

二国間クレジット制度（JCM）実現可能性調査 報告書（概要版）

調査案件名	平成 26 年度 JCM 実現可能性調査「20MW 級地熱発電」
調査実施団体	みずほ情報総研株式会社
ホスト国	エチオピア連邦民主共和国

1. 調査実施体制：

国	調査実施に関与した団体名	受託者との関係	実施内容
日本	(日本メーカ)	外注先	事業計画策定のための概略設計等
日本	(地熱コンサルタント)	外注先	地熱資源面からの坑口発電の技術的実現可能性に関する分析等
日本	(金融機関)	外注先	坑口発電の事業収益性分析等
ホスト国	プロジェクト実施主体	—	現地調査受入等

2. プロジェクトの概要：

調査対象プロジェクトの概要			
プロジェクトの概要	対象とするプロジェクトは、外国資本の特別目的会社による日本メーカ製設備を活用した坑口（Wellhead）地熱発電プロジェクトである。エチオピア連邦民主共和国（以下、エチオピア）において、グリッドへの電力供給を通じた GHG 排出削減を実現する予定である。		
予定代表事業者	日本メーカ		
プロジェクト実施主体	エチオピアに設置された外資系 IPP		
初期投資額	4,065,600（千円）	着工開始予定	2015 年 3 月
年間維持管理費	115,204（千円）	工期（リードタイム）	24 か月
投資意志	有	稼働開始予定	2016 年 9 月
資金調達方法	プロジェクト実施主体は、初期投資費用については出資でカバーする方針である。維持管理費用は、通常の発電プロジェクト同様に、電力公社との売電契約（PPA）に基づく売電収入でカバーする予定である。PPA 交渉は現在最終段階にある。		
GHG 削減量	約 49,012 (tCO ₂ /年)		

3. 調査の内容及び結果

(1) プロジェクト実現に向けた調査

① プロジェクト計画

○プロジェクトの実施体制

本プロジェクトの実施体制概要を下図に示す。プロジェクト実施主体は、現地に設置された特別目的会社（SPC）である。同 SPC は、調達範囲として、フルターンキーの EPC（発電設備、変電設

備への電線の敷設等含む)を希望しており、完工まで15か月、完工時期は2016年9月を想定している。

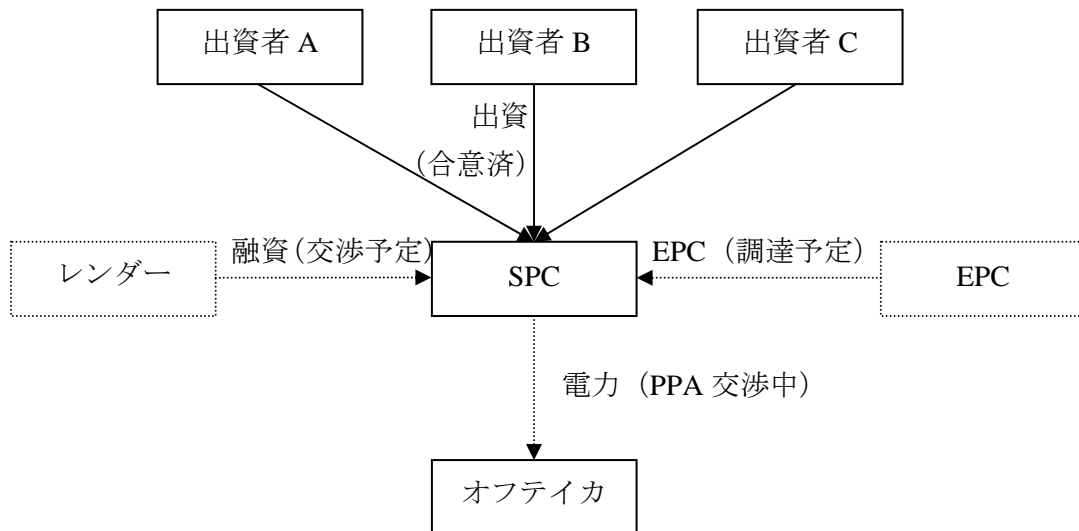


図 プロジェクト実施体制概要

注) 破線は未だ確定していないが、将来的に想定される関係を示す。

○プロジェクト実施主体の経営体制・実績

プロジェクト実施主体は、再生可能エネルギー開発や地熱発電の実績を持つ外国企業群の出資による SPC であることから、技術力の裏づけはあると考えられる。

○事業収益性の評価

プロジェクト実施主体の開発計画に基づき、20 MW 坑口発電設備の導入による発電・グリッド接続プロジェクトを想定し、EIRR 12%を充足するタリフを評価した。主に掘削コストおよび EPC コストからなる Capacity Charge が 5.72 cent/kWh、EPC コストの 3%とした O&M Charge が 1.63 cent/kWh となり、合計 7.35 cent/kWh と導かれた。

表 事業性評価結果概要

項目	結果
Equity IRR	12.0 %
Average Tariff	7.35 cent/kWh
- Capacity Charge	5.72 cent/kWh
- O&M Charge	1.63 cent/kWh
- Fuel Charge	0.00 cent/kWh

(出所) 本調査における検討結果

○初期投資・維持管理及び MRV に関する資金計画

プロジェクト実施主体は、発電設備 20MW 分を全て自己資金で調達する計画である。

○リスク分析

本プロジェクトの実施にあたって想定されるリスクとして、主に以下のリスクを分析した。

第1に、資源リスクである。プロジェクトの実施地域では、過去の地表探査により高温の地熱貯留層の存在が示唆されているが、これまで試掘が行われていないため、実際の地熱貯留層が確認されていない。そこでプロジェクト実施主体は、開発を段階分けすることにより、小規模な開発から始め、地熱貯留層のポテンシャルを確認しつつ開発を拡大していくことで、資源リスクを低減する計画である。

第2に、工期遅延リスクである。プロジェクト地域周辺には民家も点在しており、住民移転が必要となる場合、プロジェクト開始が遅れる可能性がある。

第3に、事業運営リスクである。このリスクは、本来はプロジェクト実施主体であるプロジェクト実施主体が負うものであるが、将来本プロジェクトを環境省「JCM 設備補助事業」等に応募する場合、事業に予期せぬ問題が発生し、結果として補助金を返還することになった際には、代表事業者である日本企業が日本政府に対してその義務を負わなければならない。そのため、日本企業はプロジェクト実施主体に対して何らかの保証を確保すべく、プロジェクト実施主体と協議した。

② プロジェクト許認可取得

プロジェクト実施主体である SPC によると、同社はエチオピアでの特別目的会社として登記を完了したとのことである。その他コンセッションを含め必要な許認可は取得済み、売電契約（PPA）はオフテイカーとの交渉がほぼ妥結しているとのことである。

以上は、プロジェクト実施主体及びその出資者からの報告に基いているため、実際の契約書等の証拠書類を確認し、裏づけを取ることが望ましい。

③ 日本技術の優位性

世界の地熱発電設備全体の供給実績においては、日本の三菱重工、東芝、富士電機がトップ3を占めている。4位の Ansaldo/Tosi は、世界で最初に地熱発電を商業的に成功させた国であるイタリアのメーカーである。日本技術は、地熱発電設備の長期耐用性等の性能面で優位である。

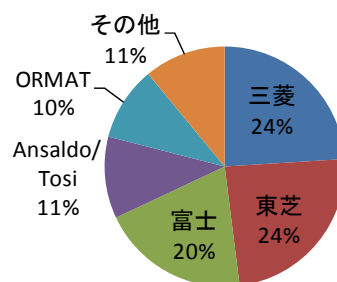


図 地熱発電プラントメーカーの比率

(出所) Ruggero Bertani, Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report, World Geothermal Congress, 2010
より作成

④ MRV 体制

MRV については、運転開始後プロジェクトサイトで SPC が実施することで合意している。想定するモニタリング作業（対象項目は蒸気量及び CH₄ 等の非凝縮性ガス濃度）が通常発電事業を行う

上で特段負担になるとは想定されないとのコメントを受領した。

具体的なモニタリング方法の素案として、以下2点を考慮し、下表の方法をプロジェクト実施主体に提案した結果、特段のコメントは無かった。

- モニタリングポイントについては、簡素化のため、蒸気輸送配管の採取口のみでの実測を想定する。
- モニタリング頻度は、現地の運用状況等の実情を踏まえつつ、NCGの濃度が安定していれば、モニタリング頻度を軽減させることも視野に入れる。

モニタリング方法（案）

排出源	GHG	頻度	採取方法	採取場所
非凝縮性ガス	CO ₂	3ヶ月に一度	ASTM E1675-95a	蒸気輸送配管の採取
	CH ₄	3ヶ月に一度	ASTM E1675-95a	蒸気輸送配管の採取
サイトでの化石燃料	CO ₂	年に一度	燃料メータ	発電機設置場所

（出所）本調査による検討結果

⑤ ホスト国の環境十全性の確保と持続可能な開発への寄与

同SPCによると、本プロジェクトの環境社会影響評価（ESIA）は鉱山省により承認済みである。ただし、その後サイト周辺の住民移転に関する一部のみESIAをやり直しているところである。

ホスト国の持続可能な開発については、同国の電源のうち98%以上を水力発電が占め、例年旱魃に伴い停電も頻発しており、持続可能な開発が脅かされているところ、ベースロードとなりうるのは火力発電と地熱発電のみであるが、同国は既存の火力発電所を既に停止し緊急用の予備電源に位置づけており、また唯一の地熱発電所（アルトランガノ）は技術的理由で稼動していない。こうした中、本プロジェクトは、同国への安定電力の供給を通じ、その持続可能な開発に大きく貢献すると期待される。

⑥ 今後の予定及び課題

○プロジェクトの事業性に関する調査

- 引き続き本プロジェクト許認可に係る証拠書類の入手や、地熱資源ポテンシャル等事業性に係る事項の把握に努める。
- 本プロジェクトのJCM設備補助事業への応募を検討する。

○JCM方法論開発に関する調査

- 本調査で検討したJCM方法論案を基に、日本、エチオピア二国間のJoint Committeeによる承認を目指す。

(2)JCM 方法論作成に関する調査

① 適格性要件

○課題

本プロジェクトに関連する CDM 方法論 ACM0002 の適格性要件には、導入設備や技術に関する規定は特に無い。

よって、本調査では、ACM0002 を基に以下 2 件を適格性要件の素案としつつ、坑口地熱発電設備への技術的適用可能性を確認した。また、日本メーカーの技術上の強みを反映する観点から、必要に応じて適格性要件の修正を検討した。

- ✓ 適格性要件（案）1： エチオピアに立地する地熱発電設備の新設、容量追加、改良、復旧、又は置換であること
- ✓ 適格性要件（案）2： エチオピアの国家グリッドに電力を供給していること

○検討の概要

適格性要件（案）1につき、ACM0002 version 15.0 は、容量追加、改良、復旧、又は置換の場合には、ベースライン排出を既設の発電所からの排出とするよう求めていることを確認した。本プロジェクトは新設であるため、簡素化の観点から、適格性要件（案）1 から容量追加、改良、復旧、又は置換を削除することとした。

日本技術の優位性については、地熱発電においては一般に各井戸に固有の多様な条件（温度、圧力等）に対応して技術を選定する必要があることから、特定の性能条件を反映することは困難である。それでもなお、日本技術の長所として、一般に (a) 耐用年数が比較的長い点、(b) 実績が豊富である点が挙げられる。このことを踏まえ、「15 年以上にわたる安定稼働実績を有する地熱発電設備の供給実績を有する事業者による地熱発電設備を用いること」を要件に追加することとした。

○適格性要件の最終案

- ✓ 適格性要件 1： エチオピアに立地する地熱発電設備の新設であること
- ✓ 適格性要件 2： エチオピアの国家グリッドに電力を供給していること
- ✓ 適格性要件 3： 15 年以上にわたる安定稼働実績を有する地熱発電設備の供給実績を有する事業者による地熱発電設備を用いること

②リファレンス排出量の設定と算定、およびプロジェクト排出量の算定

○プロジェクト排出量の算定

プロジェクト排出量としては、ACM0002 同様、以下を計上した。

- ・ 発電のために化石燃料を使用する地熱プロジェクトでは、化石燃料の燃焼による CO₂ 排出量
- ・ 地熱発電に利用される蒸気に含まれる費凝縮性ガス (NCG) に由来する CO₂ 及び CH₄ の排出量

数式としては、次の通りである。

$$PE_y = PEFF_{,y} + PEGP_{,y}$$

PE_y: Project emissions in year y [tCO₂/y]

PEFF_{,y}: Project emissions from fossil fuel consumption in year y [tCO₂/y]

PEGP_{,y}: Project emissions from the operation of geothermal power plants due to the release of NCGs in year y [tCO₂/y]

前者の化石燃料の燃焼は当面想定されないため、後者のプロジェクト排出量の算定では NCG の排出量の設定が鍵を握る。

プロジェクト実施主体は、未だサイトにおける試掘を進めてはいないものの、予想される NCG 濃度の上位値として下表の値を提示している。

表 本プロジェクトにて予想される NCG 濃度の上位値

変数	データの概要	推計値	単位
wsteam,CO ₂ ,y	average mass fraction of CO ₂ in the produced steam in year y	0.01000000	tCO ₂ /t steam
wsteam,CH ₄ ,y	average mass fraction of CH ₄ in the produced steam in year y	0.00000500	tCH ₄ /t steam

(出所) プロジェクト実施主体

本調査では、概略設計との整合性の観点から、上表の値を用いることとした。上位予想値を用いた理由は、言うまでもなく、保守性を担保するためである。

一方、発電設備の期待蒸気消費率をもとに、及び稼働率（92%）を仮定すると、年間蒸気生産量は 2,030,918 [t steam] となる。以上を基に、プロジェクト排出量を算定すると、20,522.43 [tCO₂/y] を得る。

○リファレンス排出量の算定

リファレンス排出量の対象は、グリッド発電所により排出される CO₂、及び「抑圧された需要」下で最低サービスレベルを満たすためのベースライン発電技術により排出される CO₂ の合計である。

リファレンス排出量は、グリッドに供給された年間発電電力量とリファレンス排出係数（EF）との積で算定する。すなわち、

$$RE_y = RGPJ_y * RF_{CM,y}$$

RE_y: Reference emissions in year y [tCO₂/y]

RGPJ_y: Quantity of net electricity generation that is produced and fed into the grid as a result of the implementation of the JCM project activity in year y [MWh/y]

RF_{CM,y}: Combined margin CO₂ emission factor for grid connected power generation in year y calculated the latest emission factor [tCO₂/MWh]

リファレンス排出係数は、グリッド電源の排出係数と、抑圧された需要を満たすためのベースライン技術の排出係数との加重平均とし、その算定に当たっては以下が必要となる：

- グリッド排出係数
- グリッド電力供給量
- 最低サービスレベルに該当する 1 人当たり電力消費量
- 実際の 1 人当たり電力消費量
- ベースライン発電技術の種類と排出係数（IPCC のデフォルト値を使用）

リファレンス排出係数は、実際の1人当たり電力消費量が最低サービスレベルを下回っている場合、次式により計算する：

$$RF_y = \frac{EF_{BT,y} * (MSL - EC_y) + EF_{grid,y} * EC_y}{MSL}, \text{ if } MSL - EC_y > 0$$

$$RF_y = EF_{grid,y}, \text{ if } MSL - EC_y \leq 0$$

Where

EF_{BT,y}: CO₂ emission factor from power generation by the baseline technology in year y [tCO₂/MWh]

EF_{grid,y}: CO₂ emissions factor from the grid power plants in year y [tCO₂/MWh]

EC_y: Electricity consumption per capita [kWh/y]

MSL: Minimum service level of electricity consumption per capita [kWh/y]

エチオピアの最近の1人当たり電力消費量 (EC_y) は 51.96 kWh (2011年、世界銀行) ないしは 60 kWh/y (2012年、EIA) であり、最低サービスレベルと考えられるエネルギー貧困の閾値である 120 kWh/y (MSL, Sanchez, T. (2010)) を下回っていることから、「抑圧された需要」が存在すると考えられるためである。本調査では、EC_y として、データの新鮮さ及び保守性の観点から、60kWh/y を設定する。

ベースライン発電技術としては、現時点ではエチオピアにおいてオフグリッド発電で広く使用されているケロシンが妥当と考える。IPCC のデフォルト値を用い、以下により、ケロシンの排出係数として 0.86 [tCO₂/MWh] を得た。

リッド排出係数 EF_{grid,y} については、電力公社のマスタープランにて既存のディーゼルプラントとオフグリッドのディーゼル発電機は 2012~2014 年の間に運転を停止、スタンバイ電源とした上で、EEPSCO は、2015 年以降は再生可能エネルギーのみを用いた発電を計画しており、この内 90% が水力、6% が地熱、4% が風力となることを踏まえ、保守性及び簡便性の観点から OM、BM ともに 0 と設定して良からう。

以上を代入すると、リファレンス排出係数は次の通りである：

$$RF_y = \frac{0.86 * (120 - 60) + 0 * 60}{120} = 0.43 [tCO_2 / MWh]$$

次に、年間発電量については、発電容量 20MW、稼働率 92% を想定すると、次の通りである。

$$RGPJ,y = 20 \text{ [MWh]} * 24 \text{ [h]} * 365 \text{ [d]} * 0.97 \text{ [%]} = 161,184 \text{ [MWh/y]}$$

以上より、リファレンス排出量として、以下を得る：

$$RGPJ,y * RF_y = 161,184 * 0.43 = 69,534.78 \text{ [tCO}_2\text{/y]}$$

○排出削減量の算定

リファレンス排出量とプロジェクト排出量の差より排出削減量が算定される。その値を計算すると、年間排出削減量として 49,012.35 [tCO₂/y] を得る。

本地熱発電所の稼働により得られる電力が、エチオピアの系統電力及び最低サービスレベルを満たすために追加的に必要な電力を発電するベースライン技術による電源を代替することにより削減可能な CO₂ 量を評価する。

③プロジェクト実施前の設定値

過去の地熱発電 JCM/BOCM 実現可能性調査では、特に CO₂ 及び CH₄ という非凝縮性ガス (NCG) のモニタリング方法が論点として提示されている。

本調査では、事業者の負担軽減の観点から、エチオピアにおける地熱関連事業の実情を踏まえつつ、以下の3項目にデフォルト値化もしくはプロジェクト固有のパラメータの設定可能性を検討した。

- ・対象候補 1 地熱開発プロジェクトの蒸気に含まれる CH₄ 濃度
- ・対象候補 2 グリッド排出係数
- ・対象候補 3 燃料排出係数
- ・対象候補 4 オフグリッド発電に占めるディーゼルの割合 (リファレンス排出量算定に用いる場合)
- ・その他

○蒸気に占める CH₄ の濃度

CH₄ の濃度についてデフォルト値化可能性について検討した結果、一般にその値が採取場所や時期により異なるとの指摘を得たため、モニタリングを必須とすることとした。

簡素かつ保守的なモニタリング方法としては、CH₄ の濃度測定を不要とし、CO₂ も含め全ての NCG をより GWP が高い CH₄ とみなして保守的に算定を行うことが考えられる。しかし、この方法を本調査の排出削減量算定に適用したところ、排出削減量がマイナスになり、過度に保守的な結果を導くこととなった。

プロジェクト実施主体によると、非凝縮性ガスのモニタリングは特に問題ないとのことであるため、CH₄ のモニタリングは必須とすることを本調査では提案する。

○グリッド排出係数

グリッド排出係数については、グリッドに接続された既存の発電所部分については、エチオピアの電源構成のうち 98% を水力が占め、火力発電所は 2012-2014 年にかけて停止されていることから、OM を 0 とみなすことが考えられる。

将来も建設が予定されている発電所も再生可能エネルギーのみであり、火力発電所の建設予定は無いため、BM も 0 とみなすことが考えられる。

グリッド排出係数を 0 とみなすことは、言うまでも無く保守的であり、算定の簡素化にも資する。

○燃料排出係数

燃料排出係数については、IPCC ガイドラインのデフォルト値を用いることができる。

○オフグリッド発電に占めるディーゼルの割合 (リファレンス排出量算定に用いる場合)

リファレンス排出量では、オフグリッド発電に占めるディーゼルの割合を特に用いないこととしたため、本候補は検討対象から除外した。

○その他

・電力消費量の最低サービスレベル（エネルギー貧困）（kWh/y）

「抑圧された需要」下における「最低サービスレベル」を電力について反映した **Basic Human Needs** として国際的に認められた水準として、**Sanchez, T. (2010)** がエネルギー貧困の閾値として設定している 1 人当たり 120kWh/y が挙げられる。この値は、電灯及び、飲料水、通信、改善された健康サービス、改善された教育サービス等、及び地域生産のための付加価値へのアクセスのために必要とされている。

・年間 1 人当たり電力消費量（kWh/y）

年間 1 人当たり電力消費量については、世界銀行及び EIA がデータを提供している。両者のうち、排出削減量を保守的に評価する、すなわち大きい方の値を適用することが考えられる。

以上