

事業事前評価表

1. 案件名

国名：ケニア共和国

案件名：オルカリア V 地熱発電開発事業／IoT 技術を活用したオルカリア地熱発電所の運営維持管理能力強化プロジェクト

L/A 調印日：2016 年 3 月 9 日

承諾金額：45,690 百万円

借入人：ケニア共和国政府（Government of the Republic of Kenya）

2. 事業の背景と必要性

(1) 当該国における電力セクターの開発実績（現状）と課題

ケニアの電力供給は、発電設備容量 2,195 MW のうち、水力発電が約 37%（821 MW）、火力発電約 33%（729 MW）、地熱発電約 27%（598 MW）、その他（地熱以外の再生可能エネルギー）約 3%（72 MW）となっている¹（2015 年）。また、オルカリア地熱発電地帯における発電量は、ケニア全体の地熱発電設備容量の約 90%（540 MW）を占め、発電事業者別の電源構成は、ケニア発電公社（Kenya Electricity Generating Company : KenGen）が約 80%（430MW）、独立発電事業者（Independent Power Producer : IPP）が約 20%（110MW）である²（2015 年）。2015 年のピーク電力需要は 1,512 MW であるが、水力発電に発電設備容量の約 37%を依存しているため、電力供給は近年頻発している干ばつなどの影響を受けやすい不安定な状況にある。また、火力発電のための燃料輸入は、ケニア政府の経常赤字の要因の一つとなっている。

今後の電力需要の増加に対応し、ケニアの電力供給の安定化を促進するためには、新規電源開発が喫緊の課題であるが、東アフリカの大地溝帯（グレートリフトバレー）が位置するケニアでは、大規模な地熱ポテンシャルが確認されており、天候に左右されない安定的なエネルギー源として地熱開発の優先度が高まっている。

(2) 当該国における電力セクターの開発政策と本事業の位置づけ

ケニアの電力開発の長期計画である「最少費用電源開発計画」（Least Cost Power Development Plan study period 2011-2031: LCPDP、2013 年）によると、経済成長と年 2.64%の人口増加により、ケニアのピーク電力需要は 2015 年の 1,512MW から、15 年後には 7,254~12,423MW へと大幅に増加すると予測されている。これに対し発電設備容量は、2015 年の時点で 2,195MW であり、水力発電に発電設備容量の約 37%を依存しているため、電力供給は干ばつなどの天候の影響を受けやすい不安定な状況にある。このように安定したベースロード電源の増強が必要な状況のもと、LCPDP において、ケニア政府は豊富な地熱資源に着目し、地熱発電による発電設備容量を 2030 年までに 5,530MW（2015 年度は 598MW）まで増加させることを目指している。更に、2014 年には、実行中や確実に実行可能とされる発電所建設プロジェクトの積

¹ KenGen Integrated Annual Report and Financial Statements (2015)

² 同上。

み上げを基にした「中期計画（2014-2018）（Medium Term Plan : MTP）」及び「電力セクター10 年開発計画（2014-2024）」を策定した。地熱発電は自国の再生可能エネルギーを活用したベースロード電源であり、いずれの計画においても最優先事業の一つとして位置付けられている。本事業の対象であるオルカリア V 地熱発電所は、ケニア政府により建設が公約された発電所として上記の 3 計画に掲載されている。

(3) 電力セクターに対する我が国及び JICA の援助方針と実績

我が国の対ケニア共和国国別援助方針（2012 年 4 月）では、「経済インフラ整備」を重点分野の一つとして掲げている。その中で、「発電・送電能力向上プログラム」を展開し、経済成長に不可欠な安定した電力供給を促進することを目的として、ケニア国内の発電所、送電線及び国際送電線網建設への支援を行っている。また、第 5 回アフリカ開発会議（TICAD V）で打ち出された「TICAD V 横浜行動計画 2013-2017」では、重点分野「IV. 持続可能かつ強靱な成長の促進」に、地熱を含めた再生可能エネルギーへの投資促進を含めており、本事業は同計画に基づいた事業の一つと位置付けられる。

JICA はこれまで、ケニア国内の電力供給量増加に貢献するための支援を継続的に行っており、「モンバサディーゼル発電プラント建設事業」（1999 年 12 月運用開始）、「ソンドウ・ミリウ水力発電事業（Ⅰ）（Ⅱ）」（2008 年 2 月運用開始）、「ソンドウ・ミリウ／サンゴロ水力発電所建設事業」（2012 年 7 月運用開始）への円借款供与実績がある。更に、現在、「オルカリア - レソス - キスム送電線建設事業」（2010 年 12 月 LA 調印）及び「オルカリア I 4・5 号機地熱発電事業」（2015 年 2 月運用開始）を実施中である。

また、地熱分野における技術協力として、ケニア地熱開発公社（Geothermal Development Company : GDC）を対象に、地熱開発に伴う適切な掘削地点が選定できないといった技術的リスクの低減を図り、適切な蒸気供給を行うための技術向上を目的とした「地熱開発のための能力向上プロジェクト」（2013 年 9 月～2017 年 9 月）及びケニアにおける地熱開発計画の更新を目的とした「GDC の地熱開発戦略更新支援プロジェクト」（2014 年 2 月～2016 年 3 月）を実施している。加えて、その他の電力セクターの技術協力として、未電化地域における再生可能エネルギー利用による地方電化モデルを構築し、公共施設等の施設電化率向上に貢献することを目的とした「再生可能エネルギーによる地方電化モデル構築プロジェクト」（2011 年 8 月～2017 年 1 月）を実施している。今後も、再生可能エネルギー等の利用を視野に入れた新規電源開発及び国内・国際連系送電線整備の支援を強化し、同国及び近隣諸国の安定した電力供給の促進に向けた更なる支援を行っていく方針である。

(4) 他の援助機関の対応

地熱分野では、本事業対象地が位置するオルカリア地熱地帯において、世界銀行、欧州投資銀行（European Investment Bank : EIB）、ドイツ金融復興公庫（Kreditanstalt für Wiederaufbau : KfW）、フランス開発庁（Agence Française de Développement :

AFD) がオルカリア IV 地熱発電所建設事業³への融資を行っている

(5) 事業の必要性

LCPDPによると、経済成長、及び年 2.64%の人口増加により、ケニアのピーク電力需要は 2010 年の 1,120MW から、20 年後には 7,254~12,423MW へと大幅に増加すると予測されている。これに対し発電設備容量は、2015 年の時点で 2,195MW であり、電力不足が日々深刻化する同国では、経済成長を持続可能なものとするべく、経済活動に不可欠な電力供給の安定化が急務である。本事業は、ケニアの課題・開発政策、我が国及び JICA の援助方針に合致し、同国の逼迫する電力供給に対応するほか、再生可能エネルギーの利用により、同規模の火力発電所を稼働させた場合に比して大気汚染物質及び CO₂ の排出を抑制することが期待されることから、JICA が本事業の実施を支援することの必要性は高い。

3. 事業概要

(1) 事業の目的

本事業はケニア中部のナクル郡オルカリア地熱地帯において、出力 140 MW の地熱発電所を建設することにより、同国における電力供給の増加及び安定化を図り、もって投資環境の改善及び同国の経済発展に寄与するもの。

(2) プロジェクトサイト/対象地域名

ナクル郡オルカリア地熱地帯 (ナイロビ北西約 120km)

(3) 事業概要

1) 円借款本体

- ① 地熱発電所 (出力70 MW×2基) 建設
- ② 気水輸送管設備一式建設
- ③ 開閉所、送電線 (約5km) 及び付帯施設建設
- ④ 生産井及び還元井の掘削
- ⑤ コンサルティング・サービス (詳細設計・入札関連資料作成、貯留槽詳細評価、入札補助、施工監理)

なお円借款対象は1)、2)及び3)の各コンポーネントとし、4)及び5)は実施機関が自己資金等で調達する。

2) 円借款附帯プロジェクト

① 投入

(i) 専門家派遣:

- ・ 発電所運営 (パフォーマンス管理)
- ・ 発電所運営 (予測的トラブル管理)
- ・ 発電所運営 (データおよび履歴分析)
- ・ 主機維持管理 (機械、電気)

³ 発電設備容量 140MW (70MW×2基)。2014 年 12 月完工。

- ・補機維持管理（機械、電気）
- ・管理（データ分析、マニュアル作成）
- ・地化学
- ・貯留層管理
- ・物理探査
- ・地質
- ・その他

(ii) 研修員受け入れ：

国内研修：オーバーホール・メンテナンス研修

国内研修：貯留層モデリング

国内研修：地化学研修（化学分析、トレーサー試験、スケール、腐食）

(iii) 機材供与：高速液体クロマトグラフ

② プロジェクト目標：KenGenのオルカリア地熱発電所の技術管理が改善される。

指標及び目標値：

(i) オルカリア地熱発電所の9つのユニット（オルカリアI（4号機、5号機）、オルカリアII（1号機、2号機、3号機）、オルカリアIV（1号機、2号機）、およびオルカリアV（1号機、2号機））のうち、●つ*のユニットがプロジェクトで習得した運営維持管理にかかる知見を業務改善に適用する。

(ii) 貯留層特性の変化が適切に**検出される。

* 適用するユニットの数についてはベースライン調査で決定

** 物理特性及び化学特性分析の精度がプロジェクト開始時と比較し向上した状態

③ 成果

成果1：発電所の運営位維持管理能力が強化される。

成果2：貯留層管理能力が強化される。

④ 受益者（ターゲットグループ）

直接受益者： KenGen

最終受益者： ケニア共和国 電力需要家

(4) 総事業費

円借款本体：75,824 百万円（うち、円借款対象額：45,690 百万円）

円借款附帯プロジェクト：350 百万円

(5) 事業実施スケジュール

円借款本体：2016年3月～2019年12月を予定（計46ヶ月）。保証期間終了時（2019年12月末）をもって事業完成とする。

円借款附帯プロジェクト：2020年3月～2023年2月（3年間）

(6) 事業実施体制

- 1) 借入人：ケニア共和国政府（Government of the Republic of Kenya）
- 2) 事業実施機関：ケニア発電公社（Kenya Electricity Generating Company）
- 3) 操業・運営／維持・管理体制：2)と同じ

(7) 環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1) 環境社会配慮

- ① カテゴリ分類：A
- ② カテゴリ分類の根拠：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）に掲げる地熱発電セクターに該当するため。
- ③ 環境許認可：本事業に係る環境社会影響評価報告書（Environmental and Social Impact Assessment: ESIA）は2014年9月に国家環境管理局（National Environment Management Authority：NEMA）により承認済み。
- ④ 汚染対策：工事中及び供用後の大気質については、硫化水素が大気中に放出されるが、同国が本事業に適用するWHOガイドラインの環境基準値を満たす見込みである。工事中及び供用後の騒音については、防音設備の設置等の緩和策を講じることにより同国騒音ガイドライン上の基準を満たす見込みである。工事中及び供用後の一般及び産業廃棄物は、国内法に従いNEMAライセンスを所有する業者に委託することで適切に処理される。
- ⑤ 自然環境面：事業地域の北部は、ケニア野生動物公社（Kenya Wildlife Service：KWS）が管理するヘルズゲート国立公園に隣接しているが、同公園の生態系管理計画に従いつつ、動植物の生態に配慮したパイプラインの設置や送電線への鳥類回避装置の設置、自然植生の回復措置を実施することにより、国立公園及びその周辺の自然環境・景観への望ましくない影響は最小限となる見込みである。
- ⑥ 社会環境面：本事業は用地取得及び住民移転を伴わないが、本事業対象地域における用地取得及び52世帯の非自発的住民移転が、ケニア国内法制度及びオルカリアIV地熱発電所建設事業の下で作成された住民移転計画に沿って2014年9月までに実施されている⁴。移転先地には住居、学校等公共施設、及び水・電気等のインフラが整備されている。被影響住民に対する移転先の土地所有権の付与及び移転地内の道路の舗装については、上記計画で定めたスケジュールからの遅れがあるものの、2016年6月までに完了する見込みである。なお、本事業のESIA策定時のステークホルダー協議では、本事業実施に係る特段の反対意見は出ていない。

⁴ オルカリアIV発電所建設事業により発生する硫化水素及び騒音等の影響を考慮し、オルカリア地熱地帯の4村及び移転先用地の用地取得（合計約5,910エーカー）と150世帯の非自発的住民移転が実施された。同4村内、1村が存在した用地が本事業対象地となる。

⑦ その他・モニタリング：オルカリア IV 地熱発電所建設事業の下での住民移転の状況及び被影響住民の生活・生計状況について、工事前及び工事中は KenGen がモニタリングする。また、大気質、騒音、廃棄物等について、工事中に KenGen 及び施工業者が、及び供用後は KenGen がモニタリングする。国立公園内の動植物について、工事中及び供用後に KenGen 及び KWS がモニタリングする。

2) 貧困削減促進：特になし。

3) 社会開発促進（ジェンダーの視点、エイズ/HIV 等感染症対策、参加型開発、障害配慮等）：特になし。

(8) 他ドナー等との連携

特になし

4. 事業効果

(1) 定量的効果

指標名		基準値 (2015 年実績値)	目標値 (円借款事業 完成 2 年後)
最大出力 (MW)		—	140
設備利用率 (%)		—	81.83
稼働率 (%)		—	90.0
所内率 (%)		—	9.09
原因別の停止時間 (時間/年)	人員ミス	—	0
	機械故障	—	564
	計画停止	—	312

【参考】

本事業の事後評価は円借款事業完成5年後（円借款附帯プロジェクト終了2年後）に実施するが、上記の定量的効果については円借款事業完成2年後の数値から確認し、評価を実施する。

円借款附帯プロジェクトではオルカリアV地熱発電所の他にオルカリアI（4号機、5号機）、オルカリアII（1号機、2号機、3号機）、オルカリアIV（1号機、2号機）の既設発電所も対象としている。これらの発電所では以下の事業効果が期待される。

1. 各発電所の利用率が向上する。
2. 発電所の故障時間が減少する。
3. 年間点検およびオーバーホール期間が短縮される。

以上の取り組みにより地熱発電による化石燃料を使用した火力発電の代替が促進され、温室効果ガスの排出抑制が見込まれるため、本プロジェクトは気候変動対策に資するものである。

(2) 内部収益率

以下の前提に基づき、本事業の経済的内部収益率（EIRR）は 10.53%、財務的内部収益率（FIRR）は 6.23%となる。

【EIRR】

- ・費用：事業費、運営・維持管理費（税金を除く）
- ・便益：代替石炭火力発電所の建設費との差額、運用・維持管理費の削減
- ・プロジェクトライフ：25年

【FIRR】

- ・費用：事業費、運営・維持管理費
- ・便益：売電収入

- ・プロジェクトライフ：25年

(3) 定性的効果

- ・電力供給の増加及び安定化による民生向上、地域経済発展、投資環境改善、環境負荷軽減。
- ・再生可能エネルギーの利用による大気汚染物質及び CO₂ の抑制。

5. 外部条件・リスクコントロール

(1) 前提条件

プロジェクトサイトの治安状況が悪化しない。

(2) 外部条件

ケニア及び近隣諸国の経済状況の悪化により、電力需要が減少しない。

6. 過去の類似案件の教訓と本事業への適用

(1) 類似案件からの教訓

フィリピン共和国の「ティウイ地熱発電所改修事業」や、同国の「北ネグロス地熱開発事業」の事後評価等において、地熱貯留槽の事前の解析と発電所運転段階での管理が不十分であったため、十分な蒸気を得られず発電量の確保が困難となり、事業効果発現の上で課題となっている事例について指摘されている。

(2) 本事業への教訓の活用

本事業においても想定通りの蒸気量が得られなくなるリスクは皆無ではないため、上記教訓を踏まえ、確保する蒸気量の想定について、KenGen が実施済の調査「Feasibility Study for Development of KenGen's Geothermal Concession Area in Olkaria Beyond 430MW」（2012年9月）の内容を確認し、蒸気量の観点から持続可能な開発計画となっていることを確認した。本事業で必要となる 140 MW 相当の蒸気量と還元能力は今後 30 年間確保できる見込みである。

7. 今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる指標：

- 1) 最大出力（MW）

- 2) 設備利用率 (%)
- 3) 稼働率 (%)
- 4) 所内率 (%)
- 5) 原因別の停止時間 (時間/年)
- 6) EIRR
- 7) FIRR

(2) 今後の評価のタイミング :

円借款附帯プロジェクト開始 6 ヶ月 円借款附帯プロジェクトベースライン調査

円借款事業完成 5 年後 (円借款附帯プロジェクト終了 2 年後) 事後評価 (円借款本体及び円借款附帯プロジェクトを一本化し評価対象とする。)

以上