は発揮されているものと判断される。

3.3.2 定性的効果

<メラピ山及びプロゴ川流域>

(1) 人命並びに公的・私的財産の保護及び持続可能な防災体制の構築

① ハード面

2010 年の大規模噴火時の砂防施設の被害軽減効果は様々な文献で認められている。この噴火に起因する土石流による被害が発生したのは 15 河川のうち 4 河川のみ。最大の被害が出たプティ川でも噴火後土石流の発生は 11 日にのぼったが、それらは砂防施設により食い



クラサク川で土石流捕捉後の砂防堰堤
(出所：実施機関提供資料)

止められ、それを越える土石流の氾濫が発生したのは1カ月以上経過後であり、避難、応急対策のための時間確保に貢献した¹²。ただし、これら砂防施設は円借款による先行2事業及び国家予算により整備されたものをも含む一群の施設と一体となって効果を発揮したものであり、本事業によるものだけを切り分けての効果は測定困難である。また、本事業内で建設された一時避難用のシェルターの役割は大きく、これは本事業独自の防災効果として特筆できる。



本事業設置のシェルターに避難した住民
(出所：実施機関提供資料)

② ソフト面

本事業で防災、施設の維持管理マニュアルの作成と並んで参加型によるコミュニティ・ベースの啓発、訓練活動が行われた。活動にあたっては老人、子供、女性に特に重点を置いた内容を盛り込む等の災害弱者への配慮も行われている¹³。また、3カ村の3つの村落ベース・コミュニティを対象に防災管理のパイロット活動が行われたが、そのうちの1村では活動が継続している。他の2村は2010年噴火の火砕流、土石流で被災、1村は集落自体

が他地域に移転、もう1村は活動を休止していたがBBWS-SOの説明によると最近復活の見込みがある。

(2) 土砂採掘管理

本事業内で土砂採掘管理公社 (SMMI) を設立し、土砂採掘管理 (認可、料金徴収、活動監理等) を一括して行う体制を作る計画であったが、準備活動のみで本体実現に至らなかったことはアウトプットの項で述べたとおりである。ただし準備活動の一環としての詳細な内容の土砂採掘管理マニュアルの作成、トレーニングの実施は行われている。SMMI が担うべきであった機能は Kabupaten (県) 政府の所掌となったが、実効は上がっていないのが実情である。また上記3パイロット村落で行われたコミュニティ・ベースの土砂採掘管理は一部事業終了後も行われているが、地域全体に普及されている状態にはない。また、受益者調査による住民の声によっても現場における土砂採掘管理は十分に行われていないのが現状である。これに関して2017年7月13日のインドネシアの全国紙 Kompas は、プラノウォ中部ジャワ州知事の「違法な無許可採掘が JICA 支援により整備された砂防施設に損害を与えており、それらの者は直ちに違法採掘を中止し、許可された地域への移動を促す」とする警告に関する記事を掲載したが、実効を期待する住民の声はあまり聴かれない。

¹² 溝口昌晴、福島淳一、下田義文「メラピ火山2010年噴火における砂防施設の効果と被災」2014年砂防学会研究発表論文による。

¹³ 後掲24ページの防災訓練、教育の写真を参照。

3. メラピ山麓の地域開発

本事業内では灌漑堰の修復、砂防施設の多目的利用（橋、道路、取水）を行っているが、両施設の地域経済活性化効果は大きい。（インパクトの項参照）

<バワカラエン山>

(1) 人命並びに公的・私的財産の保護

2004年のカルデラ壁大崩壊の犠牲となったレンケセ村及びバワカラエン山近くの地域における防災管理活動により、将来起こりうる崩壊事故への対処が強化されたほか、個別には次の効果が現地調査により確認された。

- ・導流堤 (Training Dyke) の建設による、以前の雨季には河川逆流によって頻繁に発生していた洪水被害地域における防災効果 (サロ・マリノ地域) <上記表7指標における農地被害発生額実績ゼロに貢献>
- ・床固め工 (Consolidation Dam) 下流流域における斜面保護工事 (Slope Protection) による河岸崩壊の防止効果

(2) ビリビリ・ダムへの土砂流入抑制によるダム機能の持続性保持

ビリビリ・ダム貯水地を水源とする水道、水力発電、灌漑のそれぞれの運営管理機関への訪問調査の結果は以下のとおりである。

① 上水

土砂流入により生じる機能障害は「取水量」及び「水質」であるが、砂防施設による土砂流入量の制限、取水口付近の継続的浚渫により双方に深刻な障害は生じておらず、マカッサル市の60%の水需要を問題なく満たしている。透明であった崩壊前の貯水池原水の水質は崩壊後には茶色く濁ってはいるが、供給される上水の水質確保は上水供給機関ソンバ・オプ°浄水場 (Penjernihan Air V Somba Opu) の浄水強化、綿密な水質モニタリングによる努力の結果でもある。



浄水場沈砂池：手前が原水



水質のモニター：手前の原水から一番奥の上水へ

② 水力発電

発電所の稼働開始は崩壊後の 2005 年なので崩壊前との比較はできない。貯水池への土砂流入による発電所機能への悪影響は水道と同じ質、量の 2 要素であるが、量に関しては特に問題なく、水質に関しては土砂の混入により発電機タービンの羽根に傷がついたケースとか、冷却装置への影響の懸念があるが、いずれも発電所の通常の運営・維持管理業務により対処、予防できる範囲内である。当水力発電所は円借款によるものであるが、水源汚濁への対処のため計画段階でスペア発電機を追加設置したのと、冷却水設備の一部に水中土砂を除去するサイクロン・セパレーターを装備したという自己努力の貢献もある。

③ 灌漑

土砂堆積による貯水量の減少は灌漑用水供給に直接影響はない。水力発電での水使用により取水量に制限がかかることがあるが、灌漑独自の取水路を持っており、いざというときも問題はない。上水とは異なり灌漑の場合水質の問題もさほど影響はない。

(3) 持続可能な防災体制の構築

事業内の「土砂流出対策」として避難体制の改善、防災意識の向上といった内容が含まれ実施もされているが、実施機関との協議及び住民インタビューによる感触では、継続的噴火被害に半ば恒久的に脅かされており潜在的な防災意識が非常に高いメラピ地域ほどの範囲、深度を持った活動は行われていない。なお当地域は JICA 技術協力による「火山地域総合防災(ISDM)プロジェクト」のモデル地区の一つとして、同プロジェクト内でソフト面の総合的技術支援が行われている。

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

本事業のインパクトは主に受益者調査によって検証した。

(受益者調査の方法)

本事業が期待するインパクトは、砂防施設、防災設備・活動による防災、地域インフラによる経済活性化（道路、橋、水資源・上水施設、植林）に渡り、整備した施設により受益者が異なるため、それぞれの受益地域ごとにフォーカス・グループ・ディスカッション（FGD）及び戸別訪問によるインタビューの併用により行った。多岐の種類に渡る事業施設の各受益者母集団の特定化困難、信頼できる住民リスト不在等により無作為抽出は不能でありサンプル抽出は有意抽出によっているが、男女、年齢、地域差等のバイアスを極力排除するようサンプルの抽出には留意した。

(訪問調査対象受益地域)

- (1) 防災（砂防）施設
- (2) 道路、橋

(3) 水資源（上水）施設

(4) 灌漑施設

（インタビュー対象人員）＜FGD、戸別訪問の回答者双方を含む＞

メラピ山：100 人（2 カ村）（うち、戸別訪問対象者の属性は＜年齢：20~30 才台（20%）、40~50 才台以上（80%）、性別：男（59%）、女（41%）＞）

バワカラエン山：125 人（3 カ村）（うち、戸別訪問対象者の属性は＜年齢：20~30 才台（17%）、40~50 才台以上（83%）、性別：男（59%）、女（41%）＞）¹⁴

本事後評価における受益者調査とは別途、本事業内でもメラピ山に関しては山腹斜面に位置する 20 村で PRA (Participatory Rural Appraisal)（以下「20 カ村 PRA」という）による住民意識調査（ガジャマダ大学に委託）を 2008 年に実施している。

＜メラピ山及びプロゴ川流域＞

(1) 防災（砂防）施設・設備、防災訓練

① 防災効果

本事業による砂防施設に対する信頼性は高く、防災施設に関するインタビュー調査はカリウーラン、クプハルジョの 2 カ村で実施したが、下記の受益者調査結果のとおりほとんどの住民が噴火に対する恐怖感が軽減したと答えている。また本事業内で実施した防災教育、訓練により噴火災害、それへの対処に関する知識が増し安心感が増幅している。また、事業内で行った防災活動は政府（流域管理事務所、県政府等）の継続的なサポートにより地域社会に根付いている。ただし「砂防コミュニティ」といった形での活動はあまり見られなかった。



防災ダンス導入による防災訓練

出所：いずれも実施機関提供資料



幼稚園での防災教育(砂防施設)



住民の避難実地訓練

¹⁴ FGD に参加した住民の内訳はとっていないので、戸別訪問対象者のみの割合を示す。

(主な質問内容¹⁵:噴火時の被災状況、本事業により施された防災対策・それぞれの効果、当該対策後の災害に対する安心感・移住意志)

(住民回答:砂防施設の防災効果:非常に効果的<65%>、効果的<25%>、災害に対する安心感:砂防施設により安心感が増し移住は全く考えていない<75%>、村に居住し続けるのは心配ではあるが引っ越しは考えていない<25%>。防災への役立ち感:避難道路<90%>、シェルター<85%>) ¹⁶

② 収入創出効果

砂防施設によってせき止められた土砂は建築材料としての価値が高く、地域住民にとっての収入創出源となっている(砂利販売、採掘作業の賃労働)。

ただし、そのような所得効果が大きいため、その活動抑制にもつながる県政府による適切な土砂採掘管理がほとんど行われていないといった裏腹の問題点もある。地元住民の間にも収入源といったプラスの面と、砂防施設への損害*といったマイナス面のジレンマが存在する。

*:砂防施設近傍の河床が掘削されると、小規模な出水でも砂防施設の基礎が洗掘され、破損・倒壊に至るケースがある。

(主な質問内容:砂防施設からの土砂採掘と家計収入との関係、ルールを守らない採掘による砂防施設への悪影響認識の有無、違法採掘を発見した時の行動)

(住民回答:砂防施設敷設により創出された土砂採掘の仕事によって家計の収入が増えた<85%>、違法土砂採掘により砂防施設、周囲の環境への悪影響があると認識<99%>、違法採掘を目撃した場合、注意警告をし当局に通報する<61%>、注意だけする<23%>、無駄なので何もしない<16%>) ¹⁷

(2) アクセス道路、橋

砂防施設の一部に含まれるアクセス道路、川を横断する橋梁として機能する砂防施設の、地域交通、物流活動の大幅な円滑化、社会生活向上に資する地域経済・社会開発効果は多岐、多大である。

(主な質問内容:橋として機能する砂防施設による日常生活、経済活動に役立っているか、役立っている場合の具体例)

¹⁵ 質問内容は各調査項目につきメラピ、バワカラエンに共通なので、バワカラエンの項では記載を省略した。

¹⁶ 上記「20カ村 PRA」からも67%の住民が将来にわたっての居住を希望し、さらなる防災知識取得を望んでいる。

¹⁷ 「20カ村 PRA」の結果から、土砂採掘が地元住民の追加的所得獲得手段になっている事実を示している一方、住民は無統制な土砂採掘による砂防施設の損傷リスク、環境への悪影響を認識しており、政府及びコミュニティによる統制システムの確立を望んでいる。

(住民回答：非常に役立っている<100%>、通学、通院、日常生活の改善<いずれも100%>)。また外部からの人の流入により砂防施設絡みの観光ビジネスが生まれている¹⁸。

(3) 灌漑、水資源施設

事業実施中に発生した地震、噴火によって損害を受けた灌漑施設を含む水資源施設の修繕を行っているが、それらによる農業生産(養魚を含む)増大を通じた所得増大効果による家族の健康、子供の教育にも大きなインパクトを及ぼしている。

(主な質問内容：事業によって改修された施設の種類の種類、当該改修によって生じた具体的なプラスの効果)

(住民回答：灌漑農業による所得増大が子供の教育、家族の健康にもたらしているプラスの影響<100%>)

以上メラピ山事業により建設された砂防施設による防災効果は認められ、また砂防施設によってせき止められた土砂採取・販売がビジネスにつながり、収入源創出といったインパクトをもたらしている。土砂採掘管理公社の設立が頓挫し、県政府による採掘管理も十分に行われていない現状から、不法採掘による砂防施設の損傷が懸念される。また、砂防施設の建設と並行して行われた灌漑、水資源施設の修復による地域経済活性化、社会生活改善へのインパクトの大きさが確認できた。

<バワカラエン山>

受益者調査によって把握されたバワカラエン山事業における効果、インパクトもメラピ山事業と共通しているので、特徴的な点のみを以下に記述する。

(1) 防災(砂防)施設・設備、防災訓練

① 防災効果

継続的な噴火により広範な地域が危険にさらされているメラピ山とは異なり、バワカラエン山の場合は2004年3月のカルデラ壁崩壊によるものであり、被災地域は山麓にあり33人の犠牲者を出したレンケセ村を中心とした地域に限定される。レンケセ村での調査では、やはり本事業による砂防施設に対する信頼性は高く、事業以前は風、雷の音にも恐怖感から敏感に反応していたが、砂防施設完成後はそのようなことはなくなり安心感が増し、災害への不安から他の地域に移住したいという住民回答は皆無であった。また、本事業により行われた防災教育、訓練の効果も根付いており(「砂防コミュニティ」が形成されている)、事業により設置された警報器具(サイレン、ドラ、ラジオ等)を備え防災意識は高い。ただ、住民回答からは、被災から日がたつて被災体験を持たない次の世代にまで引き継がれるかどうか、といった懸念も表明された。

(住民回答：砂防施設により安心感が増し移住は全く考えていない<80%>、村に居住し続けるのは心配ではあるが引っ越しは考えていない<20%>)

¹⁸ 上記「20カ村PRA」によっても、砂防ダムの道路等の多目的利用によるインフラ開発は地域経済の活性化に役立っていることが示されている。

② 収入創出効果

土砂採掘ビジネスによる新規収入源創出効果もメラピ山と同様にあるが、メラピ山ほどは活発ではなく、砂防施設へのダメージが大きく懸念されるほどには至っていない。また、本事業によって開始された崩壊斜面への植林はその後の崩壊防止効果だけではなく、田畑への土石流被害で収入源を断たれた住民の植林活動参加による臨時収入源をもたらし、また同地域で栽培されているコーヒーの木の保護にもつながっている。

2. アクセス道路、橋

崩壊事故被災地であるレンケセ村では道路整備が行われ、また砂防施設自体が橋の機能を有するほか、ダラハ地区では鉄橋が新規に架設された。これらはメラピ事業と同様、地域経済活性化に大きな効果をもたらしている。

(住民回答:非常に役立っている<100%>、通学、通院、日常生活の改善<いずれも100%>)



ダラハ橋

3. 灌漑、水資源施設 (上水)

メラピ山事業では地震、噴火により損害を受けた施設の修復であったが、バワカラエン山事業では新たに上水施設と、灌漑取水口の新設を行っている。それらによる農業生産(養魚を含む)増大を通じた所得増大効果による家族の健康、子供の教育にも大きなインパクトを及ぼしている。また水汲みから解放された時間で市場への行商等による副収入獲得機会ができたとの回答もあった。それぞれの施設に対する受益者の

回答を要約すると以下のとおりである。

灌漑：(米の単作から米作と緑豆、米二期作から三期作への生産拡大)。上水施設：(以前は山の水源からバケツで運んでいた。水汲み<学校でも>、川水浴 (mandi) から解放され学習への集中が可能となった<教育効果>。清潔な水で腹痛、皮膚掻痒等の障害が軽減した<健康効果>)。

総括：上記の典型例を含め何らかの教育、健康効果があったと回答した割合はいずれの施設についても100%、また所得効果については70%が肯定的な回答を寄せた。



簡易上水施設

3.4.2 その他、正負のインパクト

3.4.2.1 自然環境へのインパクト

<メラピ山及びプロゴ川流域>

本事業は自然災害による環境破壊の防止・軽減による保全をもたらすものであり、基本的に自然環境への特段の負のインパクトは確認されなかった。事業実施中には環境影響評価 (AMDAL: Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) で作成される環境モニタリング計画書に基づいてモニタリングを実施、半年ごとに州環境局に報告を行っているが、特段の問題はなしとの評価を得ている。環境への影響の緩和策としては、灌漑水路や生活用水の取水口への流量のモニタリング、濁水流入防止等の施策が講じられた。また動物、植物相のモニタリングを行い、掘削等によるかく乱要因を最小限とする配慮がなされた。プロゴ川流域の床固め工の建設にあたっては魚道を確保し、魚類の遡上を妨げることのないよう配慮もなされている。なお、メラピ山頂部は国立公園に指定されているが、本事業範囲の地域は指定範囲外となっており、また希少野生生物の生息地には該当していない。

<バワカラエン山>

メラピ事業と同じく本事業は自然災害による環境破壊の防止・軽減による保全をもたらすものであり、基本的に自然環境への特段の負のインパクトは確認されなかった。また事業実施中にはAMDAL作成される環境モニタリング計画書に基づいてモニタリングを実施、半年ごとに州環境局に報告を行っているが、特段の問題はなしとの評価を得ている。河床及びビリビリ貯水池での浚渫にあたっては、貯水池わきに浚渫土砂貯留場を設置しそこに植生を行う等によって環境への影響緩和を行っている。バワカラエン山は国立公園等の自然保護区ではなく、また希少生物の生息地にも該当していない。

3.4.2.2 用地取得と住民移転

<メラピ山及びプロゴ川流域>

合計 254.1 千㎡の用地が取得された。用地取得総費用は 9,927 百万ルピア。なお、土砂採掘管理公社のストックヤード用に必要であった 150 千㎡の用地取得は同公社の設立そのものがキャンセルとなったため不要となった。質問書回答、BBWS 説明及び提出を受けた関連文書によると、上記用地取得は当時の用地取得規則 (大統領規則 No.65, 2006) に基づき地方官房長 (Sekretaris Daerah) を長とする「九人委員会」を組織し、同規則に準拠して行われ、過程において特段の問題は生じていない。補償についてもインドネシア国内法規、環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン (2002) に沿って行われ、特段の問題は生じていない。当時の水資源法 (2004 年法律第 7 号) に基づき施設ごとに詳細設計時、建設着工前など数回にわたって住民協議を行ったが、その過程で特段の反対意見、苦情は表明されず、工事はさしたるトラブルもなく基本的に順調に進んだ。また住民の要望は必要に応じて施設設計、施工に反映されている。住民移転はなし。

<バワカラエン山>

計画時の浚渫土砂置き場としては政府用地が充てられることになり用地取得は不要になったが、カルデラ壁崩壊による土砂で河川の水路が変わったこともあり、ほぼすべての砂防施設の新規設置にあたって、用地取得と補償が生じることとなった。またアクセス道路の整備も同様である。用地取得総面積、補償総額に関する記録はない。質問書回答、BBWS説明及び提出を受けた関連文書によると、いずれも上記の法規に従った手続に沿ってそれらが行われ、特段の問題なく実施された。補償についてもインドネシア国内法規、環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン（2002）に沿って行われ、特段の問題は生じていない。住民協議に関してはメラピ山及びプロゴ川流域事業と同様であり特段の反対意見や苦情もなく工事は順調に進み、住民の要望は必要に応じて施設設計、施工に反映された。住民移転はない。

3.4.3 有効性・インパクトのまとめ

<メラピ山及びプロゴ川流域>

事業実施中 2010 年の大噴火による事業で想定した 28 倍の火砕流量と、それによって本事業により建設中のものを含む多くの砂防施設が損傷を受けたといった状況下、審査時に採用された「土砂制御率」を効果指標としての実績を定量的に測ることはできない。また代替指標として設定を試みた過去の噴火災害履歴のレビューや学術研究結果等も本事業の厳密な効果を測るものではなく、参考値とするにとどまる。一方、受益者調査により本事業の防災効果は高いものと判断できる。また受益者調査の結果、事業によって整備されたアクセス道路、橋梁としても機能する砂防施設、灌漑、水源施設の修繕による地域社会・経済の活性効果、インパクトは十分に発現していることが確認できた。よって、本コンポーネントの有効性・インパクトは高いといえる。

<バワカラエン山>

審査時に採られた 3 つの運用効果指標のうち事業によって保全された灌漑、水力発電、上水容量については実績データが取られていないが、それぞれ 3 つの運営機関への直接個別訪問調査により、それぞれの運営に必要な容量、水質は保全されていることを確認した。審査時に採られたその他の指標である砂防ダムによる制御土砂量及び浚渫土砂量は目標値を達成している。補助的に設定した 2 指標のうち「農地被害面積」の目標値は達成され、「ビリビリ・ダムへの土砂流入量」についても概ね達成が認められる。また受益者調査の結果、砂防施設の防災効果は上がっており、本事業によって整備されたアクセス道路、橋梁、灌漑、上水施設による地域社会・経済の活性効果、インパクトは十分に発現していることが確認できた。よって、本コンポーネントの有効性・インパクトは高い。

以上より、本事業の実施により概ね計画通りの効果の発現がみられ、有効性、インパクトは高いといえる。

3.5 持続性（レーティング：②）

3.5.1 運営・維持管理の体制

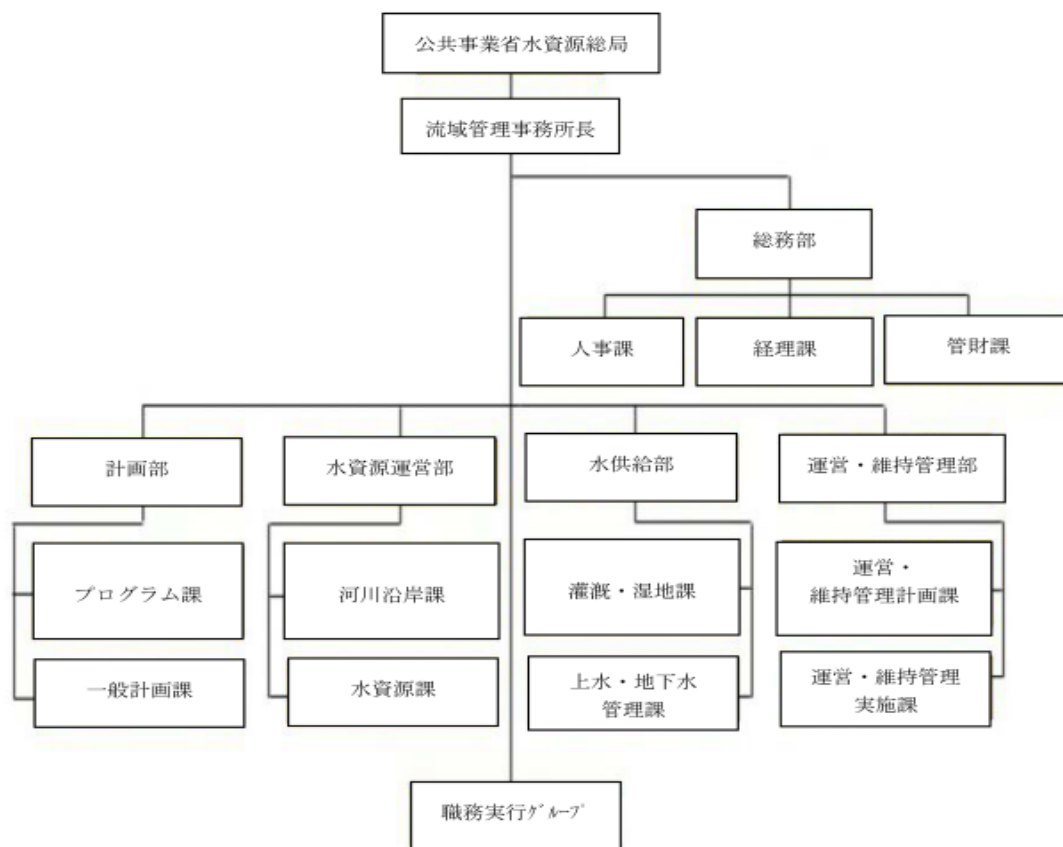


図3 流域管理事務所 (BBWS) 一般組織図

<メラピ山及びプロゴ川流域>

2016年5月制定の公共事業・国民住宅省の組織及び業務手続に関する公共事業大臣規則 No. 20/PRT/M2016 により、公共事業・国民住宅省水資源総局策定の政策ガイドラインのもと、スラク・オパック流域管理事務所 (BBWS-SO) が砂防施設及びそれに付随する施設の維持管理を行うことになった (プロゴ川河床低下対策床固め工、予警報装置 <ただし Balai Sabo に設置の機器類を除く>、水源施設、アクセス/避難道路を含む)。実際の維持管理業務にあたる部署はスラク・オパック運営維持管理特別業務ユニット (Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Operasi & Pemeliharaan Serayu Opak) である。

観測、予警報・避難体制の整備にかかる機器類は2014年に設立された公共事業・国民住宅省砂防研究所 (Balai Sabo: Experimental Station for Sabo) に設置され、同研究所がその運営・維持管理にあたる。Balai Sabo は JICA 技術協力により1982年に設立された砂防技術センター (STC: Sabo Technical Center <1992年に火山砂防技術センター(VSTC)より改称>) を、公共事業・国民住宅省水資源調査開発センターの下に発展的に改組した調査研究機関で対象領域は全国に及ぶ。

土砂採掘管理、地域インフラ施設の維持管理は各県政府の責任で行うことになっている。

<バワカラエン山>

メラピ山と同様の政策背景の下、基本的にポンペンガン・ジェネベラン流域管理事務所 (BBWS-PJ: Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang、以下 BBWS-PJ という)が本事業によって整備された施設の維持管理を行う。BBWS-PJ は土砂堆積状況、カルデラ壁の状況の調査を継続的に行い、それに基づいて既存砂防ダムの修復、床固め工の建設等の防災対策を実施していく。橋、道路の維持管理も同様に BBWS-PJ が責任を持つが、小規模上水、灌漑設備については地域住民がゴトン・ロヨン体制（地域ベースの相互扶助体制）のもとに自ら維持管理を行っている。

以上、メラピ、バワカラエン両事業とも砂防施設を中心とした本事業の運営・維持管理体制は基本的に整っている。しかしながら 3.2.1.3.1 土砂採掘管理公社の設立キャンセル、及び 3.3.2 定性的効果で指摘した通り本事業で計画した SMMI の設立が挫折し、現行体制の下では不法土砂採掘統制の統一的な管理体制が不備であるところから体制面には一部問題があると言わざるを得ない。

3.5.2 運営・維持管理の技術

<メラピ山及びプロゴ川流域>

BBWS-SO は本事業の実施にあたり事業のあらゆる分野においてコンサルタントと協働し、それによって技術力、管理能力を備えた実力組織に育っている。

BBWS-SO スラユ・オパック運営・維持管理特別業務ユニットは大卒エンジニア 24 名（うち修士 5 名）を含む質・量ともに十分な技術スタッフを配備し、維持管理に関する技術水準は十分である。ただし、既存施設の台帳管理、GIS データベース、ニーズ基準コスト等分野での継続的なトレーニングが必要との言明あり。また、本事業内で詳細な維持管理マニュアルが作成され業務に用いられている。

<バワカラエン山>

メラピ事業と同様、BBWS-PJ は本事業の実施にあたり事業のあらゆる分野においてコンサルタントと協働し、それによって技術力、管理能力を備えた実力組織に育っている。本事後評価の質問票回答においてもコンサルティング・サービスによる BBWS-PJ の能力強化が実を上げた、との回答を寄せている。また、ISDM 技術協力プロジェクトによる総合的な防災モデル構築の一環として行われた技術者の育成活動により強化された技術力の底上げは BBWS-PJ にも及んでいる。また、BBWS-PJ ポンペンガン・ジェネベラン運営維持管理特別業務ユニット 20 名のうち大卒エンジニアは 1 名であるが、BBWS-PJ においては簡単なものを除き砂防施設の修繕は原則としてコントラクターに委託して実施している。

以上、メラピ、バワカラエン両事業の持続性に関する技術的な問題は認められない。

3.5.3 運営・維持管理の財務
 <メラピ山及びプロゴ川流域>

BBWS-SO の年次維持管理予算と費用は次表の通り。

表 8：砂防施設年次必要修繕費用と予算付与額（メラピ山及びプロゴ川流域）

(単位：百万 Rp.)

年度	予算付与額	必要修繕費用
2013	393	300
2014	97	103
2015	140	128
2016	20	20
2017*	148	*

出所： JICA 提供資料 (2016 年まで) 本事後評価質問票回答 (2017 年)

* 2017 年度の必要修繕費用については未回答

砂防施設の維持管理業務は概ね、重機を使っての岩石の除去、損傷を受けた砂防ダムの修復、川の浸食が深い場合の補助ダムの追加等の作業であるが、砂防施設の維持管理予算は運営維持管理特別業務ユニットが見積もった必要費用に基づいて BBWS-SO が中央の公共事業・国民住宅省に予算を要求する。上記のとおり概ね必要な予算が BBWS-SO に供与されている。なお 2014 年度は予算付与額が必要修繕費用を若干下回っているが、各施設の修繕のタイミングは硬直的なものではなく前後年度の必要額を超える予算配賦があることから、修繕は問題なく行われている。

<バワカラエン山>

BBWS-PJ の年次実績修繕費用と予算付与額は次表の通り。

表 9：砂防施設年次必要修繕費用と予算付与額（バワカラエン山）

(単位：百万 Rp.)

年度	O&M 予算	O&M コスト
2012	8	7
2013	147	138
2014	-	-
2015	67	67
2016	-	-
2017	200	189

出所： 本事後評価質問票回答

注：2014 年、2016 年には砂防施設の修繕は生じなかった。2017 年は予定額

BBWS-PJ の場合には小規模なものを除いて砂防施設の修繕はコントラクターに外注しており、上記はそれらの金額と予算の供与額である。なお外注するまでもない小規模な修理に関しては一般予算により自己で行っており上記表の数値には含まれていない。

以上、メラピ、バワカラエン両事業の財務的持続性については特段の問題はない。

3.5.4 運営・維持管理の状況

<メラピ山及びプロゴ川流域>

事後評価時点で機能に障害のある施設と修復措置の状況は以下のとおりである。

表 10：事後評価時機能不全施設と修復措置（メラピ山及びプロゴ川流域）

施設名 (いずれもゲンドル川)	不備の状況	修復措置
砂防ダム GE-D2	2010 年噴火時の火砕流による損傷	後続事業 IP-566*により修復予定
砂防ダム GE-D3	土石流の頻発による橋台部の摩耗	後続事業 IP-566 により修復予定
砂防ダム GE-D4	2010 年噴火時の火砕流により大部分が埋没	損傷状況調査の上修復予定

出所：本事後評価質問票回答

*本事業の後続事業である「メラピ山緊急防災事業 (II)」。ただし本事業 (IP-524) の前にも先行事業としての「メラピ火山およびスメル火山防災事業 (2)」があるので、IP-566 は実質的には第 3 期事業になる。

いずれも通常の維持管理不良によるものではなく 2010 年大規模噴火の後遺症で、後続事業 (IP-566) 等により修繕が図られる予定。

現地視察において、2010 年の大噴火の際に効果を発揮した一時避難場所 (シェルター) 建物のメンテナンスが十分でない (ドア、窓の破損) 様子が確認された。

<バワカラエン山>

(1) 砂防施設の状況

事後評価時点で機能に障害のある施設と修復措置の状況は以下のとおりである。

表 11：事後評価時機能不全施設と修復措置（バワカラエン山）

施設名	不備の状況	修復措置
砂防ダム CD-3	副々ダム直下での局所洗堀	下流側に床固工を建設
砂防ダム CD-1	ダム側面部分の水叩き及び副々ダム袖部の損傷	下流側に床固工を再建、新設
砂防ダム No.7-1	副ダム直下流での局所洗堀	砂防ダムの下流に先端ブロック設備を建設
床固め工 (Consolidation Dam) KD-2	副々ダムの一部及び水叩き部分の損傷	水叩きの建設及び鉄製レール設置による副々堰堤の強化

出所：本事後評価質問票回答

いずれも流下土石による砂防施設としての通常の劣化であり維持管理不良によるものではなく、適切な修復措置が取られている。

(2) 予警報システム機器の状況

本事業における予警報システム機器設置の目的は、雨量、水位、振動等の変化データの継続的な集積によって将来の土石流等発生の危険性の客観的な予測を行っていこうとするものであり、災害の発生そのものの危険性を直接に事前キャッチするためのものではない（メラピ山も同様）。バワカラエン山事業の第2回目現地調査において予警報装置の現状視察を行ったが、マスター・ステーションのPCサーバーが故障中で、本来現場設置の測定装置から自動的に伝送されるべきデータの収集がマニュアルで行われている等、必ずしも良好な維持管理が行われていない状況にあった。担当者の説明によるとすでに修理の発注はかけており近日中に修復の見込みとのことであった。しかし、ビリビリ・ダム・コントロールシステムを訪問視察した際に目撃した事実では、別のビリビリ・ダム事業で導入した機器類のほとんどが故障し、また旧式のまま更新が行われていないためメーカー側に修理部品がないといった状況で再使用不能になっている。担当者へのヒアリングによると、修理、更新等の維持管理予算の不足が主な原因とのことであり、まだ新しいため今現在は上記PCサーバーの不具合を除きそれほど支障なく稼働している本事業で設置の機器類の近い将来の運命を垣間見ることにもなり、予警報システムに限っての持続性は懸念されるところである。

3.5.5 総括

本事業砂防施設の運営・維持管理は公共事業・国民住宅省水資源総局の当該地域を管轄する各流域管理事務所の責任で行われており体制面、技術面、財務面での問題は基本的に認められないが、以下の要因により持続性への懸念が払拭できない。

- (1) 本事業で目論んだ土砂採掘管理公社の設立が挫折し、また本来その責任を有する県（Kabupaten）政府による管理も十分に行われていない状況下、依然として違法な土砂

採掘が横行しているのが実態であり、本事業砂防施設への負の影響が懸念される。

- (2) 上記基本的な不安要因はあるものの、両流域管理事務所及び地元住民による砂防その他の施設の維持管理は概ね適切に行われている。しかしながら現地視察調査において、本事業予警報機器の一部に故障が生じており適時の修理が行われていないこと、先行円借款事業で導入されたビリビリ・ダム・コントロールシステム機器類の維持管理が適切に行われず、現時点でほとんど稼働していない状況が観察された。この事実を鑑みるに、本事業設置予警報システム機器の今後の維持管理の徹底に懸念がある。
- (3) 同じく現地視察調査において、2010年の大噴火の際に効果を発揮したメラピ山事業の避難場所（シェルター）建物のメンテナンスが十分でない（ドア、窓の破損）様子が確認された。

以上より、本事業の運営・維持管理は運営体制、技術面、財務面で基本的に問題はないものの、土砂採掘管理、予警報機器類等の今後の維持管理に不安があるため、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業はジョグジャカルタ特別州におけるメラピ山噴火による同山麓・プロゴ川下流部、及び南スラウェシ州のバワカラエン山カルデラ大崩壊によるジェネベラン川流域及びビリビリ・ダムに対するハード、ソフトの両面からの防災対策を行う2事業より構成される。両事業のうちメラピ山・プロゴ川流域事業においては人命及び公的・私的財産保護の促進、及び同地域の持続可能な防災体制の構築を図り、もって地域開発の促進に寄与すること、バワカラエン山事業においては土石流から人命及び農地等を含む公的・私的財産を保護し、被災地域からの土砂流出を防止することで下流のダム機能を改善することを図り、もって州都マカッサル市及びその周辺地域への安定的な水供給等を通じて同市及びその周辺地域の社会経済活動の維持に寄与することを目的として実施された。

本事業の実施はインドネシアの開発政策、自然災害に取り組む国際枠組み、開発ニーズ及び事前評価時の日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。一方、事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

メラピ山事業においては事業実施中に発生した想定外の大噴火により当初設定した定量指標である土砂制御率は効果が測定不能となったが、過去の被災統計及び受益者調査その他より事業の防災効果及び地域開発効果が確認できた。またバワカラエン山事業でも各種指標の達成状況及び受益者調査その他の防災及び地域開発効果が確認できた。以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性、インパクトは高いといえる。

整備された砂防施設の維持管理体制、公共事業・国民住宅省水資源総局の責任機関である両流域管理事務所の技術、財務には問題が認められないが、本事業で計画された土砂採

掘管理公社設立が実現されなかったことによる違法土砂採掘のコントロール体制整備が未実現であり、また予警報システム機器等の運営・維持管理には懸念がみられる。従って本事業の運営・維持管理の体制面、状況には軽度な問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本事業の評価は高いといえる。

役割・貢献

一般に防災案件はすでに起こった被災からの復旧、及び起こりつつあるもしくは近い将来起こりうる災害への迅速な対応が求められるため、実施及び支援機関はその必要性の認識後速やかな準備、実施に努める必要がある。また対象が時々刻々進展する事前予測困難な変化を伴う自然現象であるため、変化する事態に臨機応変に対応する融通自在性（フレキシビリティ）が求められる。バワカラエン山事業はそれらを実践しており、2004年3月に発生したカルデラ壁大崩壊に緊急対処するための迅速な準備が行われ、継続案件としてすでに準備が進んでいたメラピ山・プロゴ川流域事業に合流する形で形成が図られた。また事業開始後には施設設計の適切な見直しによる内容の補足（河床固めダムの追加、ビリビリ貯水池末端及び取水口付近の浚渫作業の追加等）が行われた。メラピ山・プロゴ川流域事業においても事業実施中の想定外の地震、噴火による施設損害対処策が適切かつ迅速に補足された。またそれらへの措置を最大限に行うための借款資金の使用が、両事業を通算して有効に図られた。このように本事業における実施機関及びJICAの対応はそれに見合うものであったため、事業効果の発揮が適時かつ十分に実現されている。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

4.2.1.1 土砂採掘管理体制構築の継続的努力

メラピ山事業の当初計画に含まれていた土砂採掘管理公社（SMMI）設立がその準備段階の実施のみで未実現に終わったことにより、現場での土砂採掘管理が適切な形で体系的に行われていないのが現状である。土砂採掘は地域住民の収益事業として地域社会経済に寄与する半面、適切な管理を欠く作業は砂防関連施設等へのダメージを及ぼす可能性もあり、実施機関は速やかにその管理体制の構築と実施に真摯に取り組むべきである。

4.2.1.2 事業施設維持管理の徹底

メラピ山、バワカラエン山両事業とも砂防ダム、インフラ設備といった主要施設の維持管理は基本的に適切に行われているが、メラピ山事業の一時避難所建物（シェルター）、バワカラエン山事業のモニタリング小屋、予警報システム機器等一部の施設・機器の維持

管理に問題が見受けられる。両流域管理事務所には今後すべての施設についての徹底した維持管理の実施が望まれる。

4.2.2 JICA への提言

4.2.2.1 土砂採掘管理体制構築と実施への働きかけ

上記土砂採掘管理体制の構築と実施は、地元の利権にも関わる現実より、外部よりの圧力が必要であり実施機関の役割が求められると同時に、後続事業の継続実施の過程でも JICA はその実現に対しての要請を強めるべきである。

4.3 教訓

4.3.1 災害復旧・防災事業に対する迅速かつ弾力的な対応

今後特に災害復旧・防災事業のように緊急対処を要し、かつ状況が変わりやすい案件を行う場合には、事業実施機関及び支援機関はその必要性の認識後、直ちに関係諸機関をも含めた効率的な相互コミュニケーションを開始し、また事業形成の手続きの出来得る限りの弾力的な適用を行うことによって事業形成の速やかな準備と実施開始に努めるべきである。また事業実施中は変化する事態に臨機応変に対応する融通自在性を持ち、必要な場合には方法、内容の調整を行う必要がある。

4.3.2 実施中の事業管理

プロジェクト管理はプロジェクト実施ユニット等のプロジェクト実施監視機関により統括的に行われなければならない。本事業では実施機関による総合管理が十分になされておらず統括的なプロジェクト会計も行われていなかったために、事業実施中のプロジェクトの管理が的確に行えず、また総事業費等の正確な把握もできないため、評価を行う上でも制約が生じた。特に本事業のような独立した複数コンポーネントを有する事業の管理は、事業実施全体を統括するプロジェクト実施ユニットを中央の実施機関内に設け、各サブ・プロジェクトサイトでの個別管理体制と中央実施ユニットへの規則的な報告体制を案件形成時に組織し、JICA は実施中にそのとおりの管理が行われているかのモニタリングをするべきである。

以上

主要計画／実績比較

項目	計画	実績 (先方政府支出分実績の有無・内容は不明)
①アウトプット	<p>(メラピ山及びプロゴ川流域)</p> <p><本体事業></p> <p>1. 土石流・火砕流対策 砂防施設の建設・避難道路の修復、土石流予報警報・水文観測網システム整備、避難体制の改善、住民の防災意識の向上、防災のための人材の育成</p> <p>2. プロゴ川河床低下対策 底固め工の建設</p> <p>3. 土砂採掘管理 管理公社の設立、土砂採掘管理手法策定、アクセス道路・ストックヤード建設、採掘機材購入、土砂採掘管理・O&Mへの地域住民の参加促進</p> <p>4. メラピ山麓の地域開発 灌漑堰の修復、砂防施設の多目的利用(橋、道路、取水)</p> <p><コンサルティング・サービス> 国際: 187.0MM ローカル: 780.0MM (バワカラエン山)</p> <p><本体事業></p> <p>1. 土砂流出対策 砂防ダム建設、既存砂防ダム近辺土砂浚渫、既存砂防ダムの修復、土石流予報警報システム整備、避難体制改善、住民防災意識の向上</p> <p>2. 地域・コミュニティ開発 既存橋梁架け替え、アクセス道路改良、その他地域インフラの修復・改善、植林</p> <p><コンサルティング・サービス> 国際: 179.0MM ローカル: 1,048.0MM</p>	<p>(メラピ山及びプロゴ川流域)</p> <p><本体事業></p> <p>1. 土石流・火砕流対策 2006年の噴火被害対応で6基の砂防ダム追加設置、2010年の噴火被害対応で5基の砂防ダム補修、2基の護岸工、道流堤建設。その他は概ね計画どおり</p> <p>2. プロゴ川河床低下対策 計画どおり</p> <p>3. 土砂採掘管理 管理公社の設立、アクセス道路・ストックヤード建設は実施されず、その他は概ね計画どおり</p> <p>4. メラピ山麓の地域開発 2006年の地震被害対応で下記項目の追加実施。他は概ね計画どおり 水資源施設修復(4地域20カ所) 灌漑施設修復(5地域35カ所)</p> <p><コンサルティング・サービス> 国際: 317.68MM ローカル: 801.79MM (バワカラエン山)</p> <p><本体事業></p> <p>1. 土砂流出対策 サンドポケット・ダム2基に替わり床固め工4基を新設。また、ビリビリ貯水池取水口付近の土砂浚渫を追加。他は概ね計画どおり</p> <p>2. 地域・コミュニティ開発 追加工事として市の取水口と上水施設、小学校建物建設を実施。他は概ね計画どおり</p> <p><コンサルティング・サービス> 総MM実績は実施機関によって把握されていない。</p>
②期間	2005年3月~2013年11月(105カ月)	2005年3月~2014年6月(112カ月)(先方政府支出分実績の有無・内容は不明)
③事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	<p>8,205百万円 11,132百万円 (927,667百万ルピア) 19,337百万円 16,436百万円 1ルピア=0.012円 (2004年9月時点)</p>	<p>円借款部分以外不明</p> <p>16,385百万円 1ルピア=0.010円 (実施期間中平均レート)</p>
④貸付完了		2014年7月

0. 要旨

本事業は、スマトラ島の南部スマトラ系統¹における電力需給逼迫の緩和及び電力供給の安定性改善を図ることを目的に、ランブン州タンガムス県ウルブル郡に地熱発電所を整備した。再生可能エネルギーによる電力供給により逼迫する電力需給への対応を目的とする本事業は、インドネシアの電力政策、開発ニーズ及び日本の援助政策と安定的かつ再生可能エネルギーである地熱開発を推進する点で合致しており、妥当性は高い。事業費は計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。審査時に設定した運用・効果指標は、目標値と比しておおむね順調な達成数値となっている。本事業は、南部スマトラ系統で最も供給予備率の低いランブン州に立地し、同地域の電力ロスの低減と電力の質の維持に重要な役割を担っている。また、現地ヒアリング結果から、本事業がランブン州地域における経済活動の活性化や投資環境の改善に貢献していると判断される。このことから本発電所はおおむね計画どおりの効果発現がみられ、有効性・インパクトは高い。自然環境及び用地取得における負の影響は発生していない。また、本事業により地元住民の雇用機会の創出やCSR事業を通じた地元住民のコミュニティ活動への貢献が確認されている。本発電所の運営・維持管理体制、技術、財務、状況ともに問題はなく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



ウルブル地熱発電所（外観）

¹ ランブン・サブ系統（ランブン州）、南スマトラ・サブ系統（南スマトラ州）、ブンクル・サブ系統（ブンクル州）の三つのサブ系統より構成される。

1.1 事業の背景

インドネシアのスマトラ島南部では、電力の需要の拡大に伴い、新たな電源開発が急務となっていた。特に、本事業が位置するランブン州は人口増加や経済成長に伴いピーク需要が2003年の約300MWから2009年の約450MWと年平均7%で伸びる見込みであったのに対し²、既存の発電設備の供給信頼度は低く、電力需給が非常に逼迫していた。電源開発は進められていたが、需要の伸びはそれを上回り、供給予備率は低下していた。したがって、同地域への電力供給力を増大させるとともに、電力供給の安定性を改善することが必要であった。本事業は、スマトラ島南部のランブン州に地熱発電所及び関連設備を整備することを通じて、電力需給逼迫の緩和を図るとともに安定した電力供給を確保するものである。

1.2 事業概要

スマトラ島南部のランブン・サブ系統に接続する地熱発電所（55MW×2基）を建設することにより、南部スマトラ系統³の電力需給逼迫の緩和及び供給の安定性を改善し、もって投資環境の改善等を通じたスマトラ島南部の経済発展に寄与する。

円借款承諾額/実行額	20,288 百万円 / 16,068 百万円
交換公文締結/借款契約調印	2005 年 3 月 / 2005 年 3 月
借款契約条件	金利 0.75% 返済 40 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイド
借入人/実施機関	インドネシア共和国 / 国有電力会社 (PT. PLN)
事業完成	2013 年 10 月
本体契約	住友商事株式会社 (日本)
コンサルタント契約	Sinclair Knight Merz (オーストラリア) / PT. Amythas Experts & Associates (インドネシア) / PT. Connusa Energindo (インドネシア) / PT. Tata Guna Patria (インドネシア) / 西日本技術開発 (株) (日本) (JV)
関連調査 (フィージビリティ・スタディ : F/S) 等	F/S (2004 年 4 月)

² JICA 提供資料より。

³ 審査時に事業概要で言及していた「南スマトラ系統」は、ランブン州、南スマトラ州、ブンクル州、ジャンビ州、西スマトラ州、リアウ州を対象範囲としており、本事業が位置するランブン州が含まれるものの、範囲が広すぎるため、事後評価時において実施機関と協議し、ランブン州、南スマトラ州、ブンクル州を対象範囲とする「南部スマトラ系統」とすることで合意した。

関連事業	技術協力 ・ スマトラ系統電力開発運用強化計画調査 (2004年～2005年) 世界銀行 ・ Java-Bali Power Sector Restructuring and Strengthening Project (2003年6月～2013年12月) アジア開発銀行 ・ 送電セクター改革事業 (2003年11月～2013年9月) ・ 再生可能エネルギー開発事業 (2003年11月～2014年6月)
------	---

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

島村 真澄 (三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社)

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2016年10月～2018年1月

現地調査：2017年4月2日～4月13日、2017年8月8日～8月11日

3. 評価結果 (レーティング：A⁴)

3.1 妥当性 (レーティング：③⁵)

3.1.1 開発政策との整合性

本事業の審査時において、「国家電力設備開発計画 (以下、「RUKN⁶」という。) 2004年4月」では今後の利用を見込むエネルギー資源の一つとして、安定的かつ再生可能エネルギーである地熱開発を推進していた。RUKNによると、インドネシアは豊富な地熱資源に恵まれており、本事業の審査時、国全体では10GW、スマトラ島ではその約半分の5.4GWの潜在的な地熱資源があると推定されていた。2000年の大統領令76号ではエネルギー源の多様化及び省エネルギーの方法として地熱発電を積極的に活用するよう提唱していた。また、地熱利用促進を図る地熱法も2003年10月に施行されている。したがって、本事業はインドネシアの開発政策に整合したものである。

事後評価時においても、地熱を含む新・再生可能エネルギーを最大限利用する政策が打ち出されている。具体的には、インドネシア政府が掲げる2019年までの発電設備容量増加計画である「35GWプログラム」において、2015年から2019年までの

⁴ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

⁵ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁶ Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional

5カ年で新規に35GWの発電の設備容量増加を目標としており、35GWのうち地熱を含む新・再生可能エネルギーによる発電の設備容量は全体の10%~15%にあたる3.7GWを目標としている。RUKN 2015-2034 ドラフト⁷も同プログラムに沿った内容となっている。また、実際の発電量においては、国有電力会社（以下、「PLN⁸」という。）の「電力供給計画（以下、「RUPTL⁹」という。）2017年~2026年」にて新・再生可能エネルギーによる発電量の割合を2016年の11%から2026年までに全体の22.5%までに上げていくこと、電源構成においては、地熱発電の設備容量を2016年の4%から2026年には9%にまで増加させていくことが目標に掲げられている。本事業の実施は、事後評価時においてもインドネシアの開発政策と合致している。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

本事業の審査時において、スマトラ島南部の電力需給の逼迫に対応し、安定的な電力供給体制を構築することは喫緊の課題であった。本事業が位置するランブン州の最大電力需要は人口増加や経済成長に伴い、2003年の約300MWから2009年の約450MWまで1.5倍（年平均7%）に伸びることが見込まれていた。一方、老朽化やメンテナンスによる運転停止により既存の発電設備の供給信頼度は低く、電力需給が非常に逼迫していた。発電単価が高く経済性が低いというのに、環境負荷の大きいディーゼル発電に代わる電源の開発は進められていたが、需要の伸びはそれを上回り、供給予備率は低下していた。したがって、逼迫した電力需要への対応と、電力供給の安定性及び信頼性の向上、地域内の設備効率の向上を図ることが期待されていた。

事後評価時点においても、実施機関によるとスマトラ島南部における発電能力の増強は急務の課題とされている。特にランブン州は電力不足が深刻な地域の一つとされ、供給予備率は表1のとおり、2007、2008、2011年を除きマイナス値で、安定的な電力供給に必要な供給予備率とされる25%¹⁰を大きく割り込んでおり、今後とも電力需給の改善を図ることは急務となっている。現状、ランブン・サブ系統は、南スマトラ・サブ系統、ブンクル・サブ系統等からの電力融通により需給ギャップを補完している状況であるが、表2のとおり、今後もランブン・サブ系統での新規電源開発投資が計画されており、逼迫した電力需給の対応が継続されている。

⁷ 事後評価時点において、RUKN 2015-2034 は承認されていない。

⁸ Perusahaan Listrik Negara

⁹ Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik

¹⁰ RUKN 2003年~2022年より。

表 1：ランポン・サブ系統の電力需給バランス及び供給予備率の推移

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
①最大電力需要 (MW)	373	394	365	413	467	517	582	613	696	732	891	736
②ピーク時供給電力 (MW)	217	414	407	383	433	516	577	549	671	600	719	736
供給予備率 (%) = (②-①) / ①	-42	5	12	-7	-7	0	-1	-10	-4	-18	-19	0

出所：実施機関への質問票回答

注 1) 2017 年は 2017 年 1 月～10 月までの数値。

表 2：ランポン・サブ系統の電源開発投資実績と計画（各年時点の累計）

(単位：MW)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PLN による発電所投資															
石炭火力	-	200	200	177	177	178	178	177	265	267	300	300	300	300	300
コンバインドサイクル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水力	115	117	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118
ガスタービン	16	16	18	18	18	18	18	17	16	16	75	175	360	360	360
ディーゼル	75	78	71	71	71	123	163	127	112	51	28	25	-	-	-
地熱	-	-	-	-	-	-	100	110	110	104	104	104	104	104	104
その他	11	3	-	-	50	80	-	-	50	44	44	44	44	44	44
IPP ¹¹ による発電所投資															
石炭火力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
コンバインドサイクル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	56	56
ガスタービン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ディーゼル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	110	110	300
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-
PLN 及び IPP による発電所投資の合計															
合計	217	414	407	384	434	517	577	549	671	600	719	876	1,092	1,092	1,282

出所：実施機関への質問票回答

注 1) 2016 年までが実績値。2017 年以降は計画値。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

本事業の審査時において、日本の対インドネシア国別援助計画（2004 年 11 月）では、重点分野の一つとして「民間主導の持続的な成長」を掲げ、投資環境改善のための「経済インフラ整備」等を支援策に挙げていた。「海外経済協力業務実施方針」（2002 年 4 月、JICA）では、経済改革を通じた持続的成長軌道への回復努力に不可欠な「経済インフラ整備」を対インドネシア支援の重点分野として掲げていた。加えて、同方針の重点分野の一つである「地球規模問題への対応」の一環として再生可能エネルギーの導入を積極的に支援することが示されていた。さらに、「海外経済

¹¹ IPP (Independent Power Producer) とは、独立系発電事業者のこと。発電設備のみを所有し、送電系統は所有していない卸売発電事業者を総称して IPP と呼ぶ。

協力業務における国別業務実施方針」(2004年9月、JICA)の主要セクターへの支援方針の中で、電力の安定供給、電力セクターの効率化、電化率向上、環境対策の4点が課題として挙げられており、「外島の主要経済圏(スマトラ島及びスラウェシ島)における電力の安定供給に向けて、当該地域における発電設備の新設・増強及び連係送電網拡充事業等を積極的に支援する」との方針が示されていた。

本事業は、南部スマトラ系統の電力需給逼迫の緩和と供給の安定性の改善、スマトラ島南部の経済発展への貢献、再生可能エネルギーの利用を通じた地球環境負荷の軽減への寄与を目的としており、上記の方針に合致している。

以上より、本事業の実施はインドネシアの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 効率性 (レーティング: ②)

3.2.1 アウトプット

本事業は、地熱発電設備 55MW級×2基(合計 110MW級)、150kV関連送電線、変電所、配電線を整備するものである。アウトプットの計画と実績の比較は表3のとおりである。なお、発電に必要な蒸気の開発及び供給部分については国営石油・ガス会社のプルタミナ社の子会社である地熱エネルギー社(PGE)が行った。実施機関であるPLNはPGEと本事業に関し蒸気売買契約を結んでいる¹²。

表3: アウトプットの計画と実績の比較

計画	実績
土木工事、調達機器等	
<ul style="list-style-type: none"> 地熱発電設備建設(55MW級×2基) 150kV関連送電線敷設 変電所等増設 配電線敷設 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 計画どおり 計画どおり 計画どおり(注1)
コンサルティング・サービス	
<ul style="list-style-type: none"> 既存資源開発調査の見直し(蒸気関連) 詳細設計、入札補助、施工監理 運用・保守の補助、知識・技術の移転及び人材育成 環境管理補助 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 計画どおり 計画どおり 計画どおり

出所: PLN への質問票回答

注1) 本事業の1コンポーネントであるが、円借款の対象からは外れ、PLNの自己資金にて整備された。

¹² 蒸気売買契約は、2010年2月に実施機関とPGEとの間で締結された(30年契約)。当初計画では、蒸気売買契約は借款契約の発効前に締結に至る予定となっていたが(ただし、蒸気売買契約は借款契約発効の条件にはなっていなかった)、実際には借款契約の調印から約5年後の締結となった。遅延の理由は、脚注15を参照。

土木工事、調達機器等について、アウトプットは計画どおりで変更はない。ただし、PLNによると、配電線の敷設は円借款対象から外れ、PLNの自己資金にて整備された。これはタンガムス県におけるPLNの配電地域の電力供給ニーズに早急に対応する必要があり、PLNが2006年度及び2012年度予算を使って自己資金にて配電線の整備を行ったためである。

コンサルティング・サービスの内容は計画どおり実施された。投入量は、計画の526人月(M/M)に比べ実際は529.8M/Mと、3.8MM増加した。これは、コントラクター入札手続きの遅延に伴う増加である(後述のとおり入札手続きの遅延にはPGE側の計画遅延に伴う入札図書完成・入札開始時期の遅延が含まれている)。事業遅延期間中も含めて、コンサルタントを配置する必要があったため、M/M量の増加につながった。



タービン及び発電機



冷却塔



主蒸気隔離弁



開閉所

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

本事業の総事業費は、当初計画では 23,875 百万円（うち円借款部分は 20,288 百万円）であったのに対し、実際は 19,095 百万円¹³（うち円借款部分は 16,068 百万円）と、計画内に収まった（対計画比 80%）。

総事業費計画内に収まったのは、競争入札の結果、応札価格が予定価格を下回ったこと、及び、事業実施中における現地通貨インドネシア・ルピアの対円減価の影響があったことによる¹⁴。

3.2.2.2 事業期間

審査時に計画された事業期間は、2005 年 3 月（借款契約調印）～2012 年 2 月（保証期間の終了時）の 84 カ月であったが、実際には、2005 年 3 月（借款契約調印）～2013 年 10 月（保証期間の終了時）の 104 カ月と計画を上回った（計画比 124%）。事業遅延により貸付実行期限の延長が行われた。2012 年 12 月に延長され、最終的な貸付実行期限は 2014 年 6 月となった。

表 4 は、事業期間の計画と実績の比較を整理したものである。

表 4：事業期間の計画と実績の比較

項目	計画（審査時）	実績（事後評価時）
コンサルタント選定	2005 年 4 月～2006 年 3 月（12 カ月）	2005 年 4 月～2006 年 11 月（20 カ月）
コンサルティング・サービス	2006 年 3 月～2012 年 2 月（72 カ月）	2006 年 12 月～2013 年 10 月（83 カ月）
詳細設計及び調達	2006 年 4 月～2008 年 3 月（24 カ月）	2006 年 12 月～2010 年 2 月（39 カ月）
発電設備の建設（1号機）	2008 年 4 月～2010 年 8 月（29 カ月）	2010 年 2 月～2012 年 9 月（32 カ月）
発電開始時期（1号機）	2010 年 8 月	2012 年 7 月
発電設備の建設（2号機）	2008 年 10 月～2011 年 2 月（29 カ月）	2010 年 2 月～2012 年 10 月（33 カ月）
発電開始時期（2号機）	2011 年 2 月	2012 年 9 月
保証期間	2011 年 3 月～2012 年 2 月（12 カ月）	2012 年 9 月～2013 年 10 月（14 カ月）

出所：JICA 提供資料及び PLN への質問票回答

事業実施遅延の主な原因は、①コンサルタントの雇用が遅延したこと（PLNとコンサルタントの契約交渉に時間を要したため、同契約の締結と業務開始が遅れた）、②コントラクターの入札手続が遅延したこと（PLNによる事前資格審査が当

¹³ 実施機関が自己資金にて整備した配電線敷設に係るコストを含む。

¹⁴ 審査時 1 ルピア=0.012 円で試算されていたが、実際は、1 ルピア=0.0102 円（2005 年から 2014 年の IMF レートによる期間平均値）とルピア安傾向であった。

初計画より遅延したこと、及び、蒸気供給事業者であるPGEの計画遅延¹⁵により、入札図書作成に必要とされる地熱資源データの入手が遅れ、入札図書完成・入札開始時期が遅延したこと）による。これに伴い、コンサルティング・サービス期間が大幅に延長となった。

3.2.3 内部収益率（参考数値）

審査時には、本事業の売電収入を便益、本事業の建設費、運営・維持管理費を費用、プロジェクト・ライフを25年として財務的内部収益率（FIRR）が算出され、8.0%という結果であった。本評価において同様の条件にて再計算したところ、6.0%と算出された。審査時の値を下回った主な理由は、蒸気量の低下による売電収入の減少を将来予測に加味したことによる。経済的内部収益率（EIRR）については審査時に算出されていないため再計算は行わなかった。

以上より、本事業は事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

BOX 1：事業実施の過程でコントラクターが直面した苦労とその対応

本事業は、事業サイトが山の中にあり、まずは丘陵の斜面を削り建設工事が可能となるように整地する必要があったこと、単体の発電所建設ではなく既存の送電線まで約26kmの新規送電線の建設や関連する変電所の新增設も事業スコープに含まれていたこと、本事業のスコープ外（PGEが責任機関）である集蒸気システム部分（※）の工事の遅れを本事業において吸収する必要があった¹⁶ことなど、難易度が高く、「時間との戦い」が求められる事業であった。コントラクターは、プロジェクト・マネジメントを適切に行い、各スコープ間でのオペレーションにおいて円滑なインターフェースを確保することで事業の実施促進を図った。具体的には、発電所建設用地（丘陵斜面）の整地、資機材のタイムリーな調達、地元住民にも配慮した資機材の運搬、山中に設置する鉄塔の基礎工事、プラントの据え付けなど各オペレーション部隊間で緊密なコミュニケーションと連携体制がとられ、徹底した話し合いで複数の組織（コントラクター、製造業者、本邦・外国のコンサルタント等）より構成する事業関係者による混成チームの結束強化が図られた。また、コントラクターは、コンサルタントと連携して、PLNとコントラク

¹⁵ 実施機関より入手した資料によると、PGEが本発電所の出力確保のために必要な蒸気量を確保するための坑井の掘削に時間を要したことから計画が遅延した（十分な蒸気量の井戸を掘り当てるのに時間がかかったため）。この遅れが実施機関とPGEとの間の蒸気売買契約締結の遅延につながった。

¹⁶ この部分は発電所建設とは別のプロジェクトであり、PLNが調整の責任を担っていたが、工事が遅れていた。集蒸気システムが整備されなければ発電所が完成しても発電することができず、コントラクターは、集蒸気システムの遅れを吸収して納期を守り、発電所建設の工期内に発電が行えるようにすることを目標としていた。

ター間の契約書でカバーしきれなかった詳細事項を図面に落とし込んでPLNに丁寧に説明を行うなど、PLNによる検討・承認プロセス促進のための工夫が行われた。こうして、施工体制・調達・コスト管理などを含むプロジェクト・マネジメント全体の最適化を図ることで約2カ月間工期が短縮され、事業スコープ外であったPGEによる集蒸気システム部分の工事遅延を吸収して、円滑な発電開始が実現した。

(※) 掘削した井戸から取り出した蒸気を発電所まで運ぶ集蒸気配管の土木据付部分。

3.3 有効性¹⁷ (レーティング：③)

3.3.1 定量的効果 (運用・効果指標)

本事業の審査時に設定した各運用・効果指標について、2013年～2017年(1月～6月まで)の実績値を表5に取りまとめた(事業完成の定義である保証期間終了は2013年10月であることから、目標年は2年後の2015年である)。

表5：運用・効果指標

指標名	目標値	実績値			
	2014	2014	2015	2016	2017
	事業完成 2年後	事業完成 1年後	事業完成 2年後	事業完成 3年後	1月～6 月
運用指標					
最大出力 (MW)	110	110	105	93	94
設備利用率 (%) 注1)	85	93.27	93.18	81.13	82.9
稼働率 (%) 注2)	85	99.96	97.94	97.28	99.83
所内率 (%) 注3)	3%未満	3.4	3.5	3.7	3.7
人員ミスによる停止時間 (時間)	0	0	0	0	0
人員ミスによる停止回数 (回)	0	0	0	0	0
機械故障による停止時間 (時間)	0	3.51	18.89	53.55	7.6
機械故障による停止回数 (回) 注4)	0	3 (1)	4 (3)	8 (6)	2 (1)
定期保守点検による停止時間 (時間)	点検1回につき720時間	0	323.3	370.3	0
定期保守点検による停止回数 (回)	30年間の稼働で8回	0	1	1	0
効果指標					
送電端発電量 (GWh/年) 注5)	794	858.7	825.6	735.2	372.6

出所：JICA 提供資料及び PLN への質問票回答

¹⁷ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

注 1) 設備利用率 (%) = 年間発電量 / (定格出力 × 年間時間数) × 100。

注 2) 稼働率 (%) = (年間運転時間 / 年間時間数) × 100 (発電設備 2 基の平均)。年間運転時間にはスタンバイ時間も含まれる。

注 3) 所内率 (%) = (年間所内消費電力量 / 発電端発電量) × 100。

注 4) カッコ内は、機械故障による停止回数のうち、ウルブル地熱発電所内で発生した機械故障。

注 5) 送電端発電量 (GWh) = 年間発電量 - 所内消費電力量。2017 年の数値が低いのは半年分 (1 月～6 月) のため。

運用効果指標の目標年である 2015 年における発電能力等に係る指標については、計画値と比しておおむね順調な達成数値となっている。PLN によると、本事業完成後、本発電所は順調に稼働していたが、2016 年初頭に実施したマイナーな保守点検後に PGE が供給する蒸気量が減少し (本発電所に蒸気を供給する 11 本の生産井のうち、3 本の井戸の蒸気供給量が減少)、2016 年の最大出力、設備利用率、稼働率、送電端発電量の数値が低下している。しかし、これら指標はいずれも目標値の 8 割超である (最大出力: 目標値の 85%、設備利用率: 同 95%、稼働率: 同 114%、送電端発電量: 同 93%)。また、PGE は蒸気量の回復に注力しており、2017 年 1～6 月の最大出力は 94MW と 2016 年より若干増えている。

PLNによると、所内率が目標値を超えているのはウルブル地熱発電所内の事務管理棟内の電力、アクセス道路の外灯やセキュリティ施設の電力供給が含まれているため、これらを除外すると 3%未満になるとのことだった¹⁸。人員ミスによる停止はない。機械故障は、ウルブル地熱発電所内の故障と発電所外の故障の合計数で、前者は、サーキットブレーカーや補助トランスフォーマーの故障など電気系統のトラブルや蒸気ラインに使用されるバルブのトラブルなどであり、いずれもウルブル地熱発電所による通常のメンテナンス活動で対応可能な故障とのことだった。後者は、ランプン・サブ系統の電圧不安定性に起因した電源故障や電圧崩壊¹⁹による故障であり、ウルブル地熱発電所のコントロール外の要因によるものである。

定期保守点検による停止は、審査時の目標では 30 年間の稼働で 8 回と設定されており、単純計算では 3.75 年に 1 回となる。他方、実績値をみると、事業完成 3 年後の時点で、2015、2016 年にそれぞれ 1 回ずつ、既に合計 2 回も停止している。そこで、PLNに定期保守点検の定義を確認したところ、実績値のほうはいずれもマイナーな保守点検による停止であるのに対して、審査時に設定された目標値は、大規模保守点検を想定したものであり、マイナーな保守点検はこれには含まれていなかったと考えられるとのことだった。審査時の目標値ではなぜ大規模保守点検による停

¹⁸ PLNによると、審査時に設定した所内率もこれらが除外されていたと考えられるとのことであった。

¹⁹ 電力の需給バランスの崩れによって電力系統内の周波数を適正範囲内に維持できず、系統全体で電圧が急激に低下する現象。

止のみが想定されていたのかその理由は不明であるが、PLNによると、マイナーな保守点検においても発電機等を停止する必要があるとのことだったため、実績値には2015、2016年のマイナーな保守点検分を計上している²⁰。したがって停止回数の実績値は想定以上に計上されているが問題はない。

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

PLNによると、本発電所が、電力需要が多いランプン州に立地していることにより、他地域からの電力の融通の削減に貢献しており、南部スマトラ系統及びランプン・サブ系統の電力ロスの低減と電力の品質（電圧）の維持において重要な役割を担っているとのことだった。現状、ランプン・サブ系統は、南部スマトラ系統を構成する他のサブ系統（南スマトラ・サブ系統、ブンクル・サブ系統）等からの電力融通により需給ギャップを補完している状況であるが（表6）、こうした地域を跨ぐ電力融通は安定的・効率的な電力供給の阻害要因となることから²¹、極力同一地域内で電力を供給し、電力系統全体の安定性と適正な電力の品質を確保することが重要との指摘があった。この観点から、本発電所が、電力需要が多いランプン州に立地していることは、意義深いといえる。

なお、表6によると、他のサブ系統からランプン・サブ系統への融通電力は増加している。これは、供給が需要に追いついていないためであるが（表1参照）、その増加分も本来電力融通が起り得ていたとすれば、本事業は融通の削減に貢献している（本事業が実施されていなければ更なる電力融通が必要であった）と考えられる。

表6：他のサブ系統からランプン・サブ系統への電力融通データ

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ピーク時融通電力 (MW)	210	240	260	272	340	350	181
平常時融通電力 (MW)	180	234	252	260	310	320	350

出所：PLNへの質問票回答

注1) 2017年は2017年1月～10月までの数値。

²⁰ 後述（持続性）のとおり、大規模保守点検は4年ごと、マイナーな保守点検は2年ごとに実施する計画となっている。

²¹ このロジックとして、実施機関より「発電場所と実際の消費地が遠い（送電距離が長い）→電気抵抗が大きくなる→電力損失が増える→電圧が低下する」との説明があった。

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

3.4.1.1 投資環境改善

ランブun州地域における販売電力量の推移を表7に示した。商業及び工業分野への販売電力量は増加傾向にあり、地域住民や地元企業へのヒアリング結果（後述）も踏まえると、本事業がランブun州地域における経済活動の活性化、投資環境の改善に貢献していると推論される。

表7：ランブun州地域における販売電力量の推移

(単位：GWh)

	実績						予測		
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
住宅	1,457	1,731	1,877	2,069	2,205	2,368	2,568	2,786	3,037
商業	306	383	427	399	401	438	482	534	600
公共分野	167	188	206	214	239	253	270	291	315
工業	395	491	671	709	726	775	840	924	1,042
合計	2,325	2,793	3,182	3,392	3,571	3,835	4,160	4,534	4,993
増加率 (%)	14	20	14	7	5	7	8	9	10

出所：PLN への質問票回答

注1) 四捨五入の関係で合計が一致しない。

注2) 増加率は、前年比での販売電力量の増加率。

注3) 2016年以降はIPPによる販売電力量も若干含まれるが(IPPの割合は相対的に小さいとのこと)、PLNによる販売量との切り分けることはできないとのことだった。

地域住民や地元企業へのヒアリングの結果、電力の安定供給による地元企業の事業拡大、これによる現地住民の雇用増や従業員の給料増、ランブun州への新規参入企業の増加、本事業の発電所建設時及び発電所稼働後の地元住民の雇用など、事業実施後の産業振興や雇用創出等のインパクトがあったことが指摘された。

3.4.1.2 再生可能エネルギーの利用による地球環境負荷の軽減

本事業は審査時において、排出量削減対象の事業（CDM²²案件）とする可能性が模索されたが、結果的にCDM案件とはならなかった。PLNによると、CDM適用

²² CDMとは、投資国（先進国）が、ホスト国（開発途上国）において温室効果ガス削減につながる事業を実施した結果、当該事業がなかった場合と比較して、追加的に削減された量を投資国の温室効果ガス排出量の削減分の一部に充当することができる制度。CDM適用のためには、ホスト国側の実施機関は、排出量把握のための体制や人材等を整える必要がある。

に向けた準備がPLN内で整わなかったため（体制整備や人材確保といった観点で不十分だった）とのことだった。本事業による二酸化炭素の排出量に関しては利用可能なデータが十分ではなく、正確な削減効果はわからない。審査時において、事業効果として地球環境負荷の軽減への寄与が想定されていたことから、温室効果ガスの削減量データの収集・計算を行う体制を確認しておくことが望ましい。

3.4.2 その他、正負のインパクト

3.4.2.1 自然環境へのインパクト

本事業は、大規模な発電所の整備事業であり、「環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン」（2002年4月）上、A種に該当する。本事業の環境アセスメント報告書（以下、「AMDAL」という。）、環境管理計画（以下、「RKL」という。）、環境モニタリング計画（以下、「RPL」という。）はタンガムス県環境アセスメント委員会によって、発電所部分は2004年9月に、送電線部分は2004年10月に承認されている。

PLNは、事業実施期間中及び完成後も四半期ごとにAMDAL、RKL、RPLに則り、環境モニタリング²³を実施しており、事後評価時点において特段の環境への悪影響は報告されていない。また、現地調査時に実施した、事業実施中から現在までの環境影響に関する周辺住民へのヒアリングにおいても大気汚染、悪臭、騒音等環境への負の影響は指摘されていない。表8は、地熱発電における重要な環境指標について、PLNがモニタリングを行った結果である（2016年12月計測）。大気汚染物質の硫化水素（H₂S）の濃度や還元井の水質（ヒ素（As）、水銀（Hg））について、標準値を大きく下回っている。

表8：環境モニタリング結果

指標	基準値	観測結果
大気汚染：硫化水素（H ₂ S）	35 mg/Nm ₃ 注1)	7 mg/Nm ₃
水質：ヒ素（As）	1 mg/L注2)	0.005 mg/L
水質：水銀（Hg）	0.002 mg/L注2)	0.001 mg/L

出所：PLNへの質問票回答

注1) 地熱発電事業からの排ガス基準に関する環境大臣規則（2008年第21号）

注2) 水質汚濁の防止及び水質管理に関する政令（2001年政令第82号）

PLN及び周辺住民へのインタビューの結果、送電線ルートの一部が保護林を通過するが、PLNは詳細設計において保護林通過ルートを最小化し、同ルート下の樹木の剪定も計画どおり8.5mを超える部分のみで、また、鉄塔設置による保護林

²³ 発電所からの排ガス、大気汚染、水質、工業用排水、浄化槽を使った衛生排水、廃棄泥処理、騒音等の項目に関して環境モニタリングが実施された。

への影響も限定的である（表 9 のとおり実際の用地取得面積（12.9ha）も計画値（21.2ha）より減少している）。このことから、当該地域における保護林伐採の水・土壌保全機能に対する影響は生じていないと判断される。

3.4.2.2 住民移転・用地取得

住民移転・用地取得に係る当初計画と実績の比較を表 9 にまとめた。詳細設計の段階で具体的な送電線ルートが確定し、取得面積が当初見込みより減少した。住民移転は発生しなかった。現地調査時に実施した、事業実施中における住民移転・用地取得に関するPLN及び住民へのインタビュー²⁴によると、本事業のため一部の農地を提供した土地所有者（農民）への補償手続きはインドネシアの規則（大統領Degree No. 36/2005 及び同No. 65/2006（改定版））に基づいて実施され、特段問題はなかった。補償金額についても農民側から異論は示されなかった。

表 9：住民移転・用地取得の計画と実績の比較

計画		実績	
用地	住民移転件数	用地	住民移転件数
21.2ha	0	12.9ha	0

出所：PLN への質問票回答

3.4.2.3 その他のインパクト

PLN及び住民へのインタビューによると、本発電所の周囲約 30kmの範囲にある 6 村²⁵は、本事業実施前は無電化もしくは電力供給が限定的（電力供給時間が 1 日のうちで数時間に限られていた）であったのに対して、本事業により配電線が整備されたことにより電化され、安定的な電力供給が実現した。これにより、籾摺り機等の農業機械の利用が可能となり、作業効率の向上や収穫の増加につながった。また、本事業で整備されたアクセス道路を利用して収穫した米を車両で運搬できるようになった（本事業実施前は舗装されていない山道を徒歩で運んでいた）。

また、ウルブル地熱発電所は、CSR 事業の一環として、上記 6 村を含む周辺住民に対して住民の自立プログラム（ヤギの飼育を通じたバイオ肥料の生成、母子保健（予防接種）の推進、エネルギー/電力節約に関する児童教育の普及等）の支援を行っている。こうした取り組みを通じて住民間の結束強化や交流の活性化にも貢献している。

²⁴ 後述のとおり、本発電所の周囲約 30km の範囲にある 6 村の住民 12 名にインタビューを行った。主に稲作農家（村長を含む）で、本発電所に勤務する者が 2 名いた。PLN が各村の村長もしくは有力者に声をかけ、紹介された人物が対象者に選ばれた。対象者は結果的に全て男性であった。

²⁵ Muara Dua Village, Pagar Alam Village, Karang Rejo Village, Gunung Tiga Village, Data Rajan Village, Ngarip Village の 6 村。

以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

3.5 持続性（レーティング：③）

3.5.1 運営・維持管理の体制

事業完成後の発電所の運営・維持管理は、PLN バンダル・ランブン管区事務所（以降、地域事務所）の監督の下、ウルブル地熱発電所が行っている。地域事務所とウルブル地熱発電所との間では日常的にコミュニケーションが行われ、緊密な連携体制が取られている。地域事務所は、パレンバン市にある南部スマトラ発電統括局に属している。両者の関係は良好で、四半期ごとに定例調整会合が開催されているほか、検討議題が発生した際には随時特別会議を開き情報交換や意見交換が行なわれている。

ウルブル地熱発電所は、発電所長の下に、運営部（A～D）²⁶、維持管理部、管理部を担当する各監督部長が配置され、それぞれの任務にあたっている。同発電所は全体で約 40 名の従業員を擁しており、その 9 割超が運営・維持管理を担当する技術者である（約 40 名の従業員に加え、地元の住民から雇用したヘルパー²⁷約 30 名がサポートを行っている）。発電所従業員へのヒアリングによると運営・維持管理業務に必要な技術者数は確保されているとのことであった。

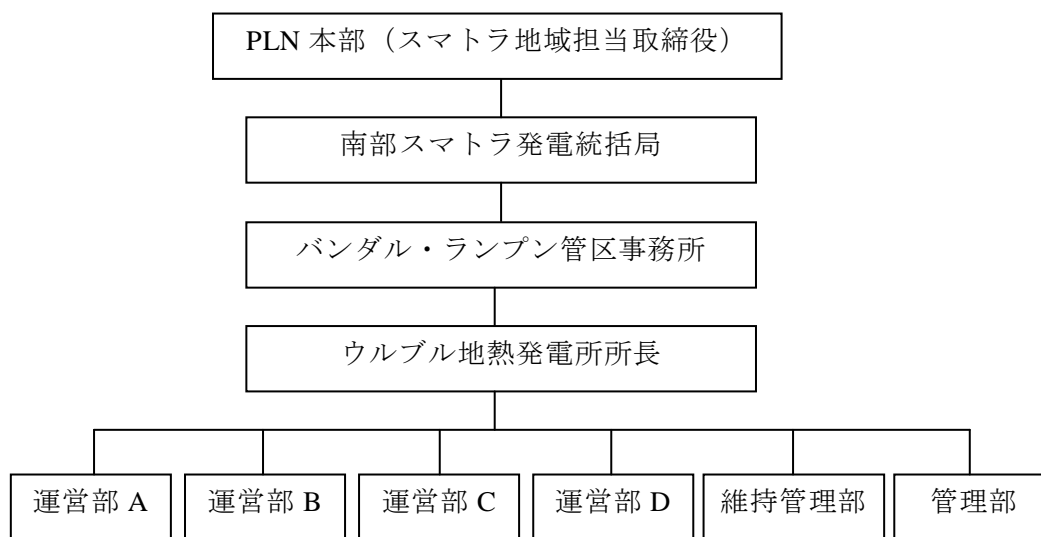


図 1：ウルブル地熱発電所の維持管理に係る組織体制図

出所：PLN 提供資料より作成

²⁶ 運営部は A～D の 1 日 4 シフト制を採用している。

²⁷ ヘルパーは、主に技術者の助手として雑務を担当している。

ウルブル地熱発電所は、ISO 90001（品質管理システム）、ISO 14001（環境管理システム）、SMK3（職場安全及び衛生管理システム）、Security Management System（安全マネジメントシステム）を取得しており、これらに適合した管理システムに基づいて発電所の運営・維持管理業務を行っている。加えて、同発電所では PLN 内で標準化されたエネルギーマネジメントシステム、スペアパーツに係るサプライチェーンマネジメントシステム、資産管理システム、リスクマネジメントシステムを導入して運営・維持管理業務に従事している。

以上より、ウルブル地熱発電所の運営・維持管理体制に特段問題は認められない。

3.5.2 運営・維持管理の技術

運営・維持管理においては、インドネシア電力専門家協会（HAKIT）やインドネシア電力エンジニア協会（IATKI）が認定する電力技術者の資格を有し、発電所の運営・維持管理業務に関して十分な経験を積んだ技術職員が配置されている。また、本事業の実施中において、コンサルタントが運営・維持管理に関する研修・技術移転を実施している²⁸。さらに、本事業の実施中において、コントラクターが PLN の職員 33 名に対して運営・維持管理研修を現場で実施している²⁹。運営・維持管理の担当技術者は OJT による指導を受けており、かつ、年に 1 回以上、PLN ラーニングセンター³⁰で、担当分野や資格レベル毎の研修トレーニングを受講することが義務付けられており、適切な人材育成マネジメント体制が構築されている。なお、ウルブル地熱発電所は、PLN ラーニングセンターと連携し、2018 年より地熱発電所に係る研修所（実地研修及び机上研修）を正式に設置する予定である³¹。

運営・維持管理マニュアルは、本事業の発電機やタービン等の製造業者により整備されており、必要に応じてウルブル発電所にて随時改訂され、日々の運営・維持管理業務及び定期検査に活用されている。

以上より、運営・維持管理技術に特段の問題は見受けられない。

²⁸ PLN の職員 8 名が 10 日間日本で運営・維持管理技術の管理に関する研修を受講した（2011 年 5 月）。また、PLN の職員 16 名が 2 グループに分かれて各 10 日間日本で運営・維持管理研修を受講した（2011 年 10 月、2011 年 11 月～12 月）。

²⁹ 2011 年 6～7 月、9 月、12 月、2012 年 1 月、7～8 月、9 月、2012 年 10 月～2013 年 10 月に研修が実施された。

³⁰ PLN の企業研修所で、全土に 3 箇所（ジャカルタ、パレンバン、スラバヤ）設置されている。

³¹ 本発電所では、これまで約 80 名程度の研修生を受け入れ、ベテランの技術者により 2 週間～1 カ月間の実地研修を行ってきた実績がある。



中央管理室



送電線

3.5.3 運営・維持管理の財務

運営・維持管理費は、ウルブル地熱発電所が必要額を見積もった後、同発電所を直接監督する地域事務所への予算申請が行われ、同事務所を管轄する南部スマトラ発電統括局を通じて PLN 本部にあげられる。そして PLN 本部の承認を経た後、南部スマトラ発電統括局及び地域事務所を通じて本発電所に予算が配賦される。

本発電所の運営・維持管理費の予算、配賦実績と支出実績は表 10 のとおり。維持管理費は適正に手当てされており、現場においても良好な運転と維持管理が行われている。

表 10：ウルブル地熱発電所の運営・維持管理費

(単位：百万ルピア)

	2014	2015	2016	2017
予算（申請額）	N.A.	615,689	657,756	497,203
配賦実績	N.A.	615,689	657,756	497,203
支出実績	490,290	615,809	507,669	81,907

出所：PLN への質問票回答

注 1) 2016 年の支出実績が減少しているのは、PGE からの蒸気購入費が前年比で約 15%減ったため。

注 2) 2017 年の予算が減少しているのは、前年の蒸気購入費を踏まえ予算策定したため。また同年の支出実績は 2 月まで（2 カ月間）の実績値。

PLN 全体の財務状況について、近年の損益計算書及び貸借対照表は表 11、12 のとおり。

表 11 : PLN 損益計算書 注 1)

(単位 : 十億ルピア)

	2012	2013	2014	2015	2016
営業収益	232,656	257,405	292,721	273,900	283,263
電力売上	126,722	153,486	186,634	209,845	214,140
政府補助金	103,331	101,208	99,303	56,553	60,442
その他収益	2,604	2,711	6,783	7,502	8,682
営業費用	203,115	220,911	246,910	225,574	254,450
燃料・潤滑油費	136,535	147,634	170,488	138,408	109,492
保守費	17,567	19,839	20,207	21,861	21,227
人件費	14,401	15,555	15,749	20,321	22,660
その他費用 注 2)	34,612	37,883	40,466	44,983	101,071
営業利益	29,541	36,493	45,811	48,325	28,814
営業外損益 注 3)	-28,509	-75,715	-35,387	-64,239	-12,837
税金	2,174	9,654	-4,159	21,940	-5,428
当期純利益	3,206	-29,567	6,264	6,027	10,549

出所 : PLN 年次報告書

注 1) 四捨五入の関係で一部数字が一致しない。

注 2) 電力購入費、固定資産の減価償却費他。

注 3) 金利収入・費用、為替差損益ほか。

表 12 : PLN 貸借対照表 注 1)

(単位 : 十億ルピア)

	2012	2013	2014	2015	2016
資産	549,376	590,219	603,659	1,314,371	1,274,576
固定資産 注 2)	472,066	505,382	518,235	1,235,026	1,173,609
流動資産	77,310	84,837	85,424	79,345	100,967
負債及び資本	549,376	590,219	603,659	1,314,371	1,274,576
資本	159,270	150,331	164,671	804,791	880,798
固定負債	315,503	350,582	351,430	389,441	272,155
流動負債	74,603	89,306	87,558	120,139	121,623

出所 : PLN 年次報告書

注 1) 四捨五入の関係で一部数字が一致しない。

注 2) 2015 年に固定資産が急増しているのは、資産の再評価 (見直し) が行われたため。

損益計算書を見ると、PLNの電力売上は毎年順調に増加しているが、一方で巨額

の政府補助金によって支えられている³²。2015年、2016年に政府補助金が大幅に削減されているのは、2014年5月及び2015年1月に電力料金の調整が行なわれたためである³³。

発電のための燃料・潤滑油費の高負担や低い電気料金等が高コスト体制の主要因として指摘されている。PLNは財務・経営体質の改善を図るため、政府補助金の削減、電気料金の値上げ、自己資金調達率の向上（社債の発行）、民間資金の積極的導入（PLN自己資金と民間資金を組み合わせた発電設備の建設等）をめざしている。電気料金設定についてはインドネシア政府の決定事項であることから、PLNのコントロール外の事項であるが、改革の方向性として、政府は料金変動制を導入する顧客層を拡大している。貸借対照表においては、流動比率がやや低いが、料金回収や政府補助金の確実性により特段の問題はない。なお、上記のとおり本発電所の運営・維持管理費は適正に手当てされており、現場においても良好な運転と維持管理が行われていることから、PLNの高コスト体制等の影響は生じておらず、当面も問題ないものとする。

したがって、運営・維持管理の財務について問題は見受けられない。

3.5.4 運営・維持管理の状況

本事業で整備された発電設備は良好に維持管理され、順調に運営されている。本地熱発電所では、メンテナンスの種類、予算、保守点検スケジュール等についてのメンテナンス計画（52 week maintenance plan）を策定し、これに基づき、維持管理活動を適切に行っている。具体的には、大規模保守点検（4年ごと）、マイナーな保守点検（2年ごと）³⁴、定期的メンテナンス（毎週）、日常的メンテナンス、問題発生時メンテナンス、予防的メンテナンスが行われている。

PGEが供給する蒸気量の減少問題については上記のとおり、PGEは、①2016年のマイナーな保守点検実施後に蒸気量が減少した3本の生産井を修復³⁵（実施済）、②2016年に新たに1本の生産井を掘削（実施済）、③2017年9月に更に2本の生産井を掘削（予定）することで蒸気供給量の回復を図る計画であり、問題発生当初よりPGEによる対応状況やその後の生産井の経過についてPGEとPLNの間で緊密に情報共有が行われている。（①については、修復後も当初の蒸気量には回復していない。

³² PLNへの政府補助金は、2001年の国営企業法66条にPublic Service Obligationで規定されている。（国有企業に対する財務上の補填）

³³ 具体的には、電力料金の全17分類中、工業向け大口顧客等を含む計10分類（2014年5月1日に4分類、2015年1月1日に6分類）が電力補助金の対象外となり、料金が固定制から変動制に移行した。これらの10分類の電力料金は、①中央統計局が発行するインフレ率、②中央銀行が発表する対ドルでのルピアのレート、③インドネシア原油価格に基づいて毎月電力料金が調整されている。電力消費の少ない家庭（貧困層）等はこれまでどおり固定料金制が維持されている。

³⁴ 2016年初頭にマイナーな保守点検が行われた。また、2017年に初回の大規模保守点検が行われる予定である（1号機：2017年9月予定、2号機：2017年10月予定）。

³⁵ PLNによると、生産井を使って地熱貯留層から蒸気と熱水をくみ上げる過程で不具合が発生したとのことだった。

②については、蒸気量が安定化するまで（2017年末頃まで）経過観察を行う必要がある。）

スペアパーツについては、PLN内で標準化されたサプライチェーンマネジメント及び在庫管理マネジメントが導入されており、維持管理に必要な在庫が適時に補充されウルブル地熱発電所の倉庫に保管されるシステムとなっている。スペアパーツについては、重大性に応じた三つのランク区分（A：適時に確保されない場合、停電発生が起これる非常に重要度の高いもの、B：一時的な影響が起これるもの、C：発電所の出力には影響しない消費材）に分けられ、これらの区分別にそれぞれ異なった調達・保管管理が行われている。特に、Aは発電所の運転に不可欠な部品であり、調達に際しては時間を要することが多いことから、1年以上前から計画的に準備して適時に調達できる体制を採っている。

したがって、運営・維持管理の状況について問題は認められない。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、スマトラ島の南部スマトラ系統³⁶における電力需給逼迫の緩和及び電力供給の安定性改善を図ることを目的に、ランブン州タンガムス県ウルブル郡に地熱発電所を整備した。再生可能エネルギーによる電力供給により逼迫する電力需給への対応を目的とする本事業は、インドネシアの電力政策、開発ニーズ及び日本の援助政策と安定的かつ再生可能エネルギーである地熱開発を推進する点で合致しており、妥当性は高い。事業費は計画内に収まったものの、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。審査時に設定した運用・効果指標は、計画値と比しておおむね順調な達成数値となっている。本事業は、南部スマトラ系統で最も供給予備率の低いランブン州に立地し、同地域の電力ロスの低減と電力の質の維持に重要な役割を担っている。また、現地ヒアリング結果から、本事業がランブン州地域における経済活動の活性化や投資環境の改善に貢献していると判断される。このことから本発電所はおおむね計画どおりの効果発現がみられ、有効性・インパクトは高い。自然環境及び用地取得における負の影響は発生していない。また、本事業により地元住民の雇用機会の創出やCSR事業を通じた地元住民のコミュニティ活動への貢献が確認されている。本発電所の運営・維持管理体制、技術、財務、状況ともに問題はなく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

³⁶ ランブン・サブ系統（ランブン州）、南スマトラ・サブ系統（南スマトラ州）、ブンクル・サブ系統（ブンクル州）の3つのサブ系統より構成される。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

なし。

4.2.2 JICA への提言

なし。

4.3 教訓

地熱発電所における蒸気の量や質（圧力、温度、成分³⁷）に関する継続的な調査と将来の変化に備えた計画的かつ迅速な対応の重要性

インドネシアにおいては、本事業のように地熱鉱区の熱源調査・開発・蒸気の供給を PGE が、地熱発電所の整備や運営・維持管理を PLN が行うなど、異なる機関が地熱発電開発を行っている。地熱エネルギーという自然を相手にした発電は、発電開始当初は事前調査を踏まえた計画どおりの蒸気量や性質が確保されていても、発電所の稼働や時間の経過とともに変化することがある。このことから、インドネシアのように異なる機関が地熱発電開発に参画する場合、実施機関は蒸気売買契約に基づいて、蒸気供給機関が発電所の稼働後も蒸気量や質について継続的な調査を行い、計画的な熱源開発を進めていることを定期的にモニタリングするとともに、仮に蒸気量や質に将来的な変化の兆候がみられる場合は、蒸気供給機関と緊密に連携して早急に原因を特定し、熱源の状況等について詳細な情報把握を行いながら、生産井の追加掘削を行うなどの対応策を講じることが重要である。特に追加掘削を行う場合は、環境省など政府当局からの事前承認を得る必要があることから、両機関の連携による計画的かつ迅速な対応が鍵となる。JICA としても実施機関を通じて定期的に状況を把握し、事業の持続性確保の観点から事業完了後においても、蒸気量や質について問題発生時もしくは問題の兆候がみられた際は、蒸気供給機関が適切な対策を講じるよう実施機関を通じて速やかに働きかけを行うことが重要である。

以 上

³⁷ 本事業においては蒸気量の問題が発生したが、蒸気質の問題については、本事業とほぼ同時期に実施された、インドネシアの円借款事「ラヘンドン地熱発電所拡張事業」の事後評価報告書を参照。
https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2015_IP-517_4_f.pdf

主要計画/実績比較

項目	計画	実績
①アウトプット	1) 土木工事、調達機器等 <ul style="list-style-type: none"> ・ 地熱発電設備建設 (55MW 級×2 基) ・ 150kV 関連送電線敷設 ・ 変電所等増設 ・ 配電線敷設 2) コンサルティング・サービス <ul style="list-style-type: none"> ・ 既存資源開発調査の見直し (蒸気関連) ・ 詳細設計、入札補助、施工監理 ・ 運用・保守の補助、知識・技術の移転及び人材育成 ・ 環境管理補助 	1) 土木工事、調達機器等 <ul style="list-style-type: none"> ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり 2) コンサルティング・サービス <ul style="list-style-type: none"> ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり
②期間	2005年3月～2012年2月 (84カ月)	2005年3月～2013年10月 (104カ月)
③事業費		
外貨	15,747百万円	12,233百万円
内貨	8,128百万円	6,862百万円
	(現地通貨677,375百万ルピア)	(現地通貨672,711百万ルピア)
合計	23,875百万円	19,095百万円
うち円借款分	20,288百万円	16,068百万円
換算レート	1ルピア = 0.012円 (2004年9月時点)	1ルピア = 0.0102円 (2005年～2014年平均)
④貸付完了	2014年6月	

以上