

コスタリカ

2023 年度 外部事後評価報告書

円借款「グアナカステ地熱開発セクターローン（ラス・パイラス II）」

外部評価者：アイ・シー・ネット株式会社 スズキ S. ヒロミ

0. 要旨

「グアナカステ地熱開発セクターローン¹」はコスタリカ北西部グアナカステ県に複数の地熱発電所を建設し、再生可能エネルギーによる電力供給を増強するとともに気候変動への影響緩和を図り、もって同国の持続的発展に貢献するものである。「グアナカステ地熱開発セクターローン（ラス・パイラス II）」（以下、「本事業」という）は、同セクターローンのサブプロジェクトの一つであり、グアナカステ県ラス・パイラス地区に地熱発電所を建設することにより同セクターローンの目的に寄与するものである。本事業の実施は、コスタリカの開発政策、開発ニーズ、日本の開発援助方針と十分に合致している。JICA および他の国際機関と想定以上の具体的な連携や成果は認められなかったが、協調は計画どおりに行われた。よって妥当性・整合性は高い。アクセス道路や気水輸送管建設工事の数量に増減が生じたが、これらは事業目的に沿ったものであった。アウトプットの一部変更と円安の進行により事業費、事業期間の計画を少し上回ったが、効率性は高い。本事業で導入した設備は適切に運用され、事業目的の達成度は高い。コスタリカの電力供給および脱炭素化への貢献が認められる。事業実施期間から事後評価時にいたるまで自然環境、社会環境、労働環境、地域の経済活性化、地域住民の生活水準向上への貢献が認められる。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。運営・維持管理については関連する政策・制度、組織・体制、技術、財務状況、環境社会配慮、リスク対応に課題はない。運営・維持管理状況については、発電所に供給される蒸気に含まれる強磁性元素が発電効率に影響しているが、これは軽微な課題であり改善・解決の見通しが高い。よって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 本事業は円借款活用法の一つとして、複数の地熱案件について一括して E/N を締結する方式の試験運用が開始されていたインドネシア「地熱開発促進プログラム」（2011 年 8 月 E/N 締結、E/N 額 55,299 百万円）の実績を踏まえたセクター・プロジェクト・ローンの最初の事例である。

1. 事業の概要



事業位置図

(出所：外務省の地図をもとに評価者が作成)



ラス・パイラス II 地熱発電所

(出所：評価者撮影)

1.1 事業の背景

米国との自由貿易協定等による海外直接投資増や輸出増を原動力にコスタリカの2007年～2013年のGDP平均成長率は3.9%と順調な経済成長を達成している。これに伴って年間電力需要は平均約2.2%の伸び率を示し、2012年の電力需要は3.8%の伸びを記録している。2013年現在の設備容量(2,731MW)に対し、2014年～2020年にかけて平均約5.3%の電力需要増が想定され、これに対応するために、新たな電源開発による発電量の増強が必要となっていた。

2013年当時、コスタリカの電源の設備容量構成は、水力(63%)、火力(22%)、地熱(8%)、風力(5%)、その他(2%)であり、再生可能エネルギーである水力が最大の電源となっていた。しかし、水力発電は、乾季における降水量の減少により発電量が低下するという問題を抱えていた。その低下分は高コストの輸入化石燃料を使用した火力発電により補われており、温室効果ガス排出量の増大のみならず同国の発電コストを押し上げる要因となっていた。

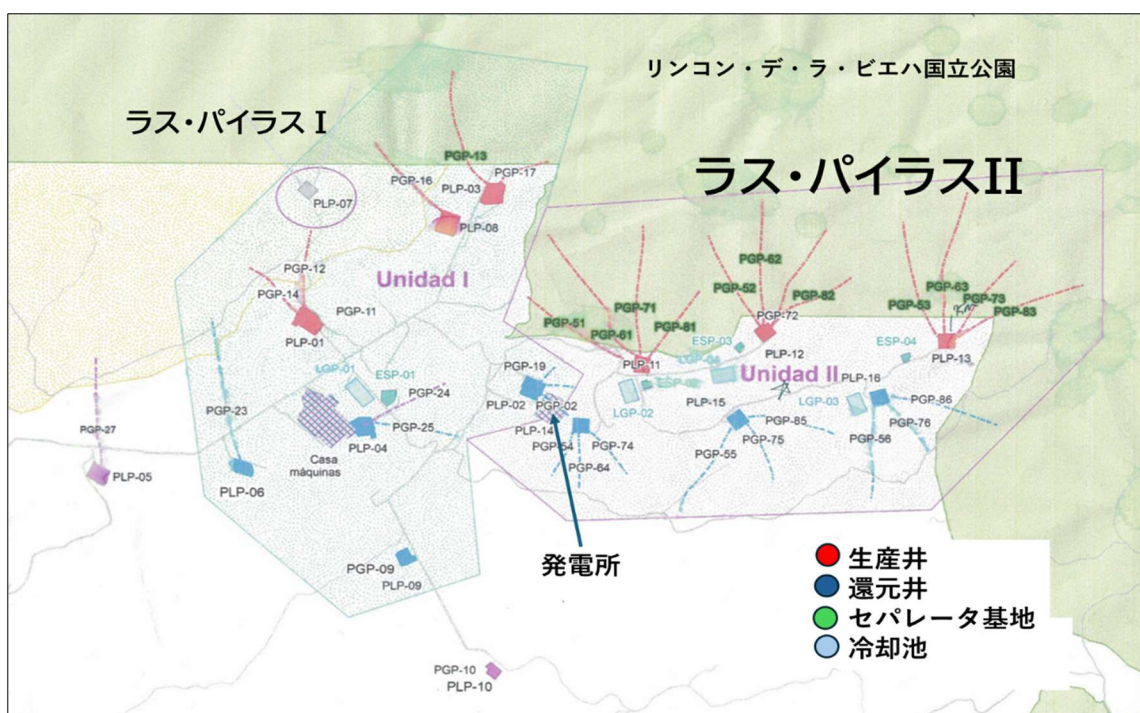
他方、水力に次ぐ同国第二の再生可能エネルギーである地熱発電は、年間を通じて安定的な電力供給が可能であり、温室効果ガス排出削減への貢献も期待されることから、同国における乾季の発電量増強手段として重要性を高めていた。同国の地熱発電ポテンシャルは約865MWと推測されている一方で、地熱による全設備容量は現状217MWにとどまっており、地熱開発への期待は高かった。

以上を背景に、本事業は「ボリンケン I 地熱開発事業」および「ボリンケン II 地熱開発事業」と共に、セクター・プロジェクト・ローン方式を適用した「グアナカステ地熱開発セクターローン」を構成する事業として、2014年8月に借款契約が締結された²。

² セクター・プロジェクト・ローン方式は、日本の技術が活用される地熱開発について、複数プロジェクトを一括してE/Nを締結することにより日本側の供与手続を合理化する方式。

1.2 事業概要

「グアナカステ地熱開発セクターローン」はコスタリカ北西部グアナカステ県に複数の地熱発電所を建設し、再生可能エネルギーによる電力供給を増強するとともに気候変動への影響緩和を図り、もって同国の持続的発展に貢献するものである。本事業は、同セクター・プロジェクト・ローンのサブプロジェクトの一つであり、グアナカステ県ラス・パイラス地区に地熱発電所を建設することにより本セクター・プロジェクト・ローンの目的に寄与するものである。



出所：ICE 提供資料

図1 ラス・パイラス地熱発電所I・II配置図

【円借款】

円借款承諾額/実行額	16,810 百万円 / 13,093 百万円		
交換公文締結/ 借款契約調印	2013 年 11 月 / 2014 年 8 月		
借款契約条件	金利	本体	: 0.6%
		コンサルティング・サービス	: 0.01%
		返済期間	: 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	コスタリカ電力公社 (コスタリカ共和国政府保証) / コスタリカ電力公社		
事業完成	2019 年 9 月		
事業対象地域	グアナカステ県 ラス・パイラス地区		
本体契約	Initec Energía, S.A (スペイン)		

(10 億円以上のみ記載)	
コンサルタント契約 (1 億円以上のみ記載)	西日本技術開発 (株) (日本)
関連調査 (フィージビリティ ・スタディ : F/S) 等	・ コスタリカ国グアナカステ地熱開発事業協力準備調査 (2011 年 7 月～2014 年 2 月) ・ グアナカステ地熱開発セクターローン実施促進調査 (ラス・パイラス II 地熱貯留層評価支援 (概念モデル作成支援) / 2014 年 7 月～2015 年 3 月) ・ コスタリカ国グアナカステ地熱開発セクターローンにかかる案件実施支援調査 (生態系への影響を中心とした環境モニタリング支援) (SAPI) (2015 年 12 月～2017 年 5 月)
関連事業	【円借款】 ・ グアナカステ地熱開発セクターローン (ボリンケン I 地熱開発事業) (2017 年 6 月) 【その他国際機関、援助機関等】 ・ 米州開発銀行 (IDB)・JICA「中米・カリブ地域に対する再生可能エネルギーおよび省エネルギー分野向け協調融資スキーム (CORE スキーム)」(2011 年～現在) ・ 中米経済統合銀行 (CABEI) : 「ラス・パイラス地熱開発事業 (I)」(2017 年～2019 年)

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

スズキ S. ヒロミ (アイ・シー・ネット株式会社)

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 : 2023 年 11 月～2025 年 2 月

現地調査 : 2024 年 6 月 6 日～6 月 17 日、2024 年 10 月 5 日～10 月 10 日

3. 評価結果 (レーティング : A³)

3.1 妥当性・整合性 (レーティング : ③⁴)

3.1.1 妥当性 (レーティング : ③)

3.1.1.1 開発政策との整合性

本事業の計画時において、コスタリカは先進国以外で初めて「カーボン・ニュートラル」を公約した国であり、「自然との調和イニシアティブ (2007 年)」では 2021 年までに同国の二酸化炭素排出量と吸収量を相殺することを目標に掲げ、その達成に向け「国家開発計画 (2011～2014 年)」では再生可能エネルギー、特に経済活動において水力や地熱発電等による再生可能エネルギーの利用を促進するこ

³ A : 「非常に高い」、B : 「高い」、C : 「一部課題がある」、D : 「低い」

⁴ ④ : 「非常に高い」、③ : 「高い」、② : 「やや低い」、① : 「低い」

とで気候変動への影響に対する緩和策の重要性を謳った。同国家開発計画に基づき 2011 年に策定された「第 6 次国家エネルギー計画（2012 年～2030 年）」では、輸入液体化石燃料に代わるクリーンエネルギー、エネルギー効率の改善、国産エネルギーの利用促進を維持し、全てのコスタリカ国民の生活環境改善を図ることを目指した。さらにコスタリカ電力公社（Instituto Costarricense de Electricidad、以下「ICE」）はこれらの政策に基づき、2014 年 4 月に改訂した「電源拡張計画（2014 年～2035 年）」において、既存の発電所の更新に加えて、再生可能エネルギーの電力系統への投入を含むシナリオ分析がなされ、いずれのシナリオでも本セクター・プロジェクト・ローンのもとで建設される 3 つの地熱発電所は本電源拡張計画を達成する上で不可欠とされた。

事後評価時、「カーボン・ニュートラル」達成は「国家脱炭素化計画 2018 年～2050 年」でも引き続き国家目標として掲げられている。「国家開発・公共投資計画（2023～2026 年）」の重点分野にも脱炭素化が含まれ、化石燃料の使用による CO₂ 排出量の前年比変化率を 2021 年の 5.9%から 2026 年には-1.4%を達成する目標を掲げている。

以上、コスタリカでは計画時、および事後評価時において、再生可能エネルギーによる電力供給の増強とともに気候変動への影響緩和を図ることを目標として掲げており、本事業は同国の開発政策と整合している。

3.1.1.2 開発ニーズとの整合性

計画時、事後評価時共に、コスタリカの電源設備容量および年間総発電量のほとんどは水力を含む再生可能エネルギーから成り、これらで国全体のエネルギーの 98%以上を生産していた。特に水力は 2013 年には設備容量の 63%、年間総発電量の 67%、2023 年にはそれぞれ 68%と 70%を占めている（表 1）。しかし、水力は気候変動による電力供給の不確実性が極めて高く、その変動性を補うためには、火力発電、地熱発電などの安定性の高い電源が必要となる。加えて、火力発電は電気料金の上昇のみならず、中長期的には温室効果ガス排出量の増加による環境問題を引き起こすリスクを抱えており、この懸念材料は計画時および事後評価時も変わらない⁵。今後、ICE は再生可能資源の変動性の影響を抑えるために 2040 年までに設備容量 5,607MW（水力 43%、風力 16%、地熱 6%、太陽光等 27%、火力 8%）、総発電量 15,703GWh のインフラを整備する予定である⁶。なお、本事業が属するセクター・プロジェクト・ローンで整備されるインフラの設備容量は合計 165MW であり、2040 年までに計画されている地熱発電の総設備容量 333MW

⁵ コスタリカでは 2023 年半ばからエルニーニョ現象により降雨量が減少して水力発電が減少し、火力発電が増加した。この結果、2023 年の国内エネルギー需要において再生可能エネルギーが賄ったのは 91.3%と過去 8 年を下回る結果となり、火力発電増加とともに、電力発電コストが上昇した。これを賄うために 2024 年 1 月 1 日以降、電気料金は 5%から 17%の値上を強いられた。

⁶ ICE「発電拡張計画 2022～2040」。

の 50%を占めることが想定されている。

表 1 2013 年、および 2023 年の設備容量・年間総発電量（実績）

	2013 年				2023 年			
	設備容量 (MW)	%	総発電量 (Gwh)	%	設備容量 (MW)	%	総発電量 (Gwh)	%
水力	1,725	63%	6,791	67%	2,372	68%	8,327	70%
地熱	217	8%	1,520	15%	263	8%	1,479	12%
風力	148	5%	507	5%	408	12%	1,461	12%
火力	596	22%	1,216	12%	382	11%	608	5%
その他*	45	2%	102	1%	76	2%	64	1%
合計	2,731	100%	10,136	100%	3,501	100%	11,939	100%

*：主に太陽光発電

出所：JICA および ICE 提供資料により評価者作成

以上、再生可能エネルギーによる電力供給の増強とともに気候変動への影響緩和を図ることはこれからも引き続き取り組むべき課題であり、本事業はコストリカの開発ニーズに整合している。

3.1.1.3 事業計画やアプローチ等の適切さ

本事業では、計画時に、過去の類似案件の教訓として、地熱貯留層の事前解析と発電所運転段階での十分な管理を通じ、計画されている発電量に見合った蒸気を確保することがあげられていた。また、蒸気確保に関連した本事業のリスクとして、想定されている掘削井戸本数では所要の蒸気量が確保できず、施工段階で井戸掘削本数を増加する必要性が生じ、これが行程遅延につながるリスクが指摘されており、事前の十分な分析を行うことで同リスクを回避することが重視されていた。蒸気確保については、協力準備調査において ICE が自己資金で掘削した試験井からの蒸気噴出試験に基づき貯留層のシミュレーションを実施し、本事業掘削する生産井の本数で今後 30 年間にわたり約 55 MW の運転が可能であることが確認された。また、有償勘定技術支援「グアナカステ地熱開発セクターローン実施促進調査（ラス・パイラス I I 地熱貯留層評価支援（概念モデル作成支援）」（2014 年 7 月～2015 年 3 月）により上記貯留層のシミュレーションを更新したほか、本事業のコンサルティング・サービスを通じて数値モデル作成、および、実際の運用を通して得られた情報を用いてモデルのカリブレーション（校正）が行われた。

このように、他案件の教訓は事業計画時および実施段階において活用され、期待された成果があげられた。以上から、本事業計画やアプローチは適切であった。

3.1.2 整合性（レーティング：③）

3.1.2.1 日本の開発協力量針との整合性

日本は「対コスタリカ共和国国別援助方針（2014年4月）」において環境分野を中核とした持続的発展への支援を基本方針に据えており、本事業を含む「グアナカステ地熱開発セクターローン」は同援助方針の「環境問題」重点分野における気候変動対策プログラムを構成する事業として含まれている。同プログラムには、太陽光や地熱などを活用した再生・省エネルギー分野への支援を通じた「緩和策」が含まれており、これを通じて気候変動問題への対策を講じることが明記されている。以上から、本事業は審査時における日本の開発協力量針との整合性が認められる。

3.1.2.2 内的整合性

事業計画時および実施中における内的整合性は確認できなかったものの、事後評価時、JICAとICEが、中南米地域における地熱発電の知識および潜在的な利用を拡大することを目標として2022年から2024年の3年間、コスタリカにおいて第三国研修「地熱開発の能力強化」を実施したことが確認できた。中南米には地熱発電のポテンシャルを利用できていない国が多く、コスタリカのような地熱発電の成功国の方法論や技術を共有することの意義は大きい。同第三国研修では地熱発電関連施設に勤務する技術者等を対象に、ボリビア、コロンビア、エクアドル、エルサルバドル、グアテマラ、ニカラグア、ホンジュラス、ペルーの8カ国から延べ29名の研修員が4週間の研修に参加した。研修内容には、本事業の現地視察を通じた地熱発電所の運営・維持管理方法に加えて、1994年に日本の有償資金協力で建てられたミラバジェス地熱発電所の視察も含まれている。同研修は2025年からさらに3年間継続されることが決定した。

3.1.2.3 外的整合性

コスタリカを含む中南米地域では、本事業計画時以前より、米州開発銀行（IDB）をはじめとする国際機関、およびJICAを含むドナーが、再生可能エネルギーや脱炭素化に対する支援を継続的に実施している。本事業は、計画時からIDBとのパラレル協調融資として形成され、総事業費の56%を円借款が、残りの44%はIDB、欧州投資銀行（EIB）の融資、およびICEの自己資金が活用された。各ドナーの支援が計画通り、遅延なく行われたことで、本事業の目的である再生可能エネルギーによる電力供給の増強という成果の発現に繋がっている。

以上、本事業の「再生可能エネルギーによる電力供給の増強とともに気候変動への影響緩和を図る」という目的に対し、JICAを含む3ドナーの支援対象範囲の明確化、および融資のタイミングなどに関する連携・調整は、計画どおりに行われ本事業の成果の発現に繋がった。

以上より、本事業の実施は、コスタリカの開発政策、開発ニーズと十分に合致しており、事業計画のアプローチや適切性も妥当であった。日本の開発援助方針との整合性があり、他の JICA 事業との具体的な連携も認められる。JICA および他の国際機関とも再生可能エネルギーによる電力供給の増強、および気候変動への影響緩和を推進する点において計画どおりに行われたが、想定以上の具体的な連携や成果は認められない。以上より、妥当性・整合性は高い。

3.2 効率性（レーティング：③）

3.2.1 アウトプット

本事業はコスタリカのグアナカステ県リベリア郡クルバンディ地区の北東に位置するグアナカステ保全地域内にある自然保護区に隣接するラス・パイラス地熱地域に位置する。アウトプット（下表を参照）は、主にシングルフラッシュ方式⁷の地熱発電所および周辺施設の建設から構成され、円借款は、必要となる井戸掘削工事および関連資機材等の調達、発電機調達を含む発電所工事、コンサルティング・サービスに充てられた。

表2 アウトプットの計画と実績

	計 画	実 績
1. 土木工事、調達機器		
1) 準備工事	アクセス道路6,000m、給水配管、敷地整備、堀削用泥溜等	ほぼ計画どおり
2) 井戸の掘削 ⁸	生産井：11本 還元井：9本	計画どおり
3) 発電機器	発電設備：55MW×1基	計画どおり
4) 発電所建設のための資機材調達	監視カメラ、アクセス制御システム、雷監視システム、火災検知システム等	計画どおり
5) 発電所建設工事	敷地整備、機械電気設備据付工事等	計画どおり
6) 気水輸送管建設工事、関連資機材調達	二相流配管、蒸気配管、熱水配管、冷却塔等	ほぼ計画どおり
7) 送変電機器調達・送電線建設および変電所建設工事	既設開閉所拡張 送電線	計画どおり
2. コンサルティング・サービス	貯留層評価支援、詳細設計レビュー、入札補助、進捗確認等	ほぼ計画通り

出所：JICA、ICE 提供資料

⁷ シングルフラッシュ方式とは生産井より噴出される地熱流体が高温（250℃クラス）で蒸気以外に熱水を含む場合、セパレータによる気液分離をした後の蒸気を用い、熱水を直接還元井に戻す方式。世界中で最も実績のある方式である。

⁸ ラス・パイラス II には生産井が 12 本あるが、1 本は F/S の際に掘削が行われたことから本事業のアウトプットには含まれていない。また、3 本は L/A 調印前に ICE が自己資金で掘削してはいるものの、円借款の対象ではあったことから JICA がレトロアクティブに認めることで合意した。

土木工事については、2つの変更が生じた。①アクセス道路は工事開始後の実状に基づき短縮可能であるという結果が得られ、計画されていた延長 6,000m から 4,225m に変更した。②気水輸送管建設工事、関連資機材調達についても、実状に基づいた生産井、還元井、セパレータ基地の最終的な位置を確定した後、それぞれの配管の長さを決定した。その結果、配管の延長に増減が生じた。セパレータ基地を生産井の近くに設置することで、主に蒸気配管と熱水配管が増加し、二相流配管の長さを抑えた。コンサルティング・サービスについてはほぼ計画通りであったが、掘削支援は L/A 締結前に ICE が実施したことで、コンサルティング・サービスには含まれず、対面研修については、COVID によりオンラインに変更となった。

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

総事業費の計画は 24,267 万円、うち円借款対象は 16,810 百万円、その他（IDB 融資、EIB 融資、および ICE 自己資金を含む円借款以外の資金）は 7,457 百万円であった（表 3-1）。

表 3-1 事業費：計画

（単位：百万円）

項目	計画（審査時）					
	外貨		内貨		合計	
	全体	うち 円借款	全体	うち 円借款	全体	うち 円借款
準備工事	0	0	666	0	666	0
蒸気開発	5,203	2,994	4,163	2,077	9,366	5,071
発電所建設	6,024	6,024	2,754	2,754	8,777	8,777
送変電設備	388	0	128	0	516	0
プ ライスエスカレーション	803	648	1,385	834	2,189	1,482
予備費	621	483	455	283	1,076	767
コンサルティング・サービス	132	132	0	0	132	132
建中金利	465	465	0	0	465	465
コミットメント・チャージ	117	117	0	0	117	117
用地取得費	0	0	274	0	274	0
管理費	0	0	690	0	690	0
合計	13,753	10,862	10,514	5,948	24,267	16,810

為替レート：1 米ドル＝87.01 円、1 米ドル＝497.9 コロン、1 コロン＝0.175 円／プ ライスエスカレーション率：外貨 2.1%、内貨 5.4%／予備费率：5%／コスト積算基準時期：2013 年 1 月。

注：四捨五入の関係により表示上の値の計算結果が合わない箇所がある。

出所：JICA 提供資料

総事業費の実績は 26,978 万円、うち円借款対象は 15,138 百万円⁹、その他（IDB 融資、EIB 融資、および ICE 自己資金を含む円借款以外の資金）は 11,840 百万円となり、総事業費は計画比 111%となった（表 3-2）。

⁹ 円借款金額が計画を下回った理由の一つは、対象であった発電所の電気機器の一部のコントラクターの納期遅れに対するペナルティーが課されたためであった。

表 3-2 事業費：実績

(単位：百万円)

（単位：百万円）

項目	実績						計画からの増減 （計画比）
	外貨		内貨		合計		
	全体	うち 円借款	全体	うち 円借款	全体	うち 円借款	
準備工事	0	0	1,482	0	1,482	0	816（223%）
蒸気開発	5,777	2,796	5,493	1,940	11,270	4,736	1,904（120%）
発電所建設	5,992	5,992	1,644	1,644	7,636	7,636	-1,414（87%）
送変電設備	487	0	163	0	649	0	133（126%）
プ ライスエスカレーション	750	605	1,294	779	2,043	1,384	-146（93%）
予備費	518	389	425	264	943	654	-133（88%）
コンサルティング・サービス	185	185	0	0	185	185	53（140%）
建中金利	434	434	0	0	434	434	-31（93%）
コミットメント・チャージ	109	109	0	0	109	109	-8（93%）
用地取得費	0	0	256	0	256	0	-18（93%）
管理費	0	0	1,972	0	1,972	0	1,282（286%）
合計	14,253	10,512	12,726	4,627	26,978	15,138	2,711（111%）

為替レート：IMF International Financial Statistics の年毎の年平均レート
の年毎の支出額による加重平均値を適用（1 米ドル＝112.0 円、1 米ドル＝558.6 コロン、1 コロン＝0.201 円）

出所：ICE

事業費が計画と乖離した主な理由は下記の通り。

- ・ 為替レート：計画時の為替レートは 1 米ドル＝87.01 円であったところ、実績では 1 米ドル＝112.0 円と円安が進み、事業費増加の背景となった。
- ・ 準備工事：本事業は森林地帯に位置しており、実施段階で予想以上にアクセスが複雑かつ困難であったこと、および埋立地を最終設計どおりに進めるために費用が計画比 223%となった。
- ・ 蒸気開発：生産井および還元井の数には変化はなかったが、堀削工事、気水輸送管建設工事を進めるにあたり、地層等の現状に合わせて配管の延長やセパレータ、冷却池などが増えた。二相流配管や冷却塔は減少したものの全体で計画比 120%となった。
- ・ 発電所建設：電気機械設備の最終価格が当初見積もりよりも低く抑えられた理由により計画の 87%にとどまった。
- ・ 送変電設備：一部既存の構造物を利用することで費用を抑えることができたが、資機材の輸入価格高等により費用が増加したため、計画比 126%となった。
- ・ コンサルティング・サービス：コンサルタントとの契約延長が必要となり（詳細は事業期間を参照）契約金額が計画比 140%となった。ただし、予備費から資金を再配分することでカバーした。
- ・ 管理費：事業のスコープの変化に合わせ、本事業では準備工事、気水輸送管建設工事、関連資機材調達、コンサルティング・サービスの各項目において管理費が増加した。

発電所建設費用は計画以下となったが、円安を背景に、蒸気開発および管理費の増加がそれを上回った結果、総事業費は計画を少し上回った。

3.2.2.2 事業期間^{10、11}

計画時の事業期間は L/A 調印の 2014 年 8 月から施設供用開始時の 2018 年 11 月までの合計 52 カ月であった。これに対し、実績は 2014 年 8 月から 2019 年 9 月までの合計 62 カ月と計画比 119%であった。

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
借款契約	▲						
蒸気開発・準備工事							
気水輸送管							
コンサルタント選定							
コンサルティング・サービス							
発電機器調達							
発電所建設工事							
送電線建設および変電所建設工事							
事業完了（供用開始）					▲	▲	

出所：評価者作成

図 2 事業期間：計画と実績

本事業では供用開始に約 1 年弱の遅延が生じている。その主な理由は下記のとおり。

- ・ 蒸気開発：図面の早期完成により予定より早く開始したが、コントロール・バルブの納入の遅延が生じた。加えて、井戸の掘削中に貯留層の特性を考慮した作業が必要となり期間延長が生じた。
- ・ 気水輸送管：現場での設計や資材の入手が可能であったため早期開始できた。しかし、人員の確保と他の作業の進捗を考慮する必要があり総工期は計画よりも倍以上の期間を要した。

¹⁰ 本事業のアウトプットの一部である生産井 3 本について、L/A 調印前に掘削が行われたことから、JICA はこれらについてレトロアクティブに認めることで ICE と合意した。しかし、本事後評価時、その正確な開始年月について ICE から明確な回答が得られず、JICA の「2024 年外部事後評価レファレンス」には「事業事前評価表等で別途設定されている場合を除き L/A 調印月にする」とされているため、L/A 調印の 2014 年 8 月を事業開始年月とすることで ICE とも合意した。

¹¹ 審査時に懸念されていた行程遅延につながる可能性のあるリスク（①掘削井戸から所要の蒸気量・還元量が確保できずに想定より井戸掘削本数が増加する可能性、および②IDB 融資の検討スケジュールが遅れ ICE の資金調達に影響する可能性）については事前調査、およびドナー間の情報共有によって避けられた。

- ・ 発電機器調達：公示内容の作成と修正、応札資料の確認、JICA の承認を得るために倍以上の期間を要した。
- ・ 発電所建設工事：資金調達方法の承認、入札書類、入札受付期間の延長により入札プロセスが遅れたことに加えて、発電所建設のための資機材調達（火災検知システム）や流量計等の納入が大幅に遅れた。
- ・ コンサルティング・サービス：JICA の調達ガイドラインに沿って実施することを担保するため、ICE 内部での確認作業に時間を要した。加えて、発電所の供用開始が遅れたことで、貯留層評価の数値モデル更新に必要なデータが得られずコンサルティング・サービスを延長する必要性が生じた。
- ・ 送電線建設および変電所建設工事：図面の遅れのため開始が遅れた。
- ・ 供用開始：図面や電気機器の納入に遅延が生じたため、発電所完成から共用開始までに 6 カ月間を要した。

以上、事業期間は計画比 119%と計画を少し上回ったが、事業効果発現に必要なアウトプットの増減に伴う遅延であった。

3.2.3 （円借款の場合）内部収益率（参考数値）

計画時、下記前提のもと、本事業の財務的内部収益率（FIRR）は 8.05%、経済的内部収益率（EIRR）が 24.70%と想定されていた。事後評価では同様の方法を試みたが、ICE からは FIRR については売電収入、EIRR については火力発電所の稼働と比較した場合の CO₂排出量の削減について比較可能な再計算のための情報が得られなかった。

表 4 本事業の内部収益率の前提

	FIRR	EIRR
計画時	8.05%	24.70%
費用	事業費 運営・維持管理費	事業費（税金を除く） 運営・維持管理費
便益	売電収入	化石燃料購入の削減、火力発電所の稼働 と比較した場合の CO ₂ 排出量の削減
プロジェクト・ライフ	運転開始後 30 年	運転開始後 30 年

出所：JICA 提供資料

以上、本事業では、アクセス道路や気水輸送管建設工事に増減が生じたが、これらのアウトプットはいずれも事業スコープに見合う適切な変更であった。アウトプットの変更、円安の進行により事業費、事業期間ともに計画を少し上回った。以上より、効率性は高い。

3.3 有効性・インパクト¹²（レーティング：③）

3.3.1 有効性

3.3.1.1 定量的効果（運用・効果指標）

本事業では「再生可能エネルギーによる電力供給を増強する」という目的の運用指標としては、表5の指標①から⑤が、効果指標としては指標⑥と⑦が設定された。また「気候変動への影響緩和」については温室効果ガスの削減とされ指標⑦が設定された。

表5 運用・効果指標の計画・実績比較

指標名	目標値 (完成 2 年後)	実績値（カッコは目標達成率）		
		2021 年 完成 2 年後	2022 年 完成 3 年後	2023 年 完成 4 年後
【運用指標】				
① 最大出力（MW）	52	50.31 (96.75%)	47.32 (91.00%)	51.30 (98.65%)
② 設備利用率（%）	80	82.26 (103.83%)	86.08 (107.60%)	79.80 (99.75%)
③ 稼働率（%）	85	85.41 (100.48%)	94.60 (111.29%)	80.80 (95.06%)
④ 所内率（%）	8 以下	5.71 達成	6.14 達成	5.67 達成
⑤ 計画外停止時間（時間／年）				
a) 人員ミス	0	0 (100%)	0 (100%)	0 (100%)
b) 機械故障	0	70.27 (未達成)	0 (100%)	3.43 (未達成)
c) その他（自然災害等）	—	0 (100%)	0 (100%)	0 (100%)
参考指標*				
参考① 計画停止時間（時間／年）	—	1,206.46	472	1,677.39
参考② 信頼度（%）	100%	99.49%	100%	99.76
【効果指標】				
⑥ 送電端発電量 （GWh／年）	364	381.39 (104.78%)	391.35 (107.51%)	363.95 (99.99%)
⑦ 温室効果ガス（GHG）排出削減への貢献（いずれも CO ₂ 換算）				
a) コスタリカの電源構成を前提とした場合	14,308 トン／年	3,426 トン／年 (23.94%)	8,431 トン／年 (58.93%)	17,532 トン／年 (122.53%)
b) 本事業が建設されなかった場合、コスタリカで想定されるディーゼル火力発電所による発電と比較した場合	294,728 トン／年	272,616 トン／年 (92.50%)	279,937 トン／年 (94.98%)	260,151 トン／年 (88.27%)

*：実施機関が運用指標として用いている指標。

信頼度 (Reliability Factor) = 100 - (計画外停止時間 / (年間稼働時間 + 計画外停止時間)) × 100)

出所：JICA 提供資料、実施機関提供資料

¹² 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。

1) 運用指標

- ① 最大出力：事業完成2年後から目標達成率は90%以上ではあるが、100%を達成できていない。その主な理由は、発電所に供給される蒸気に含まれる鉄やニッケル、コバルトなどの強磁性元素の量が発注時の性状から変化し増加しており、タービンや配管内でスケール（不純物の堆積物）として堆積することで発電効率が低下することである。強磁性元素が多い理由は十分に解明できておらず、事後評価時には、その影響の最小限に抑えるための手段（サンドブラストによるスケールの除去、不純物を回収するサンドトラップや蒸気洗浄システムの設置）のみが講じられている¹³。
- ② 設備利用率：2021年、2022年とも目標は達成した。しかし、2023年には蒸気に含まれる強磁性元素の影響を減らすため11月から12月にかけてはメーカーのアドバイスをもとにタービンのオーバーホールが行われたこともあり、目標達成率は99.75%と目標を若干下回った。
- ③ 稼働率：2021年、2022年とも目標は達成したが、2023年は上記「①最大出力」にも記載されている蒸気に含まれる強磁性元素による問題からタービンのオーバーホールを実施したこともあり、計画停止時間が増え、年間運転時間が減ったことにより目標達成率は95%と目標値を若干下回った。
- ④ 所内率：稼働開始から常に8%以下で目標を達成している。
- ⑤ 計画外停止時間：人員ミスや自然災害による停止は発生していない。ただし、前述の蒸気に含まれる強磁性元素による機械の故障から、2021年は70.27時間、2023年は3.43時間の停止が生じた。

参考指標① 計画停止時間：2021年は維持管理のために計画されていた停止時間。2023年は、2021年から発生している蒸気に含まれる強磁性元素に起因する問題に対応するためオーバーホールのために計画された停止時間。

参考指標② 信頼度：蒸気に含まれる強磁性元素に起因する課題があるものの、2021年から2023年まではほぼ100%を達成しており、本事業の電気機械設備は故障が少なく、計画外停止はほとんどなく、安定した稼働が行えている。

¹³ 根本的な原因をつきとめるために、ICEの発電部門下にある地熱源地熱貯留層管理地球化学ユニットによる調査が行われ、2023年6月に「強磁性体は、地層に由来する研磨材の流体が生産井に引きずり込まれ、侵食腐食を起こすことで発生している」「この異常な状況が発生している地層の位置や領域を突き止めるにはいならず、地層に同現象をもたらした原因も明確ではない」と結論づけた。ICEは今後も調査を継続する予定である。

2) 効果指標

- ⑥ 送電端発電量：事業完成2年目から目標達成率は100%を超えており、2023年もほぼ100%であった。
- ⑦ 温室効果ガス（GHG）排出削減への貢献
 - a) コスタリカの電源構成を前提とした場合：2021年、2022年はいずれも目標達成率が低く、達成できたのは2023年であった。2023年は降雨量が減少し水力発電が低下し、火力発電所のシェアが増加したため、地熱発電の温室効果ガス排出削減への貢献も増えた。
 - b) 本事業が建設されなかった場合にコスタリカで想定されるディーゼル火力発電所による発電と比較した場合：目標達成率は88%から94%とほぼ達成している。

以上、発電所に供給される蒸気に含まれる想定以上の強磁性元素により、計画外のメンテナンスが必要となっているが、事業完了2年後には最大出力、および機械故障による計画外停止時間以外は目標を達成している。また、蒸気に含まれる強磁性元素に関する課題についても、実施機関はこれまでも対応を行っており運用指標は2023年にはいずれも改善している。効果指標についても2023年には温室効果ガス排出削減への貢献が認められ、本事業の目的達成度は高い。

3.3.1.2 定性的効果（その他の効果）

本事業で想定されていた定性的効果「地域経済活性化」および「地域住民の生活水準向上」はインパクトとして分析する。

3.3.2 インパクト

3.3.2.1 インパクトの発現状況

本事業のインパクトは「コスタリカの持続的発展に貢献する」ことである。本事後評価では、これが本事業による同国への電力供給、および、脱炭素化への貢献を通じて達成されるものとして分析した。

1) 本事業のコスタリカの電力供給への貢献

前述のとおり、コスタリカの主電源は今後も水力である。しかし、気候変動による電力供給の不確実性が極めて高いことから、電力需要が18,029GWhまで増加することが予想されている2040年までには水力の割合を減らし、他の再生可能エネルギーを増加する計画が進められている。具体的には、2040年までには電力供給を発電量15,703GWh（水力47%、風力22%、地熱18%）、設備容量5,637MWまでに増加するためのインフラ整備が行われる予定である。

本事業は 2024 年時点においてコスタリカの地熱発電設備容量の 25%を占め、安定した電力供給を行っている。さらに、2040 年までにはボリンケン I・II を含め本セクターローンが地熱発電全体の設備容量の半分を占め、今後も重要な役割を果たすことが想定される。

表 6 コスタリカにおける既存、および整備予定の地熱発電所（2024 年時点）

	発電所名	稼働開始年	最大出力 (MW)	2040 年の 地熱発電設備容 量に占める割合 (%)
既存 (2024 年)	ボカ・デ・ポソ	1994	5	2%
	ミラバジェス 1	1994 (2030 年まで稼働予定)	50	-
	ミラバジェス 2	1998 (2031 年まで稼働予定)	50	-
	ミラバジェス 3	2000 (2031 年まで稼働予定)	26	-
	ラス・パイラス I	2011	37	11%
	ラス・パイラス II (本事業)	2019	55	17%
予定	ボリンケン I	2032	55	17%
	ボリンケン II	2029	55	17%
	地熱プロジェクト 4	2029	12	4%
	地熱プロジェクト 5	2031	12	4%
	地熱プロジェクト 6	2032	12	4%
	ミラバジェス 1 (新)	2032	35	11%
	ミラバジェス 2 (新)	2033	35	11%
	ミラバジェス 3 (新)	2033	20	6%
2040 年までの合計			333	100%

出所：ICE「電源拡張計画 2022 年－2040 年」、および Programa Estado Nación, El Observador, 公共サービス規制当局 (Aresep)。

注：網掛け部分は本事業を含む「グアナカステ地熱開発セクターローン」。

2) 本事業のコスタリカへの脱炭素化への貢献

コスタリカは国家をあげて 2050 年までに化石燃料の使用をゼロとすることを目指しており、各セクターが実施すべき活動および目標が「国家脱炭素化計画 2018 年～2050 年」に設定されている。同計画の進捗報告書によると、2022 年に発電量の 99.9%を再生可能エネルギーが占めていた電力セクターでは、カーボン・ニュートラルに向けた活動の 66%が同年 2 月までに達成されていた。水不足による水力発電の割合が減った 2023 年でも、本事業を含める再生可能エネルギーが発電量の 94.5%を占めており、それに伴い化石燃料使用も大幅に減少している。

本事業は変動の大きな再生可能エネルギー（水力、太陽光、風力等）を含む国家電力システム (SEN) に安定した電力を供給することで SEN を安定させる役割を

担っている。SEN の温室効果ガス (GHG) 平均排出量は 2023 年で 78.7gCO₂e/kWh¹⁴ のところ、ラス・パイラス II は 30 gCO₂e/kWh と低く、SEN の GHG 平均排出量を低いレベルに保つことに貢献している。



出所：ICE

図3 本事業およびその周辺

3.3.2.2 その他、正負のインパクト

1) 環境へのインパクト^{15、16}

本事業は、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」(2010年4月公布)に掲げる地熱セクターに該当するため環境社会配慮カテゴリに分類された。

本事後評価において、本事業の環境影響評価(EIA)報告書が2012年9月に当時の環境エネルギー省の外局である環境庁(SETENA)に承認されたこと、EIAに加えて、環境チェックリスト、事業実施中・稼働開始後の環境管理計画、環境庁承

¹⁴ CO₂e/kWh は CO₂ 排出係数といい、1kWh の電気を供給するためにどのくらいの CO₂ を排出しているかを示す指標である。

¹⁵ 本事業では、地熱開発における環境影響評価(EIA)とその調査手法について、実証調査を通じて生態系への影響評価の精度向上による調査手法の改良可能性を検討することを目的に「コスタリカ国グアナカステ地熱開発セクターローンにかかる案件実施支援調査(生態系への影響を中心とした環境モニタリング支援)」(SAPI)が実施された。同調査は、2015年12月から2017年5月までリンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園の協力のもと NGO (Guanacaste Dry Forest Conservation Fund: GDFCF) が主体となり実施され、ラス・パイラス地熱地域による影響はグアナカステ保全地域(ACG)には到達していない可能性が示唆された。SAPI は約1年半実施されたが、その後も GDFCF および ICE の協力のもと調査は継続され事後評価時、10年間のデータが蓄積されており、その分析は GDFCF によって継続中である。事後評価時の、上記 NGO のリーダーであり、生態系保存の権威でもあるダニエル・ハント・ジャンゼン博士およびウィニフレッド・ハルワックス博士へのヒアリングによると、リンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園へのラス・パイラス地熱地域による影響はグアナカステ保全地域には到達していない可能性は引き続き高い。また、同調査の成果として、ICE、国立公園管理事務所、NGO の良好なパートナーシップが構築されたことが指摘された。本事業のような大規模インフラ事業は多くの場合、環境保護に力を注いでいる NGO 等のステークホルダーと対立することが多いが、ヒアリングでは「事業開始当初のコミュニケーションはスムーズではなかったが、国立公園を交えての ICE との対話を重ねるにつれ協力関係を構築され良きパートナーになることができた」との報告があった。

¹⁶ <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/4a96db86-e963-4753-a0c6-2abe35fdaf21/II%20Informe%20Responsabilidad%20Ambiental%202020.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nzHBeMc> (ICE 環境報告書も参照)

認済みの環境管理計画実施状況報告書の全てが揃っていること、環境へのインパクトを軽減する対策が事業実施中、および稼働開始後から事後評価時においても計画通りに実施されていることが確認できた。

本事業はリンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園に隣接するため、ICE は、地熱源環境管理チーム下にある環境管理部門に所属する環境管理官¹⁷を責任者として環境管理・モニタリングを実施している。同管理官は環境庁に対し、半月毎に環境管理計画実施状況報告書を提出し、承認を得ることが義務づけられている。また、環境庁は必要に応じて実査も行っている。

本事業の環境管理計画の内容、およびモニタリングは下記のとおり：

- ・ 事業工事中の対策：工事車両の速度制限および通行ルートの分散化、アクセス道路付近での事故防止策（スピードバンプ等の設置）、低騒音型設備の導入、日中に限定した工事スケジュール設定、掘削汚泥、廃材・廃油等の適切な処理、分別回収等。
- ・ 事業工事中および供用後を通して行われている環境管理モニタリング：
 - ➔ 環境への影響の最小化：大気質（硫化水素濃度）、騒音、河川の水質（環境基準および排水基準）、廃棄物処理、土壤汚染を定期的にモニタリングし、基準値を超える場合は必要な対策を実施している。また、モニタリング結果や対策の内容について定期的に住民への説明会を実施している。こういった対策によりクルバンディ集落の住民への聞き取りからも環境への影響に関する苦情はなかった。
 - ➔ 生態系への影響の最小化：専門家・住民等と連携した生態系保全活動の実施等を通して動植物への影響の最小化（土地の改変面積や樹木伐採の制限、緑化）、送電線への鳥類衝突回避電波発信装置、サルなどの野生動物の感電を回避するための電線カバーを採用、工事関係者への環境教育等を実施。生態系については ICE の専門家チームが定期的にモニタリング調査を行い、必要に応じて環境エネルギー省所管の国家保全地域庁等と連携したモニタリングを実施している¹⁸。
 - ➔ 景観への影響の最小化：本事業の発電所も各地熱フィールドも、自然の地盤面より低くなるように土地が整地された。その際に取り除かれた土はそれぞれ発電所と地熱フィールドを隠す自然のバリア（帯状緑化）と

¹⁷ 環境管理官は環境庁から自然環境・社会環境の分野の専門家として承認・登録されていることが義務付けられている。

¹⁸ ICE の敷地内でも野生動物の保護が義務付けられており、遭遇したとしてもこれらを許可なく傷つける、捕獲する等が禁止されている。こういった生態系に関する教育は ICE に生態系専門家がおり、ICE の職員に対しても、地域住民やリベリア市の学生に対しても徹底して行っている。リベリアには負傷した動物のためのレスキューセンターがあり、保護が必要な動物に遭遇した場合は、同センターに連絡することが義務付けられている。

して利用された。現地調査時の視察においても発電所と地熱フィールドのいずれも道路からは見えず景観への影響は最小限に抑えられている。リンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園を訪れる観光客も、隣接するアシェンダ・グアチペリン・ホテル、NGO、リベリア市クルバンディ集落の住民への聞き取りからも景観への影響に関する問題提起はなかった。むしろ、事業が実施され当該地域が ICE の管理下におかれたことで自然環境が保護され、植林も行われたことで景観を含め総じて自然環境が改善したという意見であった。

- 文化遺産への影響の最小化¹⁹：ラス・パイラス II が位置する地域において先コロンブス期の、おそらくゴミ捨て場や小規模な墓地などのサイトが3カ所（ラス・テカス、ラス・セルピエンテス、エル・エンシノ）見つかった。いずれのサイトも過去の略奪による損傷が激しかったが、比較的保存状態のよい墓地と推定されたラス・テカスについては、コスタリカ国立考古学委員会、および国立博物館の監督の下、コンクリートの柱と有刺鉄線で囲われ保護された。残りのサイトは GPS で正確な位置を把握し、国立博物館のデータベースに登録された。
- 労働環境の整備：事業実施期間中に「労働安全衛生管理プログラム」が実施され、労働基準・環境、労働現場の法規制遵守に関するオリエンテーション、現場における危険状況（打撲、粉砕・粒子によるケガ、過労）の予防対策などリスクを最小限に抑えるための対策の実施、インフラ整備が実施された。
- クルバンディ集落におけるインフラ整備（「公平な社会参加を阻害されている人々」を参照）



野生動物専用トンネル（バク、豹、絶滅危惧種のペッカリーなどが利用）



24 時間監視カメラがとらえた野生動物

¹⁹ Hernandez, Ana Cristina, “Diagnóstico-Reservas Arqueológicas Complejo Geotérmico Las Pailas I y I”, 2015 年 6 月。



(左・中) 野生動物の通り道を示す看板と保護プレート (右) アニマルパスウェイ
出所：(右上) ICE 提供、他は評価者撮影

写真 1 本事業で整備された生態系保護のための設備の例

2) 住民移転・用地取得

用地取得実績は 217ha（うち 6ha は F/S の段階で取得）で計画通り実施された。対象用地は生活や生産活動には用いられていない森林であり、住民移転はなく、経済的な影響も特段認められなかった。用地取得は 2013 年のコスタリカの法令第 6313 号および第 7945 号の補足で定められた方法（土地の鑑定が行われ、ICE が鑑定額を裁判所に納め土地を収用）および JICA 環境社会配慮ガイドラインに沿って手続きが進められ円滑に行われた。本事業の直接影響下にある集落であるリベリア市クルバンディ集落（人口約千人、主要産業は観光業）の住民、および本事業に隣接するリンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園管理事務所への聞き取りからも、用地取得に特段問題や苦情は発生しなかったことが確認できた。クルバンディ集落の住民の意見としては、本事業以前は野生動物の違法狩猟や安全面での課題があったが、事業によりこれらの土地が ICE の管理下におかれたことで、むしろ上記のような問題が大幅に改善されたということであった。

3) ジェンダー²⁰

本事業の実施期間中、最も総雇用者数が多かった 2017 年には 686 人の総雇用者数のうち女性は 58 人、男性 628 人であった。女性の多くは 40 歳以下で、多くは専門職（技術者等）、事務職、調理士などであった。ICE や元作業員のクルバンディ集落住民への聞き取りから、ジェンダーに配慮した就業機会・就労環境は整っており、トイレや更衣室やハラスメント相談窓口²¹も設置され、ジェンダーに基づく暴力等のトラブルに関する事例の報告はなかった。

²⁰ ICE は、2016 年から世界経済フォーラム（World Economic Forum）と米州開発銀行（Inter-American Development Bank、IDB）が推進してきたジェンダー平等イニシアチブに積極的に参加してきており、本事業に限らず、ICE では労働参加、報酬、リーダーシップにおけるジェンダー格差の解消を目指してきている。

²¹ コスタリカでは法律 7476 号および 8805 号「コスタリカにおける職場および教育現場におけるセクシュアル・ハラスメント防止法」に基づきハラスメント相談窓口が設置されなくてはならない。事業実施期間は「労務関係部署」が設置され、ジェンダーによるハラスメントの問題など、様々な労働状況を扱っていた。事後評価時には ICE 執行役に所属する「コーポレートジェンダー・人権プログラム部署」が、ハラスメントを含む ICE 全体のジェンダー関連業務を専門に扱っている。

4) 公平な社会参加を阻害されている人々

本事業が位置するグアナカステ県は、コスタリカでも貧困率の高い地域に含まれる。本事業に限らず ICE の雇用方針は、事業が直接影響を及ぼす地域の住民を優先して採用することであり、不足した場合は地域を拡大し人材が確保される。本事業で最も雇用者数が多かったのは 2017 年の総従業員数 686 人であり、その 84% が近隣のグアナカステ県（うちリベリア市 37%）の住民であった。クルバンディ集落の住民によると、発電所建設の最盛期は土木工事のための地元の労働者や技術者の雇用が大幅に増えた。また、事業実施中は集落で食事をする従業員が多く、食堂やミニスーパーなどの小売店が繁盛した。ただし、事業が完成に近づくにつれて、雇用機会は減った²²。また、本事業の環境社会影響対策の一環でクルバンディ集落において道路整備に加えて以下の基礎インフラの整備が行われた²³。

	【道路、水道整備】 道路整備はクルバンディ集落住民の生活・安全向上、リンコン・デ・ラ・ビエハ国立公園の来園者数増加に繋がった。水道整備によってクルバンディ集落の上水道普及率は 100% を達成し、水質も改善した。
	【小学校の整備】 クルバンディ集落の小学校（生徒数約 100 人）で教室を 1 つ、スロープ、手すり、学校全体を囲う金網を整備した。

出所：評価者撮影

写真 2 本事業で整備されたクルバンディ集落のインフラ

クルバンディ集落の住民は本事業の工事期間中から現在に至るまでの ICE の環境対策について高く評価している。ICE は事業開始前から住民との意思疎通を図るための集会を 3 カ月おきに実施し、課題がある場合はその時々々に解決されてきた。また、当初から住民が直接苦情を申し立てるための窓口を開設し、住民との透明なコミュニケーションを図る体制が事後評価時にも維持されている。なお、工

²² グアナカステ県リベリア市には観光産業があり、地元住民は主にリベリアの観光産業で働いている。

²³ 本事業以外でも、ICE は住民への協力を可能な限り行っている。例えば、クルバンディ集落が民芸品市場を整備する際には、本事業で作成した同集落の地形の等高線の図面を提供している（クルバンディ集落への聞き取りに基づく）。

事車両が出入りすることによる混雑や危険性の増加などの社会生活・経済活動における不利益を貧困層が被った可能性については、クルバンディ集落の住民へのヒアリングからは特に認められなかった。

以上のように、本事業による雇用創出と集落のインフラ整備が地域経済の活性化と地域住民の生活向上に結びついたと考えている。

5) 社会的システムや規範、人々のウェルビーイング、人権

クルバンディ集落の住民へのヒアリングから、対象地域全てのステークホルダーに対する継続的な環境教育、積極的かつ透明な情報提供および協力が、結果的にステークホルダー全員が地域全体の包括的な改善に向かって協力することの意義をより深く理解させてくれたことが明らかになった。これは本事業の重要なインパクトであるといえる。

例えば、以前は「違法な狩猟も生きるために必要であれば仕方ない」という考えであったが、今では、野生動物が本来生息すべき場所においてこそ地元のエコツーリズムが成長し地域経済が活性化すると考える住民が多くなった。また、自然災害のみならず、地域の安全に関する情報が SNS などを活用し常に共有する体制、ICE を含む地域の様々なステークホルダーとのパートナーシップ関係が構築できている²⁴。

有効性・インパクトについてまとめると、本事業で導入された施設・機材は適切に運用され、事業目的の達成度は高い。コスタリカの電力供給および脱炭素化への貢献が認められる。事業実施期間から事後評価時にいたるまで自然・社会環境への負の影響は最小限にとどまり、労働環境、地域の経済活性化、地域住民の生活水準向上への貢献が認められる。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。

3.4 持続性（レーティング：③）

3.4.1 政策・制度

ICE は環境エネルギー省の監督の下、発電送電・配電事業および通信事業を行う全額政府出資の株式会社として 1949 年に設置された。コスタリカの電力供給体制は計画時から変更はなく、ICE およびその子会社である国家電力会社（Compania Nacional de Fuerza y Luz、S.A.、以下「CNFL」）、自治体の電力当局、独立発電事業者によって構成されている。一部地域では自治体が運営する電力組合が発電事業者となるが、事後評価時においても、ICE がコスタリカにおける発電量の約 78%を供給している。

前述のとおり、ICE の電源拡張計画（2022 年～2040 年）はコスタリカの電力セク

²⁴ 現地調査時、リンコン・デ・ラ・ビエハ火山の活動が活発化しており、ICE は隣接する国立公園、ホテル、NGO、クルバンディ集落の住民に対し火山活動の説明および緊急時の対応についての集会を行っていた。

ターの政策として位置づけられており、引き続き地熱発電を含む再生可能エネルギーの優先、化石燃料への依存度の低下、環境の持続可能性等を目標としている。地熱開発の権限は ICE にのみ与えられており、事業計画時、事後評価時と明確かつ安定した政策・制度に基づいている。よって、本事業の持続性について政策・制度面の課題はない。

3.4.2 組織・体制

ICE の総裁および取締役会のメンバーはコスタリカ政府が選任し、総裁が取締役会の議長を務める。ICE には電力、通信、財務、企業サービスの4つの部門があり、本事業を担当するのは電力部門の発電局である。同局には、ラス・パイラスを含む地熱フィールドの運営・維持管理を担う「地熱資源課」、発電所の運営・維持管理を担う「チョロテガ地域運営・維持管理課」がある。

「地熱資源課」には「地熱フィールド運営・維持管理班」「運営・維持管理サポート班」「地熱貯留層管理班」および「深層発掘班」がある。「チョロテガ地域運営・維持管理課」の下にラス・パイラス地熱発電センターがあり、ラス・パイラス地熱発電所 I および II の両方の運営・維持管理を担っている。発電所の運営・維持管理チーム総従業員数は42人、地熱フィールド運営・維持管理チームの総従業員数は32人である。ICE グループは何度か組織改編を行っているが、地熱発電という特殊な現場では大きな変化はなく、本事業の運営・維持管理組織および体制も指示系統も明確である。以上から、本事業の持続性について組織・体制面の課題はない。

表7 ラス・パイラス地熱発電センター運営・維持管理体制（従業員人数、経歴等）

	発電所運営・維持管理チーム			地熱フィールド運営・維持管理チーム		
	人数	最終学歴 資格の有無	平均勤続 年数	人数	最終学歴 資格の有無	平均勤続 年数
技術者	5	学士号 修士号	20	4	学士号 修士号	10年以上
技官	19	電気、機械等 専門学校	20	26	電気、機械等 専門学校	10年以上
事務	6	中・高等学校	17	2	高等学校	10年以上
熟練 労働者	12	中・高等学校	15	—	—	—
合計	42			32		

出所：ICE

3.4.3 技術

ICE では職種・役職別に必要な専門知識、資格、経験等、採用基準が詳細かつ明確に決められている上、地熱発電は極めて専門的な分野であることから、現場における人事異動が限られている。これにより、ラス・パイラス地熱発電センターの従業員も勤続年数が長く、事後評価時の聞き取りにおいても、特に技術者や技官は、他の地熱

発電所の運営・維持管理にも携わって地熱開発で長年経験を培ってきた有能な人材が、引き続き職員として働いている。さらに知識やノウハウは現場の OJT で引き継がれており、高い技術レベルが確保されている。

ICE は人材育成に力を入れ、前述のとおり、職種・役職別に必要な専門知識、資格等が明確に決まっており、これらのアップグレードのための研修が行われている。ラス・パイラスの各従業員は熟練労働者、事務員から技術者に至るまで、2021～2023 年の期間に全職員が次に示すような研修の受講機会を得ている。2024 年の研修計画も確認された。研修は一般的な内容のものから、電力系統復旧マニュアル、SAP プラント保全²⁵、BIM (Building Information Modeling) I・II、運転パラメータの概要（技術別）、SIGEST 情報システム²⁶、変電所の運転等、職種別に必要な専門的な研修が含まれる。

発電所の運用・維持管理は、メーカーが提供した各機器固有のマニュアルに沿って行われている。マニュアルのデジタル版は全て ICE のサーバーに保管され、情報管理システムを用いて運営・維持管理の実施と記録、スペアパーツの管理が行われている。各設備に維持管理計画があり、日常点検、予防保全（毎週・毎月・半年・毎年・1 年・2 年おきなど）が実施されている。地熱貯留層のモニタリング・管理は国際基準に基づき ICE が作成した地熱貯留層開発戦略に沿って、貯留層管理部門によって実施されている。この戦略は、生産評価曲線 (CEP: Cumulative Energy Production curve) の作成と評価を通じて行われているもので、各生産井のパラメータの動向が分析され、資源の持続可能な管理と耐用年数の保証を目的とした貯留層の開発方針が決定される。ラス・パイラス II は、稼働開始後 2 年間は 6 ヶ月ごとに、各生産井のパラメータのデータを取得・分析し、パラメータが安定していたことから 3 年目からは毎年 1 度生産評価が実施されている。また、本事業は国際規格 ISO4500、ISO9001、ISO14001 も取得・継続的に更新していることから、運営・維持管理技術はこれら品質基準に値するレベルを確保している。さらに、2019 年にチリで開催されたラテンアメリカとカリブ海地域の地熱会議において、本事業は「ラテンアメリカ・カリブ海地域最優秀地熱プロジェクト」を受賞した。

以上から、本事業の持続性について技術面の課題はない。

3.4.4 財務

ICE グループはコスタリカの国家としての戦略的事業グループと位置づけられ、2023 年、2024 年に主な格付け企業からも見通しは「安定的」とであると格上げされて

²⁵ SAP プラント保全 (SAP Plant Maintenance) はグローバルエンタープライズアプリケーション企業の SAP が提供するシステムで、工場全体の保守計画、予防保全スケジュール、作業指示管理、設備・スペアパーツ管理の効率化が実施できる (出所: SAP)。

²⁶ SIGEST 情報システムは電気エネルギーデータの調査、処理、分析のために設計された IT ツールであり、客観的かつ構造化されたデータを用いて、電気エネルギーに関する技術的・経済的意思決定を手助けする (出所: SICA)。

いる²⁷。ICE の連結損益計算書によれば、過去 3 年間営業利益は常にプラスであり電力と通信の二つの主要ビジネスにおける料金収入により、運営・維持管理費を十分に賄っている。

表 8 ICE グループ損益計算書（百万コロン）

	2021 年	2022 年	2023 年
収益	1,293,641	1,388,910	1,420,532
営業費用（運営・維持管理費）	809,918	836,064	918,556
売上総利益	483,723	552,846	501,976
その他収益	39,802	68,025	54,931
運営費	339,612	317,992	272,606
営業利益	183,913	302,879	284,301
金融収支	△277,360	△116,200	△8,033
その他損益	47	△49	△70
法人所得税	367	4,389	2,227
当期純利益	△93,033	191,019	278,425

出所：ICE

ICE では事業活動の進捗状況と資金の必要性に応じて予算を配分し、バランスさせる予算修正メカニズムがある。本事業では、例えば予算が申請額より低い場合、電力管理本部に発電所の運転とメンテナンスに必要なリソースを振り替えるよう要請する。ラス・パイラス II の運営・維持管理については、毎年、次年度に必要とされるスペアパーツや資機材を把握し、調達計画書に計上され、調達が行われている。

表 9 ラス・パイラス II の運営・維持管理予算（百万コロン）

	2022 年		2023 年		2024 年	
	申請額	支給額	申請額	支給額	申請額	支給額
運営	214.9	214.9	197.1	197.1	245.2	245.2
維持管理	44.2	44.2	264.0	264.0	239.3	239.3
合計	259.1	259.1	461.1	461.1	484.5	484.5

出所：ICE

上記のとおり、毎年申請された金額が支給されており、必要な維持管理予算が配分されている。運営・維持管理（スペアパーツ不足などの問題等含む）にも問題はなく、総じて財務の持続性は高い。

²⁷ フィッチ・レーティングスは 2024 年 3 月に ICE の長期国際信用格付けを 2023 年の BB- から「安定的見通し」の BB に格上げた（出所：<https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/fitch-upgrades-instituto-costarricense-de-electricidad-to-bb-outlook-stable-04-03-2024>）。ムーディーズも 2023 年に「安定的」から「プラス」に格上げた。（出所：<https://www.moodyys.com/researchandratings/country/costa-rica/-/04206B>）

3.4.5 環境社会配慮

前述のように、本事業については地熱源環境管理チーム下にある環境管理部門の環境管理官が事業実施中から事後評価時に至るまで、環境汚染対策、景観、生態系や地元住民への影響などを網羅した環境社会管理計画を作成・実施・モニタリングしている。環境管理官はこれらの情報を環境管理計画実施状況報告書にまとめ、環境庁に半月毎に提出・承認されている。よって、本事業の持続性を確保するための環境社会配慮は適切に行われている。

3.4.6 リスクへの対応

本事業では、計画時、地熱エネルギーの持続可能な利用にとって極めて重要な地熱貯留層の持続可能性について、事前解析の想定を超えた事態が発生するリスク、及び、発電所運転段階で地熱貯留層の十分な管理が行われないリスクが懸念されていた。これらのリスクは、JICAの有償勘定技術支援やコンサルティング・サービスを通じた生産と再注入のシナリオの最適化、およびICEが作成した地熱貯留層開発戦略に沿った検証と修正により最小化された地熱貯留層の管理が継続されている（「事業計画やアプローチ等の妥当性」を参照）。

他方、本事業の稼働開始後、発電所に供給される蒸気に含まれる強磁性元素が予想を上回り、発電効率に影響を与えている。その根本的な原因は未だ明らかにされていないが、ICEは影響を最小限に抑えるための措置が講じられている（「有効性：定量的効果：運用効果指標」を参照）。

以上から、ICEはリスクへの適切な対応を行っており、特に課題はない。

3.4.7 運営・維持管理の状況

本事業で整備された設備の大半が順調に稼働しており、維持管理状況もほぼ良好である。事後評価時における主な運営維持管理状況は下記のとおり。

表10 ラス・パイラスII地熱発電所の運営・維持管理状況

設備	現状	対策
井戸	- 全ての井戸が100%通常稼働しており、ラス・パイラスII発電所に供給される蒸気の質、非凝縮性ガス含有量等、プラントの連続運転を可能にするパラメータの範囲内にある。 2022年から2023年にかけて落雷により10個の電動アクチュエータが故障し現地調査時、いくつかの電動アクチュエータが稼働していなかった。	- 電動アクチュエータは、現地調査時、手動バルブに切り替え問題なく稼働している。なお、故障した電動アクチュエータは2025年の予算で全て修理する計画。

発電所	事後評価時は通常稼働していた。しかし、2021 年から蒸気に含まれる予想以上の強磁性元素によるタービン摩耗の問題が生じており、今後も注視することが必要である。	2021 年から計画外のサンドブラスト、タービン内のメンテナンスを行った。2023 年には 11 月から 12 月にかけてメーカーのアドバイスをもとにタービンのオーバーホールを行った。 - 事後評価時はサンドトラップや蒸気洗浄システムの設置を投じ、注視している。
気水輸送管	- 通常稼働 - 輸送管の錆が目立った。 - 前述の蒸気に含まれる強磁性元素をキャッチ・排除するため、通常のメンテナンスとは別に、生産井の出口にコレクターレグを設置し、蒸気とラップにバルブを設置した。	錆については、通常メンテナンス（塗装）は計画上 5 年から 6 年毎に実施するものであり 2025 年夏に実施する予定。
送電線・送変電機器	通常運転	なし
変電所	通常運転	なし

出所：評価者作成



出所：（左、中央）評価者撮影、（右）ICE 提供

写真 3 本事業で整備された施設

全般に設備の運営・維持管理状況は概ね良好である。強磁性元素による発電効率の低下は本事業の持続性の観点から今後も取り組むべき課題であるが、ICE は原因究明と対応を続ける予定であり、改善される可能性が高い。

以上より、本事業の運営・維持管理には関連する政策・制度、組織・体制、技術、財務状況、環境社会配慮、リスク対応に課題はない。運営・維持管理状況に一部軽微な問題はあるが、改善・解決の見通しが高いと言える。よって、事業によって発現した効果の持続性は高い。

4. 結論および提言・教訓

4.1 結論

「グアナカステ地熱開発セクターローン」はコスタリカ北西部グアナカステ県に複数の地熱発電所を建設し、再生可能エネルギーによる電力供給を増強するとともに気候変動への影響緩和を図り、もって同国の持続的発展に貢献するものである。本事業は、同セクターローンのサブプロジェクトの一つであり、グアナカステ県ラス・パイラス地区に地熱発電所を建設することにより同セクターローンの目的に寄与するものである。本事業の実施は、コスタリカの開発政策、開発ニーズ、日本の開発援助方針と十分に合致している。JICA および他の国際機関と想定以上の具体的な連携や成果は認められなかったが、協調は計画どおりに行われた。よって妥当性・整合性は高い。アクセス道路や気水輸送管建設工事の数量に増減が生じたが、これらは事業目的に沿ったものであった。アウトプットの一部変更と円安の進行により事業費、事業期間の計画を少し上回ったが、効率性は高い。本事業で導入した設備は適切に運用され、事業目的の達成度は高い。コスタリカの電力供給および脱炭素化への貢献が認められる。事業実施期間から事後評価時にいたるまで自然環境、社会環境、労働環境、地域の経済活性化、地域住民の生活水準向上への貢献が認められる。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。運営・維持管理については関連する政策・制度、組織・体制、技術、財務状況、環境社会配慮、リスク対応に課題はない。運営・維持管理状況については、発電所に供給される蒸気に含まれる強磁性元素が発電効率に影響しているが、これは軽微な課題であり改善・解決の見通しが高い。よって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。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

2021 年から発電所に供給される蒸気に含まれる鉄やニッケル、コバルトなどの強磁性元素の量が発注時の性状から変化し、増加したことで計画外のタービンや配管内でスケール（不純物の堆積物）として堆積することで発電効率が低下している課題がある。この点について、ICE はすでにその影響の最小限に抑えるための手段（サンドブラストによるスケールの除去、不純物を回収するサンドトラップや蒸気洗浄システムの設置）、オーバーホールを実施し、2023 年には運用指数の目標を達成するまでに至った。しかし、根本的な原因の明確化には至っていない。

本事業の通常運転を達成するためにも、ICE には今後も同課題を詳細にモニタリングし、すでに検討している ICE の発電部門下にある地熱源地熱貯留層管理地球化学ユニットによる追加の調査や外部からの専門家を招いての調査なども検討し、根本的な原因を突き止め早急に解決策を打ち出すことが望ましい。

4.2.2 JICA への提言

なし。

4.3 教訓

事業のステークホルダー間の友好的なパートナーシップの構築

本事業のような大規模インフラ事業は多くの場合、隣接する住民や、自然環境保護に力を注いでいる NGO など、様々なステークホルダーと対立することが多い。しかし、本事業の場合、事業開始当初のコミュニケーションはスムーズではなかったものの、ICE は各ステークホルダーとの対話を丁寧に重ねるにつれ協力関係を構築することが可能となり、事後評価時においては信頼できるパートナーになるところまでその関係が進展した。事業開始前から ICE が他のステークホルダー（隣接するリンコン・デ・ラ・ビエハ国立、GDFCF、アシエンダ・グアチペリン・ホテル、クルバンディ集落）との透明性の高い情報共有を積極的に行ったことで、徐々にウィンウィンのパートナーシップが構築された。事後評価時には、地域全体で自然環境・生態系の保護を進めることが、エコツーリズムの拡大を通じた地域経済活性化に繋がるという共通理解も形成された。このパートナーシップは、地域の防災（リンコン・デ・ラ・ビエハ火山の活性化時の情報提供や対応）や地域の安全（不法侵入者や違法狩猟の通報）を守るための協力体制の土台にもなり、さらに広い課題に取り組むためのパートナーシップに繋がっている。

以上から、環境社会配慮が必要な大規模インフラ事業においては、計画時から、周辺住民や NGO を含む幅広いステークホルダーと透明性の高い情報共有を行い、継続的な対話により互恵的なパートナーシップの構築を進めることが重要である。

5. ノンスコア項目

5.1 適応・貢献

5.1.1 客観的な観点による評価

なし。

5.2 付加価値・創造価値

なし。

以上

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		
1) 準備工事	・ アクセス道路（幅5m）：6,000m ・ 給水配管：1式 ・ 敷地整備：6式 ・ 堀削用泥溜：6基 ・ コンクリート工事：蒸気井用11基還元井用9基 ・ フェンス：6基 ・ 鋼構造物製作・取付：12基	・ アクセス道路（幅5m）：4,225m ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり
2) 井戸 ²⁸	・ 生産井：11本 ・ 還元井：9本 ・ 堀削工事、および関連資機材等調達	・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり
3) 発電機器	・ 機械設備：55MW×1基、関連機器調達 ・ 電気設備、計装制御設備、スペアパーツ、消耗品	・ 計画どおり ・ 計画どおり
4) 発電所建設のための資機材調達	・ CCTV、アクセス制御システム、雷監視システム、火災検知システム、ページングシステム、およびデータネットワーク	・ 計画どおり
5) 発電所建設工事（騒音対策工事含む）	・ 発電所敷地整備：15,000m² ・ 機械電気設備据付工事、建屋、据付工事、現地輸送 ・ 騒音対策：発電所を建設するテラスの北東と南東にそれぞれ高さ10mから15mの切り立った斜面を整備、金属構造とロックウールの90mの防音壁	・ 計画どおり ・ 計画どおり ・ 計画どおり
6) 気水輸送管建設工事、関連資機材調達	・ 二相流配管：4,390m ・ 蒸気配管：2,295m ・ 熱水配管：1,770m ・ 冷却塔ブローダウンおよびサイレンサ・ドレン：2,320m	・ 884m ・ 3,804m ・ 1,979m ・ 2,204m

²⁸ ラス・パイラスⅡには生産井が12本あるが、1本はF/Sの際に堀削が行われたことから本事業のアウトプットには含まれていない。また、3本はL/A調印前にICEが自己資金で堀削してはいるものの、円借款の対象ではあったことからJICAがレトロアクティブに認めることで合意した。

7) 送変電機器 調達	・セパレータ基地：2式 ・スクラバ基地：1式 ・冷却池：2式 ・ラス・パイラス I 既設開閉所拡張、開閉装置、送電線側（しゃ断器、断路器、変成器、架線）、構造物（架構、基礎） ・ラス・パイラス II 開閉所拡張、主変圧器（68.75MVA）、開閉装置（しゃ断器、断路器、変成器、架線）、構造物（架構、基礎）	・計画どおり ・中止 ・3式 ・計画どおり
8) 送電線建設 および変電 所建設工事	・送電線（ラス・パイラス II から I、230kV、1回線、2.55km）、鉄塔、架線、碍子 ・建設・据付工事（設計・試験含む）	・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	・貯留層評価支援 ・発電所の詳細設計レビュー ・発電所の入札補助 ・発電所の進捗確認等（安全管理、環境管理の実施状況レビュー含む）	・貯留層評価支援は計画どおり。掘削支援は L/A 締結前に ICE が実施し、コンサルティング・サービスには含まれず。対面研修はオンラインに変更 ・計画どおり ・計画どおり ・計画どおり
② 期間	2014年8月～ 2018年11月 (52カ月)	2014年8月～ 2019年9月 (62カ月)
③事業費 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	13,753百万円 10,514百万円 (60,080百万コロン) 24,267百万円 16,810百万円 1コロン=0.175円 (2013年1月時点)	14,253百万円 12,726百万円 (63,313百万コロン) 26,978百万円 15,138百万円 1コロン=0.201円 (2014年1月～2019年12月平均の加重平均)
④貸付完了	2021年10月	

以 上