

**二国間クレジット制度(JCM)実現可能性調査「20MW 級地熱発電」
報告書**

みずほ情報総研株式会社

目 次

第 1 章	調査の背景	1
1.1	ホスト国の JCM に対する考え方	1
1.2	企画立案の経緯・背景	1
第 2 章	調査対象プロジェクト	2
2.1	プロジェクトの概要	2
2.2	ホスト国における状況	3
2.2.1	国の概況	3
2.2.2	政治経済状況	9
2.2.3	投資環境	11
2.2.4	最近の直接投資状況	19
2.2.5	エネルギー消費、CO ₂ 排出、発電の概況	19
2.2.6	電力セクタ及び地熱開発の概況	22
2.3	プロジェクトの普及	27
第 3 章	調査の方法	29
3.1	調査実施体制	29
3.2	調査課題	29
3.2.1	プロジェクト実現に向けた調査	29
3.2.2	JCM 方法論作成に関する調査	31
3.3	調査内容	31
3.3.1	プロジェクト実現に向けた調査	31
3.3.2	JCM 方法論作成に関する調査	32
第 4 章	プロジェクト実現に向けた調査	34
4.1	プロジェクト計画	34
4.1.1	プロジェクト地域の地熱資源と開発計画	34
4.1.2	開発計画	37
4.1.3	プロジェクトの実施体制と資金計画	38
4.1.4	事業収益性の評価	39
4.1.5	リスク分析	43
4.2	プロジェクト許認可取得	47
4.3	日本技術の優位性	47
4.4	MRV 体制	49
4.4.1	課題	49
4.4.2	検討結果	49

4.5	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	52
4.6	今後の予定及び課題	52
第 5 章	JCM 方法論作成に関する調査	53
5.1	適格性要件	53
5.1.1	課題	53
5.1.2	検討の概要	53
5.1.3	適格性要件の最終案	54
5.2	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	55
5.2.1	課題	55
5.2.2	プロジェクト排出量の設定	56
5.2.3	リファレンス排出量の設定	58
5.2.4	排出削減量の算定	66
5.3	プロジェクト実施前の設定値	69
5.3.1	蒸気に占める CH ₄ の濃度	69
5.3.2	グリッド排出係数	69
5.3.3	燃料排出係数	70
5.3.4	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) ..	70
5.3.5	その他	70
引用文献	71

図 表 一 覧

図 2-1	プロジェクト概要図	2
図 2-2	エチオピアの地図	4
図 2-3	東アフリカ主要国の GDP、一人当たり GDP の推移	5
図 2-4	東アフリカ主要国の人口と GDP 成長率の推移	6
図 2-5	東アフリカ主要国のジニ係数、貧困率、及び失業率の推移	7
図 2-6	エチオピアの主要産業構成の推移	8
図 2-7	東アフリカ主要国の識字率の推移	8
図 2-8	東アフリカ主要国のインターネット利用者数の推移	9
図 2-9	エチオピアの輸入額、輸出額の推移	11
図 2-10	東アフリカ主要国の海外純直接投資額の推移	19
図 2-11	エチオピアのエネルギーミックスの推移	20
図 2-12	エチオピアと日本の 1 人当たり GDP、一次エネルギー供給量の推移	21
図 2-13	エチオピアの発電構成と発電量の推移	21
図 2-14	エチオピアの TPES に占める水力、地熱の割合の推移	22
図 2-15	電力需要と供給の関係	23
図 2-16	化石燃料発電と再エネ発電の今後の伸び	24

図 2-17	電力セクタの GHG 排出量の今後の推移.....	25
図 2-18	エチオピア国内の地熱地域とその開発段階	27
図 2-19	東アフリカ大地溝帯	28
図 3-1	本調査実施体制	29
図 4-1	Aluto Langano 地域の生産井の噴出特性曲線	34
図 4-2	Aluto Langano 地域の生産井の噴出流体比エンタルピー	35
図 4-3	プロジェクト計画概念図.....	36
図 4-4	送変電システム概念図	37
図 4-5	一般的な背圧型坑口地熱発電所の所内配置図	37
図 4-6	本プロジェクトの実施体制概要	38
図 4-7	感度分析結果（総プロジェクトコスト）	40
図 4-8	感度分析結果（稼働率）	41
図 4-9	感度分析結果（O&M コスト）	41
図 4-10	感度分析結果（補助金）	42
図 4-11	感度分析結果（補助金）	42
図 4-12	SPC に補助金を段階的に支払う提案.....	46
図 4-13	SPC が保証を差し入れる提案.....	46
図 4-14	地熱発電プラントメーカーの比率	47
図 4-15	地熱井からの噴出流体採取位置 1（坑口周辺図）	50
図 4-16	地熱井からの噴出流体採取位置 2（ミニセパレータ接続状況）	50
図 4-17	地熱蒸気採取法 1（小沢の方法）.....	51
図 4-18	地熱蒸気採取法 2（真空瓶）	51
図 5-1	最低サービスレベルを満たすために必要な追加的電力の特定の基本的な考え方.....	63
表 2-1	エチオピアの政治経済の概要.....	10
表 2-2	エチオピアにおける製品グループ別の輸入関税.....	12
表 2-3	エチオピアの個人所得税率	13
表 2-4	エチオピアの課税対象営業所得税率.....	13
表 2-5	関税が免除となる投資分野	16
表 2-6	所得税が免除となる投資分野.....	17
表 2-7	エチオピアにおけるエネルギー、CO ₂ 関連指標の推移	20
表 2-8	エチオピアの発電設備容量・発電量と将来計画.....	24
表 2-9	エチオピアの電源構成（2012 年）	25
表 2-10	エチオピアの発電所	26
表 4-1	Aluto Langano 地域の生産井の平均蒸気量	35
表 4-2	事業性評価結果概要	39
表 4-3	キャッシュフロー（運開後 10 年目まで）	39
表 4-4	二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金の概要.....	44
表 4-5	二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金補助対象者の主な要件.....	44

表 4-6	電気業用設備の法定耐用年数.....	45
表 4-7	二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金に係る財産処分納付金の額.....	45
表 4-8	小型発電設備と中～大型発電設備の比較.....	48
表 4-9	モニタリング方法（案）.....	52
表 5-1	これまでの地熱発電の主な JCM 実現可能性調査における主要論点.....	55
表 5-2	ACM0002 における排出削減量の算定方法.....	56
表 5-3	GHG 排出源.....	57
表 5-4	GHG 削減量算定のためのデータ.....	57
表 5-5	「マラケシュ合意」の決定文書におけるベースラインシナリオに係る記述.....	60
表 5-6	「CDM 方法論における抑圧された需要の検討に関するガイドライン」の概要.....	61
表 5-7	ベースライン候補の比較.....	65
表 5-8	Aluto Langano 地熱井のガス濃度一覧表.....	66
表 5-9	本プロジェクトにて予想される NCG 濃度の上位値.....	67
表 5-10	デフォルト値（IPCC のデフォルト値に基づくケロシンの排出係数、及び火力発電の発電効率）.....	68

第1章 調査の背景

1.1 ホスト国の JCM に対する考え方

日本国政府は、エチオピア連邦民主共和国（以下、「エチオピア」）政府との間で 2013 年 5 月に、二国間オフセット・クレジット制度に関する二国間文書に署名し、エチオピア国内における温室効果ガス排出削減に両国が共同で取り組み、地球希望での温暖化防止に向けた努力に貢献していくことを確認した。二国間オフセット・クレジット制度に関する二国間文書に署名した国は、モンゴル、バングラディシュに続いてエチオピアは 12 か国中 3 カ国目である。

同年 8 月には、第 1 回日本・エチオピア合同委員会が開催され、委員会の運用手続きや事務局の設置等で合意した。また合同委員会のエチオピア側委員長には Wondmagen 環境大臣が指名された。2014 年 1 月には、両国首脳会談が実施され、両首脳は、エチオピアにおける低炭素成長を達成すべく、低炭素技術、製品、システム、サービス、インフラへの投資と普及を促進するために、二国間クレジット制度の実施に向けた緊密な協力関係を継続していくことの重要性について再確認した。

2015 年現在、登録済みのプロジェクトはまだないが、エチオピア環境・森林保護省は、同国における JCM プロジェクト第 1 号の早期登録実現に期待を寄せている。

本調査では、第 1 回現地調査（2014 年 11 月実施）にてエチオピア環境森林省担当者と面会し、以下のコメントを得た。

- エチオピアのエネルギー省関係者と面会することを勧める。その上で、面会結果を当方にも共有されたい。
- 次回エチオピア訪問の機会があれば、エチオピア環境省、エネルギー省等、主要な関係者が一堂に会する場を設けることを勧める。

1.2 企画立案の経緯・背景

本調査で対象とするプロジェクトは、外国民間資本の出資により設置された特別目的会社（SPC）への日本メーカー製発電設備を活用した坑口（Wellhead）地熱発電プロジェクトである。エチオピア国内において、グリッドへの電力供給を通じた温室効果ガス（以下「GHG」）排出削減を実現する予定である。

エチオピア政府が 2010 年に発表した新五カ年開発計画「成長と構造改革計画（Growth and Transformation Plan）」では、今後 5 年間で地熱発電の設備容量を 70MW に拡大する（うち、既存容量は 7.3MW）計画である。このため現在、国が主導で進めている Aluto Langano 地熱発電プロジェクトに加えて、民間事業として実施される本プロジェクトに対する期待は大きい。

本プロジェクトの実施地域では、将来的に大型発電所の開発が検討されているが、その第一段階の開発として、試掘後約 20MW 規模の設備を導入する計画であったところ、出資者 A より日本メーカー製の坑口発電設備に対する関心が示された。

日本メーカーは、高効率な日本製小型発電設備の普及を通じて温室効果ガス削減への貢献に取り組みたいとの意向から、SPC への出資者との複数回の協議を通じて、本企画を立案し提案するにいたった。

第2章 調査対象プロジェクト

2.1 プロジェクトの概要

エチオピアのアフリカ大地溝帯に属する地域の地熱資源のポテンシャルは一説に 5,000MW とされているが、国の豊富な水力資源とのバランス、国内電力需要の大きさ等を勘案すれば、将来的には 700MW～1,000MW 程度まで地熱開発が行われることが妥当であると考えられる。しかしながら、地熱開発には高い初期投資が必要とされることから、これまで Aluto Langano 地域においてパイロット発電所 (3.5MW x 2 基) が 1998 年に運転を開始したケースを除いて、本格的な地熱開発は行われてこなかった。

エチオピア政府は現在、電源多様化の必要性から地熱開発に力を入れる方針に転換し、同地域で国の主導により 35MW の第 3 号機建設が計画されており、日本政府と世界銀行の資金援助により試掘が行われている。さらにその後の発電所建設については円借款による支援が検討されている。

エチオピア政府は国家開発計画の中で今後 5 年間に 70MW の地熱発電の導入を計画しているため、国の主導による Aluto Langano のプロジェクトに加えて、民間の主導による本プロジェクトに対する期待が大きい。

本プロジェクトでは、将来的に大型発電所の開発が検討されているが、その第一段階の開発として、試掘後約 20MW 規模の設備を導入する計画であり、本調査の対象となるのはこの第一段階の開発である。エチオピアにおいて坑口地熱発電を行い、グリッドへの電力供給を通じた GHG 排出削減を実現するものである。



図 2-1 プロジェクト概要図

一般的に地熱発電事業においては、最初に掘削する試験井の完成から、後に掘削される複数の生産井の開発完了に至るまで資金調達の労を含めて、一定の時間を要する。将来的な大型発電所の建設のためには 100 億円超の資金が必要となるが、この資金の調達に加えプラント等の入札・契約・建設期間を考慮すれば、さらに数年の時間を要すると考えられる。

よって、大型発電所の運転開始を待つ間に開発済みの井戸を遊ばせない為、坑口にポータブルな小型の発電設備を付設し、少量の発電を行うことを最初の出資者 (出資者 A) は希望しており、それが第一段階として計画された 20MW 発電プロジェクトである。

出資者 A は、物理探査 (MT) を含めた地表からの貯留層評価を実施済みであり、コンセッションを有する地域に 250 度以上の十分な熱源があるとの結論に至っている。

本プロジェクトの環境社会影響評価の承認を鉱山省より取得し、エチオピア電力公社 (EEP) との売電契約 (PPA) 交渉も概ね合意に至ったと出資者 A は報告している。

また、地熱開発の大きなハードルである掘削資金の調達についても既に目途をつけており、掘削を開始する予定である。第一段階である 20MW 発電事業を JCM 案件化することに関心を有しており、プロジェクト実施に対する意欲は大きい。

本プロジェクトに対しては、エチオピア政府の関心も高い。エチオピアでは増大する電力需要

に対し供給力は慢性的に不足している。また電源の約9割を水力発電が占めており、水力発電への過剰な依存は、旱魃等の天候による電力供給の不安定さを過去露呈し電源多様化の必要性が電源計画に謳われている。上記背景に基づき、国は同国の地熱資源の有効活用のため、電力公社を通じて Aluto Langanu 地域などの地熱開発に取り組んでいるが、国の資金力は限られていることから、一部の地熱地帯については開発権を地熱開発の経験豊富な民間会社に付与し、民間の力を活用した開発を進めようとしている。

よって、本プロジェクトが民間企業によって迅速に進められることに対するエチオピア政府の関心は高く、出資者 A との PPA 交渉にも電力公社 EEP が積極的に応じてきた。

エチオピア政府は電源多様化をエネルギー政策の重要な柱にしている。その中で豊富に賦存する地熱資源を開発することで、地熱発電と水力発電の組み合わせにより安定した電力供給体制を確立し、さらには隣国への電力輸出までを視野に入れた経済成長を達成しようとしている。2010年策定の新五ヵ年開発計画「成長と構造改革計画」では、国の発電設備容量を今後5年間で4倍の8,000~10,000MWに増強する目標である。この内、地熱発電の設備容量目標が70MWとされている中、本プロジェクトは、この開発目標達成のための重要なプロジェクトに位置づけられている。

2.2 ホスト国における状況

2.2.1 国の概況

エチオピアは、アフリカ最古の独立国であり、アフリカのなかでナイジェリアに次いで二番目に多い、9,173万人（2012年世界銀行データベース）の人口を有している。日本の約3倍、109.7万km²の国土面積を有しており、首都アディスアベバは、標高2,324mに位置している。東をソマリア、西を南スーダン、北をエリトリア、北東をジブチ、南をケニア、北西をスーダンに囲まれた東アフリカの内陸国であり、海岸線は無い。北のエリトリアは1991年にエチオピアから分離独立している。

エチオピアの中央部は広大な高原地となっており、東アフリカを南北に走る大地溝帯（The Great Rift Valley）によって、高地は東部ハラール・エリア、西南部アビシニア・エリアに二分される。エチオピアの4,000m級の山岳高地は、アフリカ大陸の屋根を形成する。

エチオピアの気候は、低地部は年間を通し温暖な気候であり、高地部では年中涼しい。高地部の年間降雨量は、地域によって1,500mm-2,500mmに達するが、西南部は多く、東部は相対的に少ない。

エチオピアは、一人当たり国内総生産（GDP）が255\$（2011年、2005年米ドル、世銀DB）であり、世界最貧国の1つである。世銀の定義によると、低所得国とは国民一人当たりのGNIが935米ドル以下の国であり、エチオピアの経済状況は、低所得国の中でも非常に低い水準にあることが分かる。

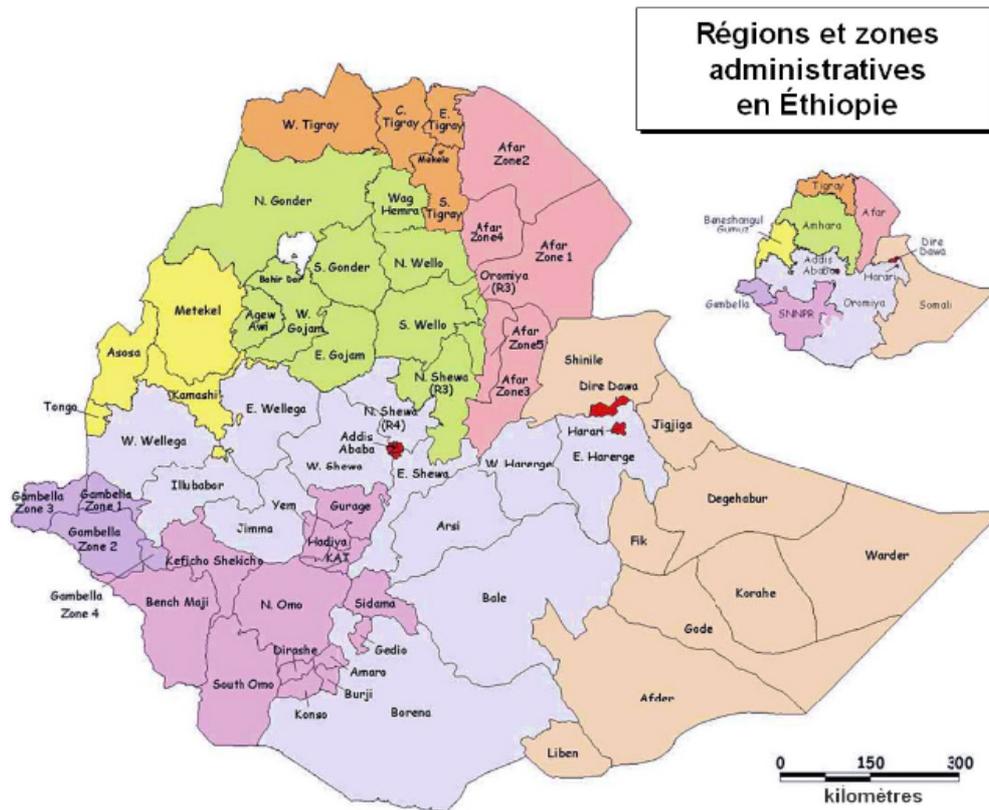
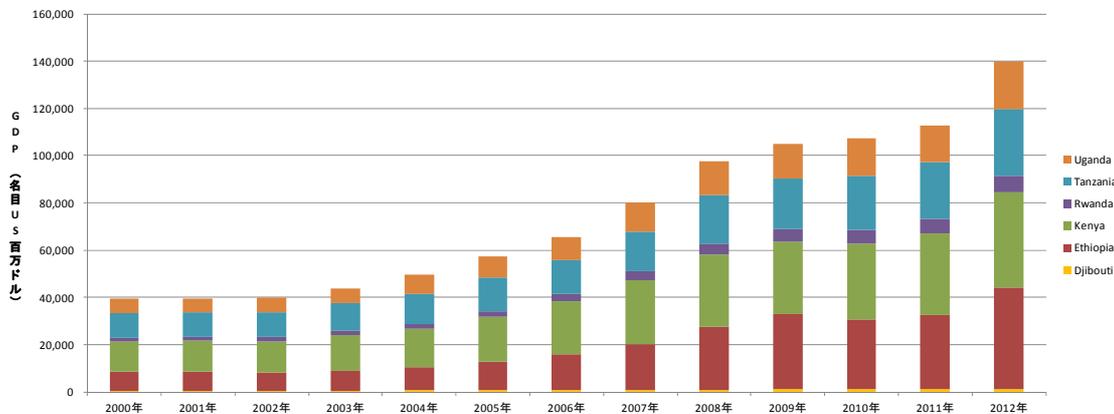


図 2-2 エチオピアの地図

(出所) <http://www.worldmapfinder.com/>
 (c) UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG (作家 : Zheim)

エチオピアでは経済成長が継続し、GDP は 2000 年の 90 億ドル (実質 2005 年米ドル) から、2012 年の 216 億ドル (実質 2005 年米ドル) へと 2.4 倍に増大しており、東アフリカ地域でケニア、タンザニアと並ぶ経済大国である。

しかし、エチオピアは人口が多いため、1 人あたり GDP では、255 米ドル (2011 年、2005 年米ドル、世銀 DB) にすぎず、貧しい東アフリカでも最貧国である。下図の通り、他の東アフリカ諸国と同様に 1 人あたり GDP も増加しつつある。



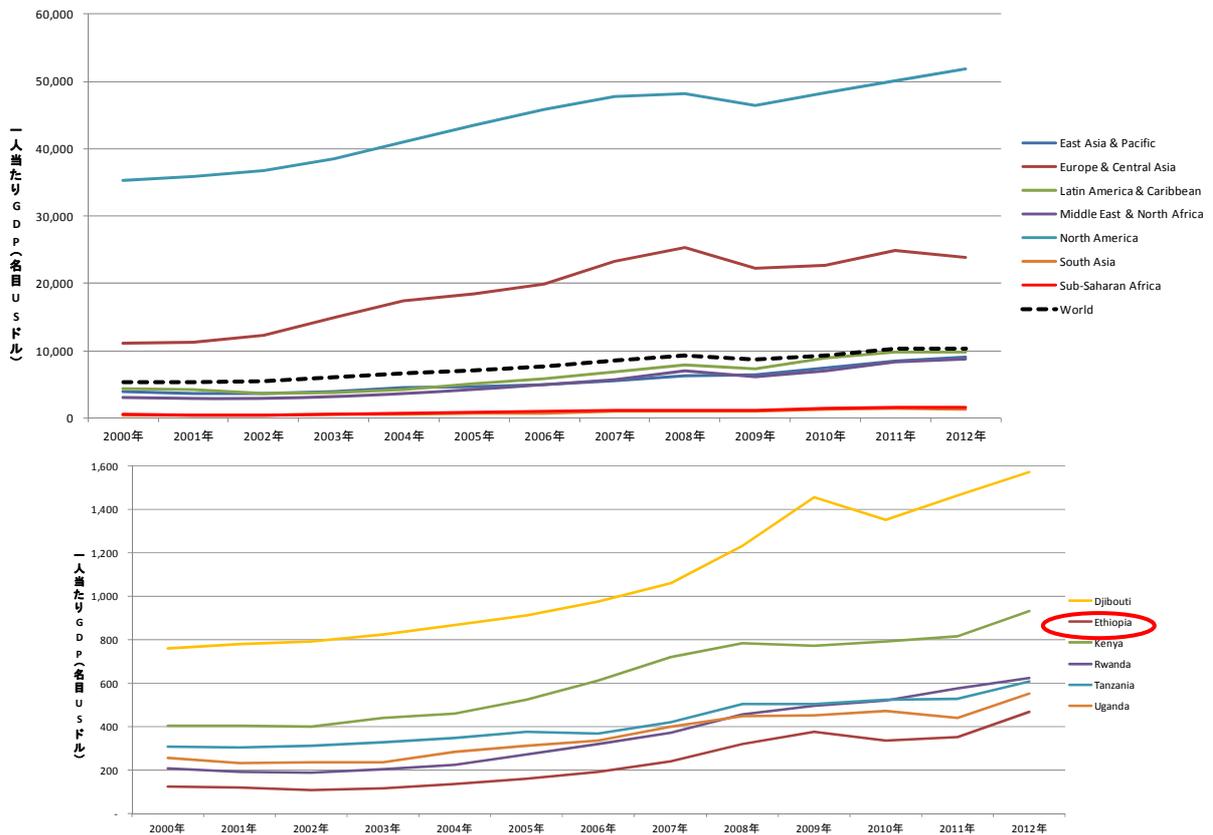
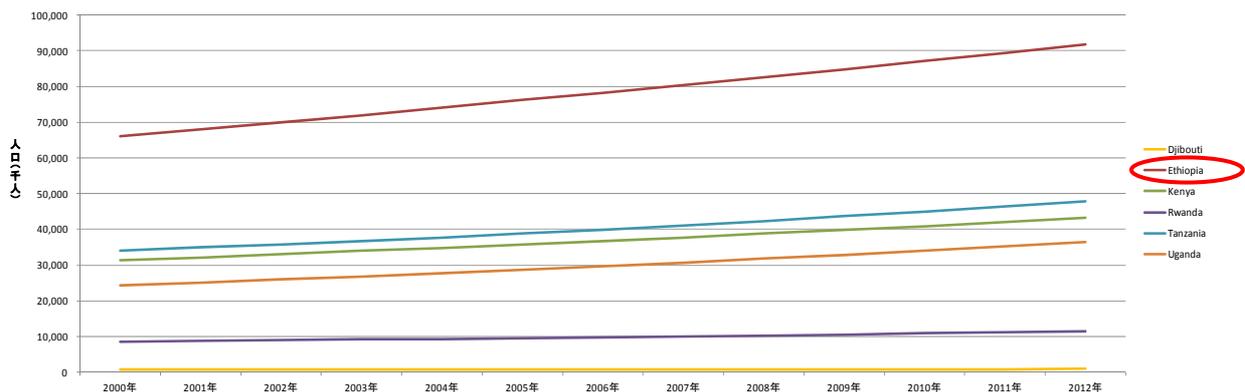


図 2-3 東アフリカ主要国のGDP、一人当たりGDPの推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicators 2014 より作成

東アフリカ地域のなかで、エチオピアの人口は最も多く、2000年の約6,602万人から、2012年の約9,173万人へと約4割増加している。この増加率は東アフリカのなかで、ジブチ以外の国々の平均的なものである(下図参照)。



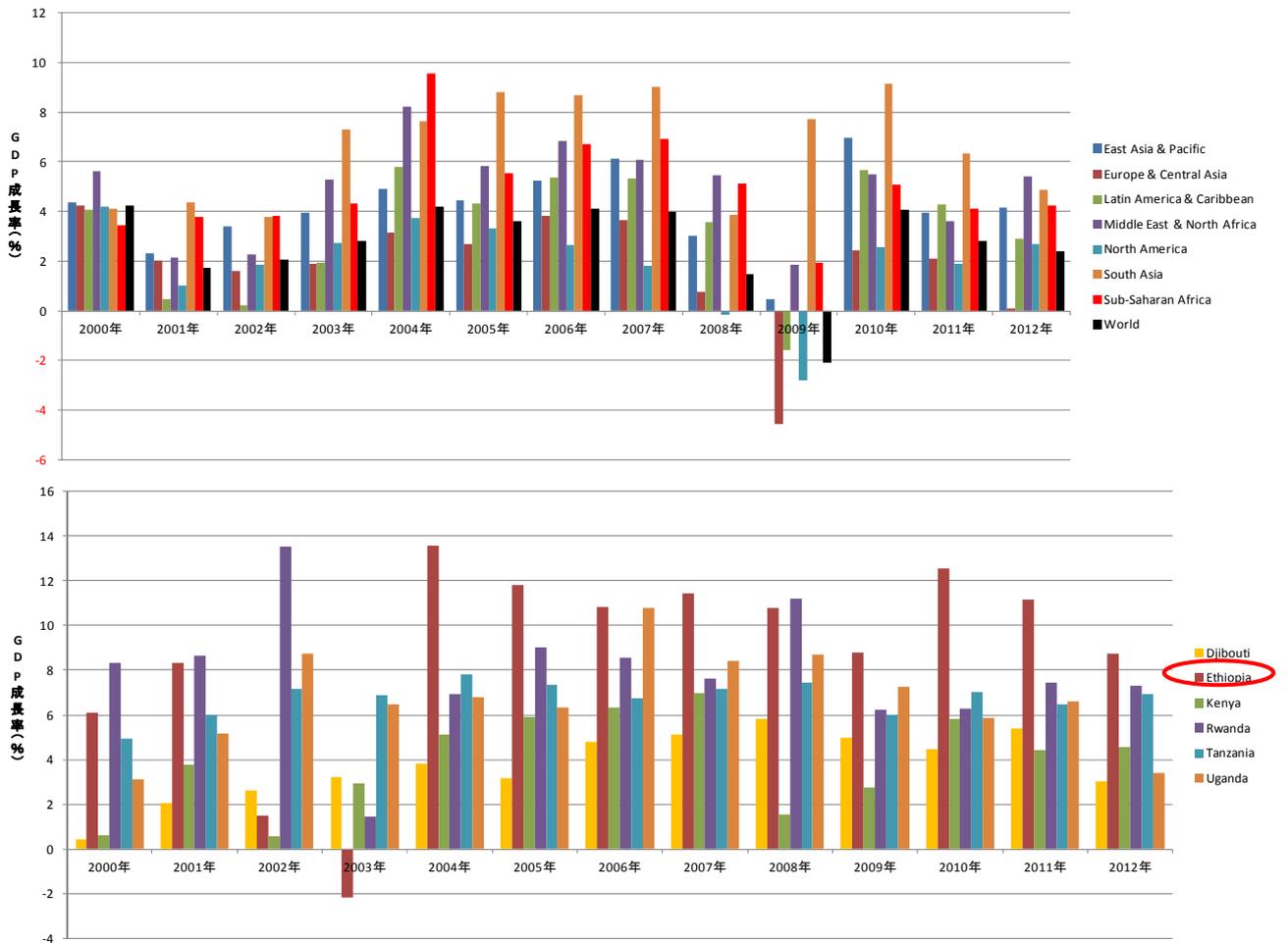


図 2-4 東アフリカ主要国の人口と GDP 成長率の推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicators 2014 より作成

東アフリカ地域の経済は、リーマンショックによってもマイナス成長に陥ることなく、高い資源価格にも支えられて順調に成長してきている。特にエチオピアでは、周辺国より若干大きな GDP 成長を続けている。東アフリカの多くの国々は、1990 年代が政治的により不安定であり、近年、政治の安定度が増してきている（但し、一部の地域を除く）。

経済格差や貧困などの指標値を世界銀行のデータベースでみると、最貧国であるエチオピアが、就業面に問題を有していることが確認できる。他の東アフリカ諸国に比べ、ジニ係数が小さいのは、「国民が格差なく貧しいため」と考えられる。失業率では、ケニアに次いで芳しくなく、東アフリカ地域のなかでもかなり高い（下図参照）。

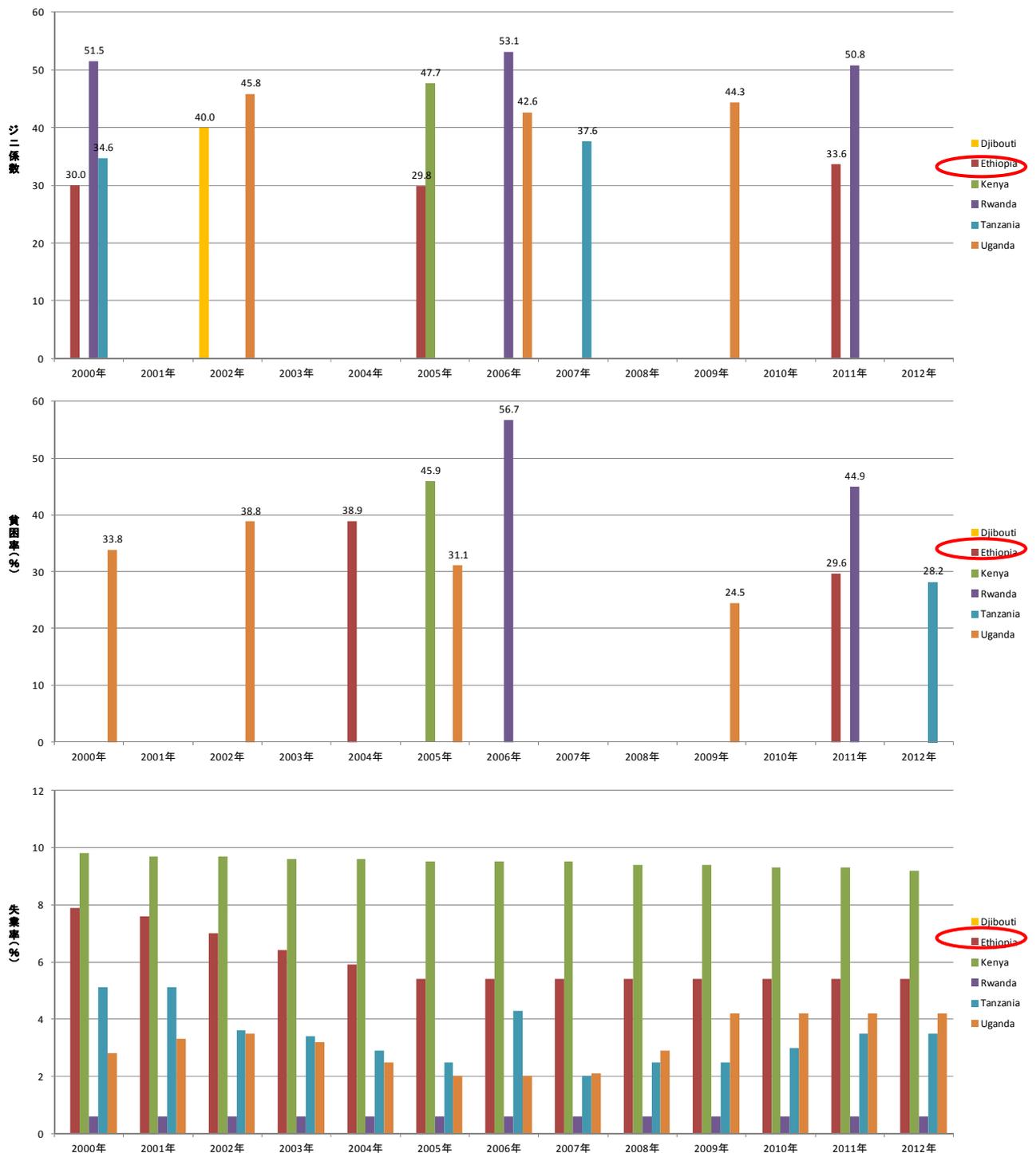


図 2-5 東アフリカ主要国のジニ係数、貧困率、及び失業率の推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicators 2014 より作成

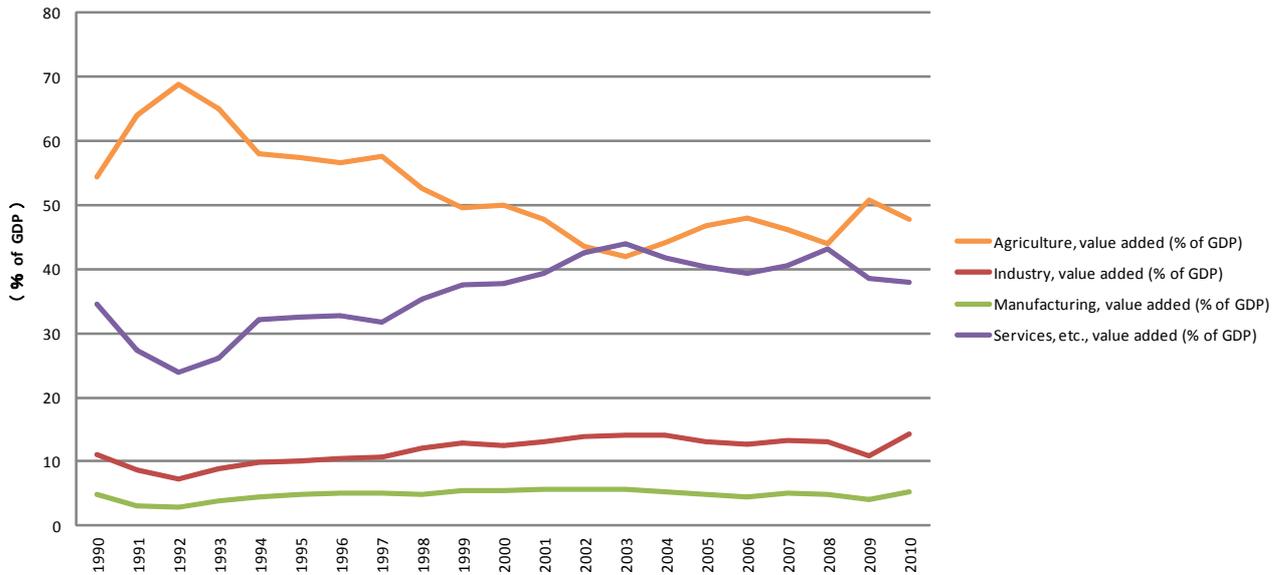


図 2-6 エチオピアの主要産業構成の推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicators 2012、CD-ROM より作成

エチオピアの産業部門の成長をみると、1990年代はサービス業の伸びが大きかった。東アフリカの他の国々と比べると GDP に占める農業の割合が大きく、1990年代を通じて漸減してきた今も 5割程度を占めている。識字率が 3割と周辺国の半分程度であり、貧困の主要因と思われる。また、情報化も周辺国より遅延している。

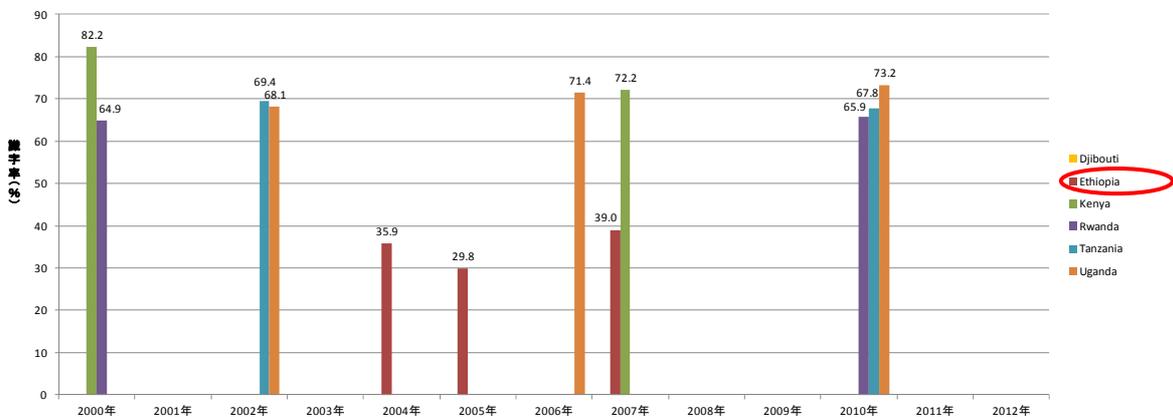


図 2-7 東アフリカ主要国の識字率の推移

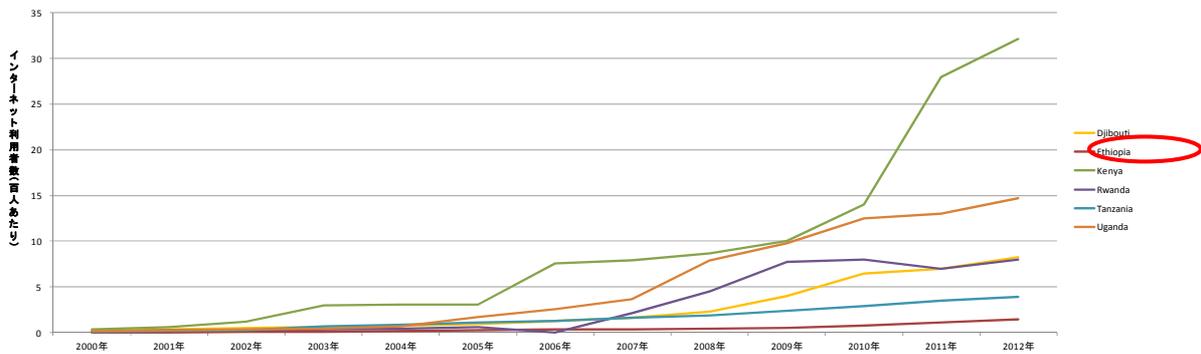


図 2-8 東アフリカ主要国のインターネット利用者数の推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicators 2014 より作成

2.2.2 政治経済状況

2.2.2.1 概況

(1) 内政

1974年に軍事革命により帝政が廃止され、社会主義政権が発足した。社会情勢の混乱が続き、メレス首相らによる反政府運動により、1991年に当時のメンギスツ政権は崩壊した。1995年に第1回国会選挙が行われ、以降5年毎に国会選挙が実施されている。2010年5月に第4回選挙が平穏に実施され、現与党が圧倒的な勝利を収め、メレス首相が再任されるも、2012年8月に同首相が逝去した。その後、同年9月にハイレマリアム（当時副首相兼外相）が首相に就任した。

(2) 外交

アフリカ連合（AU: African Union）や国連アフリカ経済委員会（ECA: Economic Commission for Africa）の本部が置かれるアフリカ地域の外交の一つの中心地であり、「アフリカの角」地域の安定勢力として、ソマリアの安定化やスーダン和平に積極的に関与している。

エリトリアとは、同国が1993年にエチオピアから独立して以降、緊密な関係を維持していたが、1998年5月、国境画定問題を巡って武力闘争が発生した。その後2000年12月、「和平合意」が成立するが、国境画定に係る意見の相違から国境問題は未解決で、国交正常化には至っていない。国内の経済発展、民主化を重視し、新5カ年計画（GTP: Growth and Transformation Plan）達成のため、海外からの技術移転、貿易投資促進に取り組んでいる。

アンゴラなど、急激な経済成長を遂げつつある幾つかのアフリカ諸国はその成長の多くを石油等の天然資源輸出に依存しているが、エチオピアには、こうした資源をほとんど有していないため、GTP目標を達成するには産業発展による成長を遂げていくしかない。

表 2-1 エチオピアの政治経済の概要

国・地域名	エチオピア連邦民主共和国 (Federal Democratic Republic of Ethiopia)	
人口、面積	約 9,173 万人(2013 年:世銀)、	109.7 万平方キロメートル(日本の約 3 倍)
首都	アディスアベバ 人口 338.5 万人 (2008 年)	
言語、宗教	アムハラ語、英語	キリスト教、イスラム教他
民族	オロモ族、アムハラ族、ティグライ族等約 80 の民族	
独立年月日	紀元前 10 世紀ごろに誕生(世界最古の独立国の1つ)	

(政治体制)

政体、議会制度	連邦共和制、	二院制(人民代表議会〔下院〕と連邦議会〔上院〕)
元首	ムラトウ・テシヨメ・ウィルトウ 大統領(Dr. Mulatu Teshome Wirtu) <2013 年 10 月就任、任期 6 年>	

(主要経済指標)

GNI		
実質(GDP)成長率(%)	8.5 %	(2012 年:世銀)
GNI	374 億米ドル (2013 年:世銀)	
一人あたりの GNI	410 米ドル	(2012 年:世銀)
消費者物価指数		
消費者物価上昇率(%)	22.8%	(2012 年:世銀)
貿易		
為替レート(期中平均値、対ドルレート)	ブル(BIRR)、	1 米ドル=約 19 ブル(2014 年 7 月現在)
輸出額	3,109 百万米ドル	
対日輸出額	104.4 億円	(2012)
輸入額	9,498 百万米ドル	
対日輸入額	49.3 億円	(2012)

(出所) 外務省エチオピア情報 (<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/ethiopia/>) より編集加筆

2.2.2.2 新 5 力年計画 (GTP: Growth and Transformation Plan)

旱魃による農業被害や、エリトリアとの国境紛争による難民・避難民の大量発生が経済に打撃を与えるなか、エチオピア政府は 2000 年に「第 2 次国家開発 5 力年計画」を、2005 年に次期 5 力年開発計画として貧困削減計画 (PASDEP: Plan for Accelerated and Sustained Development to End Poverty、2005/06 年~2009/10 年) を策定した。近年は、経済成長が続き、2010/11 年まで 8 年連続二桁の経済成長 (政府発表) を達成している。PASDEP の長期目標は、20-30 年後には低所得国を抜け出し、中所得国 (middle income country) の仲間入りをすることを掲げている。

現在政府は、2010/11-2014/15年の新5カ年開発計画（GTP）を策定し、経済成長と経済改革に重点を置いた取組みを推進中で、5年後の国民総生産倍増等を目標としている。しかし、一人当たりのGNIは410米ドル（2012年世銀）と最貧国水準にとどまっており、慢性的な食料不足に加え、高度経済成長に伴って生じたインフレや、世界金融不安や原油等の国際価格の上昇に伴う影響が顕在化している。政府は通貨切り下げ、主要商品価格のシーリング設定など政府主導型の経済安定化策、外貨準備高の積み増し等を行っている。

2.2.2.3 国際交易状況

エチオピアでは、財・サービスの輸出額・輸入額いずれも2002年頃から大幅な伸びを見せているが、輸入額が輸出額の2倍程度で推移しており、輸入超過国である。さらに、輸入額の伸びが輸出額の伸びよりも大きいことから、輸出入ギャップが次第に大きくなっている。

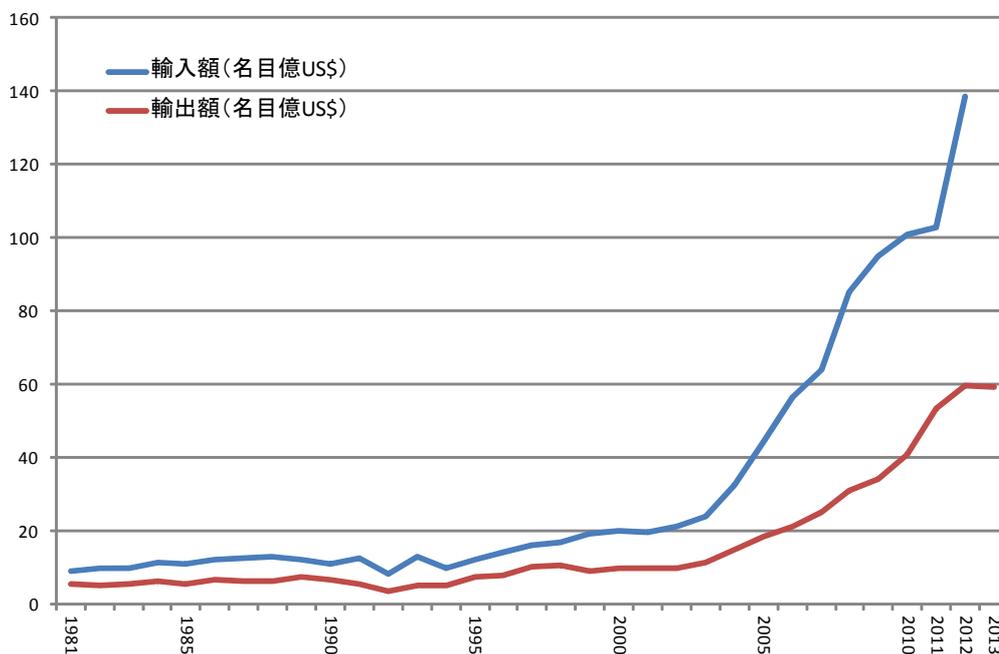


図 2-9 エチオピアの輸入額、輸出額の推移

(出所) 世界銀行、World Development Indicator Database よりダウンロード、作成

「African Economic Outlook」によると、輸出額合計に占める割合は、コーヒー生豆 26%、金 19%、油糧作物 15%、ナッツ類 8%、動物・家畜（生きているもの）7%となっており、これら主要一次産品 6 品目で輸出額全体の約 80%を占める（2011年）。2008-2011年にかけて、これら農産品が輸出額全体に占める割合は減少傾向にあり、約 10%の減少を記録しているものの、その割合は依然として高い。

2.2.3 投資環境

2.2.3.1 金融サービスの概況

エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」の中で、エチオピアの金融サービスは、以下のように紹介されている。

エチオピア国立銀行（NBE）は、エチオピアの中央銀行で、商業銀行の機能は国営のエチオピア商業銀行（CBE）ならびに数行の民間銀行が担っています。CBE や民間商業銀行は普通預金口座や当座預金口座、短期ローン、外国為替取引、電子メール送金およびケーブル送金を取り扱うほか、株式投資、保証の提供などの商業銀行としての事業を行っています。国内で創業している銀行数は、2010年度で 19 行（うち 3 行は国営、その他は民間）に達しましたが、そのなかには、エチオピア開発銀行（DBE）と建設・ビジネス銀行（CBB）も含まれています。エチオピア開発銀行は、32 支店あり、産業および農業プロジェクトをはじめとする実行可能性のある開発事業に対して短期、中期、長期のローンを貸し出しています。建設・ビジネス銀行は、34 支店あり、家屋建築用材を製造する工場、私立学校、診療所、病院の建設や不動産開発のための長期ローンを提供しています。

（出所）エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」

2.2.3.2 輸入関税の概況

「Ethiopia Country Report (BTI 2012)」によると、エチオピアは、政府間開発機構（IGAD: Intergovernmental Authority for Development）、東南部アフリカ市場共同体（COMESA: Common Market for Eastern and Southern Africa）などの地域共同体に加盟しており、COMESA の自由貿易経済協定を除く、すべての地域協定に調印している。また、エチオピアは WTO 加盟を希望しているが、関税率等の保護水準を引下げる必要があり、国内産業保護に関わる課題が多い。さらに、EU とも経済協力協定に関して交渉を行っているが、暫定的合意にも至っていない。

表 2-2 エチオピアにおける製品グループ別の輸入関税

Product groups	Final bound duties				MFN applied duties			Imports	
	AVG	Duty-free in %	Max	Binding in %	AVG	Duty-free in %	Max	Share in %	Duty-free in %
Fish & fish products					21.0	0	30	0.0	0
Minerals & metals					13.4	4.2	35	16.0	21.5
Petroleum					7.3	16.7	10	16.7	98.8
Chemicals					10.9	0.8	35	8.9	1.3
Wood, paper, etc.					12.1	19.7	35	3.0	5.4
Textiles					27.8	1.2	35	2.7	6.2
Clothing					35.0	0	35	1.4	0
Leather, footwear, etc.					18.6	14.2	35	2.3	2.0
Non-electrical machinery					8.1	6.6	30	12.8	9.9
Electrical machinery					17.4	4.7	30	6.7	5.5
Transport equipment					11.4	35.7	35	11.4	11.6
Manufactures, n.e.s.					21.9	2.9	35	2.8	2.0

注) MFN (Most Favored Nation) : 最恵国

(出所) WTO、World Tariff Profiles 2013 より抜粋

エチオピアへの輸入に関しては、各品目に対して最小 0%～最大 35%の関税を課している。以前は 30 段階以上の輸入関税率が定められていたが、現在は簡素化されている。関税割当などの数量規制は特に存在しない。しかしながら、エチオピア中央銀行による厳しい外貨為替管理体制が、事実上輸入の阻害要因となっている。また、現在、輸出に関しては、特に制約となる要件は存在しない。

2.2.3.3 税制の概況

エチオピア税法では、直接税および間接税の課税が定められている。直接税は 5 カテゴリーに分類され、個人所得税、賃貸税、源泉徴収税、営業利益税、その他の課税がある。適用される主な間

接税には、VAT、関税、消費税、取引高税がある。以下、エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」から引用する。

(1) 直接税

「所得税に関する布告 No. 286/2002（第 6 条）」に基づいて課せられる所得税には、給与、事業活動、個人事業、非居住者による企業活動、動産、不動産、譲渡財産、国内企業からの分配金、登録パートナーシップからの利益分配、国、州政府、地方政府から支払われる利息、ライセンス料などがある。現在適用されている個人所得税率は、下表の通りである。

表 2-3 エチオピアの個人所得税率

No.	月額給与所得（単位：BIRR ブル）		税率（%）
	〇〇〇超	〇〇〇以下	
1	0	150	免除
2	151	650	10
3	651	1,400	15
4	1,401	2,350	20
5	2,351	3,550	25
6	3,551	5,000	30
7	5,000	—	35

（原典）エチオピア「所得税に関する布告 No. 286/2002（第 6 条）」

（出所）エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」

企業の営業所得には、30%が課税され、営業所得が 1,801～60,000 ブルの場合は 10～30%、60,000 ブルを超える場合は 35%が事業主に課税される。

表 2-4 エチオピアの課税対象営業所得税率

No.	課税対象営業所得（単位：BIRR ブル）		税率（%）
	〇〇〇超	〇〇〇以下	
1	0	1,800	免除
2	1,801	7,800	10
3	7,801	16,800	15
4	16,801	28,200	20
5	28,201	42,600	25
6	42,601	60,000	30
7	60,000	—	35

（原典）エチオピア「所得税に関する布告 No. 286/2002（第 6 条）」

（出所）エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」

資本利得税は、所得税に関する布告 No. 286/2002（第 37 条）に基づき、事業目的の建物、工場、事務所の売却によって得た利益に対しては 15%、企業の保有株の場合は 30%が課税される。継続的、断続的にかかわらず、12 か月間のうち 183 日を越えてエチオピアに居住する個人の外国人は、全課税対象期間にわたって居住しているとみなされ、所得税に関する布告 No. 286/2002（第 5 条 2 項）の規定に基づいて課税されることになる。

但し、所得税に関する布告 No. 286/2002（第 13 条）規則 No. 78/2002 によって免除になる療養、交通手当、危険手当、旅費払戻金などの事項が幾つか存在する。

その他直接税には、ロイヤリティ（5%）、エチオピア国外業務収入（10%）、賭博収入（15%）、配当金（10%）、不動産貸付収入（15%）、利息（5%）などのほか、所得税に関する布告第 31～36 条に基づき課税されるものがある。

(2) 間接税

2002 年 7 月 4 日から施行された付加価値税（VAT）制度は、売上税や源泉徴収税をはじめ、第一次産品とサービスに対する税制度を一新するものである。VAT の税率は、登録者が行った課税対象となる取引額と免税対象以外の全ての輸入品及びサービス額の 15%となっている。免税となる取引には、規則で定められた範囲の輸入品及びサービスがあり、輸送サービス、商品や乗客の国際輸送に直接関連するサービス、国際便就航中に消費することを目的として航空機に積み込まれる潤滑油をはじめとする消耗補給品などが含まれる。

物品税は、アルコール類、たばこ、塩、燃料、テレビ、自動車、カーペット、おもちゃなど、国内品、輸入品に関わらず、様々な消費財に課税されており、税率は、受信機、衣料品や織物の 10%から香水、排気量 1,800cc 以上の車両、アルコール飲料の 100%まで様々であり、付加価値税に追加されて課税される。

総額 50 万ブル未満の取引高税は、国内で売却された商品または提供されたサービスの年間課税対象取引の 2～10%を支払うもの。雇用、営業活動を問わず、全ての給与、利益、利得として得られた収入は、支払い主が国内、海外には関係なく課税対象となる。減価償却費については、資産は等級別に分類され、減価償却費の分類と課税率は次の通りである。

- 建物および構造物 5%
- 無形資産 10%
- コンピューター、情報システム、ソフトウェア製品、データ保存用機械 25%
- 自動車、バス、ミニバスを含むその他の事業用資産 20%

すべての投資家は納税の義務があり、TIN と呼ばれる納税者識別番号を取得する必要がある。課税対象となる活動を行う投資家は、VAT への登録も義務付けられている。

(3) 資優遇措置

連邦政府内閣規則 No. 270/2012 では、投資優遇措置の対象となっている分野が既定されている。

（関税の免除）

民間投資を活性化させ、エチオピアに海外の資本および技術の流入を促すために製造、農業、畜産業、発電、送電、供給、情報通信技術開発、ホテルおよび観光業、建設請負、教育および研修、ホテルサービス、建築及び土木事業、技術検査および分析、資本のリース、LPG 及びビチューウーメンの輸入といった部門で優遇対象となる新規事業、または拡大事業に取り組んでいる投資家（国内、海外を問わず）には関税が免除されている（次頁表）。

すべての工場、機械装置、建設材料といった資本財について、輸入品に課税される関税及びその他の税の支払いが 100%免除される。

輸入された資本財が関税免除対象品である場合、その資本財の総額 15%以下に相当する額の交換部品が関税の支払いを免除される。

関税免除の対象となった投資家は、事業開始日から 5 年間、交換部品が免税で輸入できる。

免税優遇の対象となった投資家が、エチオピア国内の製造業者から資本財または、建築材を購入した場合、商品の製造に必要な材料として使用する原料または部品について徴収された関税が返金される。

輸入品に課税される関税およびその他の税を支払うことなく輸入された投資資本財は、他の投資家に譲渡される場合でも同様の優遇措置を受けることができる。

表 2-5 関税が免除となる投資分野

以下の投資分野は、資本財及び建築材が関税免除対象となっている。

1	製造業
	1. 食品産業 2. 飲料産業 3. 織物・織物製品産業 4. 原皮・皮革製品産業 5. 木製品産業 6. 紙・紙製品産業 7. 化学薬品・化学製品産業 8. 基礎薬品産業・薬剤産業 9. 天然ゴム・プラスチック製品産業 10. その他の非金属・鉱産物工業 11. 卑金属工業（鉱物採掘を除く） 12. 金属製品工業（機械および設備を除く） 13. コンピューター・電子工学および光学製品工業 14. 電気製品産業 15. 機械器具工業 16. 車両・トレーラー・セミトレーラー産業 17. 事務所用・家庭用調度品の製造 18. その他の設備の製造 19. 農業に関連した統合生産
2	農業
	1. 作物の生産 2. 家畜の生産 3. 混合農業（家畜と作物） 4. 林業
3	情報通信技術（ICT）
4	発電、送電、および電力の供給
5	ホテルおよび観光業
	1. 星付きホテルおよびリゾート、モーテル、ロッジ、レストラン 2. 第1等級のツアー運営 3. 第1等級未満のツアー運営
6	建設請負業
	1. 第1等級の建設、井戸および鉱物の探査、掘削の請負 2. 第1等級未満の建設、井戸および鉱物の探査、掘削の請負
7	教育および研修
	1. 独自の建物を建設し幼稚園、初等および中等教育を行うこと 2. 独自のビルを建設して中等および高等教育を行うこと 3. 技術研修および職業訓練サービス（スポーツを含む）
8	医療サービス
	1. 独自の建物を建設して診療サービスを行うこと 2. 独自の建物を建設して病院サービスを行うこと 3. 独自の建物を建設して病院サービスを行うこと
9	建築および土木作業およびそれに関連する技術的サービス、技術検査および分析
10	資本財のリース（動力車のリースは除く）
11	輸入業
	1. LPGおよびビチューメンの輸入

（出所）エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」、別紙Ⅲ。

（所得税の免除）

投資家が新規に製造業、農産物加工業、農産物製造業、発電および電気の供給、情報通信技術の開発（次頁表）を起こす場合、

新たな企業を設立する場合は、次頁表にあるとおり、所得税が免除される。

投資家が次の場所で新たに企業を設立する場合、

1) ガンベラ 2) ベニシャルグル・グムズ 3) アファール（但し、アワッシュ川両岸から 15km 以内を除く）

4) ソマリ 5) グジ及びボラナゾーン（オロミア州） 6) 南オモゾーン、セゲン地域（デラシエ、アマロ、コンソ、ブルジ）民族ゾーン、ベンチマジゾーン、シュカゾーン、ダワロゾーン、カッファゾーン、コンタ及びバスケット特別郡（南部諸民族州）

次頁表にある所得税免除期間の満了後、3年間連続して所得税 30%が免除される。

投資家が達成可能な生産能力やサービス能力を 50%以上向上させて、既存の企業の規模を拡大または展開する場合、または、新しい品目の製品やサービスを既存の企業のものより 100%以上導入する場合、下表にある期間、所得税が免除される。

投資家が製品やサービスの 60%を輸出する場合、または、輸出業者に供給する場合、所得税免除期間がさらに 2 年間延長される。

表 2-6 所得税が免除となる投資分野

以下の投資分野は、所得税の免除対象となっている。

	投資分野	アディスアベバおよび アディスアベバ周辺 オロミア特別区	その他の地域
1	製造業		
	1. 食品産業	1年間から5年間まで	2年間から6年間まで
	2. 飲料産業	1年間から3年間まで	2年間から4年間まで
	3. 織物・織物製品産業	2年間から5年間まで	3年間から6年間まで
	4. 皮革・皮革製品産業（仕上げ段階以前の皮革のなめしを除く）	5年間	6年間
	5. 木製品産業	2年間	3年間
	6. 紙・紙製品産業	1年間から5年間まで	2年間から6年間まで
	7. 化学薬品・化学製品産業	2年間から5年間まで	3年間から6年間まで
	8. 基礎薬品産業・薬剤産業	4年間または5年間	5年間または6年間
	9. 天然ゴム・プラスチック製品産業	1年間から4年間まで	2年間から5年間まで
	10. その他の非金属・鉱産物工業（アディスアベバおよびアディスアベバ周辺でのセメント製造、および、アディスアベバならびにその他の地域での粘土およびセメント製品の製造を除く）	1年間から4年間まで	2年間から5年間まで
	11. 卑金属工業（鉱物採掘を除く）	3年間から5年間まで	4年間から6年間まで
	12. 金属製品工業（機械および設備を除く）	1年間または3年間	2年間または4年間
	13. コンピューター・電子工学および光学製品工業	2年間から4年間まで	3年間から5年間まで
	14. 電気製品産業	2年間または4年間	4年間または5年間
	15. 機械器具工業	5年間	6年間
	16. 車両・トレーラー・セミトレーラー産業	2年間から5年間まで	3年間から6年間まで
	17. 事務用家庭用調度品製造業（陶磁器製品の製造を除く）	1年間	2年間
	18. その他の器具製造業（宝石および関連商品、楽器、スポーツ用品、ゲーム・玩具およびその他類似品）	1年間	2年間
	19. 農業に関連した統合生産	4年間	5年間
2	農業		
	1. 作物の生産（アディスアベバおよびアディスアベバ周辺での繊維作物、中期の香辛料、香料作物または薬用作物、多年生果実、飲料用作物、その他の多年生作物の生育を除く）	2年間または3年間	3年間から6年間まで
	2. 家畜の生産（野生動物の飼育、アディスアベバおよびアディスアベバ周辺での牛乳、鶏卵、およびそれに類似した製品の生産を除く）	2年間または3年間	3年間または4年間
	3. 混合農業（家畜と作物）	3年間	4年間
	4. 林業	8年間	9年間
3	情報通信技術	4年間	5年間
4	発電、送電、および電力の供給	4年間	5年間

（出所）エチオピア投資庁「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」、別紙Ⅳ。

（税制上以外の優遇措置）

税制上以外では、輸出品を生産するために投資を行うすべての輸出事業者は、投資事業に必要な機械や装置をサプライヤーズクレジットで輸入できる優遇措置が取られている。

（欠損金の繰越）

所得税の免除期間に欠損金が生じた企業は、免税期間終了後に免税期間の2分の1の期間、欠損金を繰り越すことが認められている。欠損金を繰り越す期間を計算するうえで、半年間が所得税の課税期間であるとみなされる。所得税免税期間に生じた欠損金は、所得税課税期間を5回超えて繰り返すことはできない。

【輸出に関する優遇措置】**（税制上の優遇措置）**

すべての輸出業者を対象とする税制上の優遇措置は以下の通り。

少数の例外を除き（例：半加工の皮革—150%）エチオピアからの輸出品には輸出税は課金されない。

- 関税払戻しスキーム：投資家は、輸入品ならびに輸出品の生産に使用するエチオピア国内で購入した原材料に課税される関税及びその他の税の支払いを免除される。関税及びその他の税は、完成品の輸出後100%払戻される。
- バウチャースキーム：バウチャーとは、金銭的価値をもった印刷物で、原材料の輸入に課税される関税及びその他の税の代わりとして使用され、輸出業者もバウチャースキームの受益者になっている。
- 保税工場スキーム：バウチャースキームの対象ではないが、保税品の許可を取得している生産者は、原料を免税で輸入するのにあたって、保税工場を運営することが認められている。

（税制上以外の優遇措置）

すべての輸出業者を対象とする税制上以外の優遇措置は以下の通り。

輸出業者は、将来の企業経営に備えて、輸出で得た外貨の20%以内を銀行口座に保持し、預金することが認められており、エチオピア国営銀行の輸出価格規制の対象とならない。

輸出加工に携わる企業は、フランコ・ヴァルータ方式による原料輸入が認められる。

現在、取引先が債務不履行に陥った場合に輸出業者が海外に発送した賞品代金を確実に受け取ることができるようにする輸出信用保証制度が施行されており、輸出事業者はこれを利用できる。

【資金の送金】

海外投資家は、次のような方法で交換可能な外貨をエチオピアから送金する権利が与えられている。

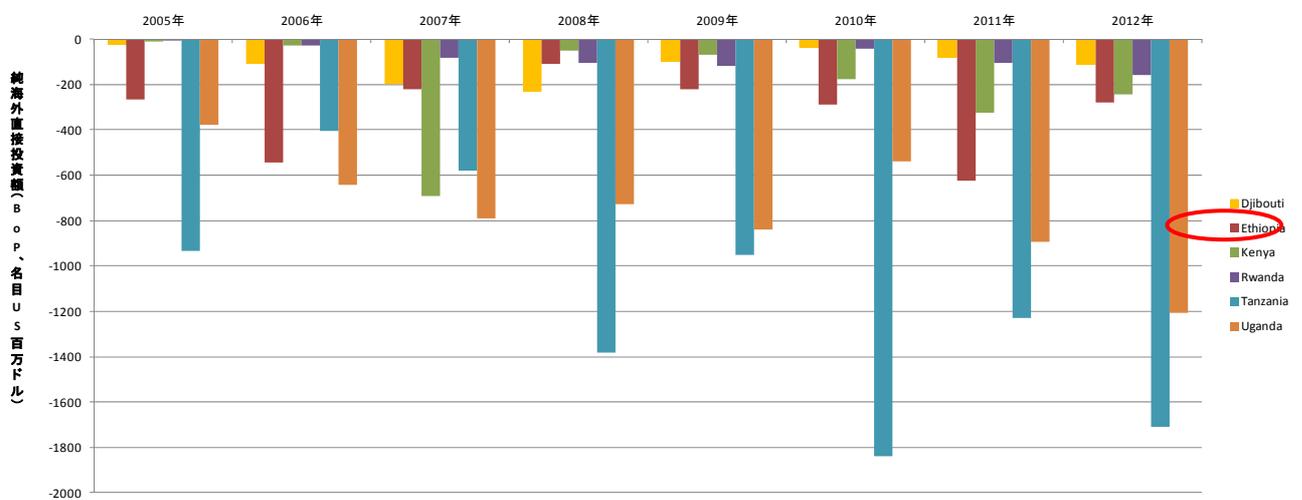
- 利益と配当
- 外債の元利金の支払い
- 技術移転契約に関連した支払い
- 業務提携契約に関連した支払い
- 企業の売却または清算による代金

2.2.4 最近の直接投資状況

世界標準に比較するとエチオピアの投資リスクは大きいですが、良好な気候と汚職が比較的少ないエチオピアは、最貧国の中では投資環境が優れている面もある。政府が進めてきた市場経済を目指す取組みが実り、リーマンショック以前の2006年には海外投融資額が545百万ドルまで増大していた（下図参照）。

エチオピアは、農業開発主導産業化計画（ADLI: Agricultural Development Led Industrialization）を成長戦略として掲げ、農業の産業化や農産物に付加価値を付けたうえでの輸出を奨励している。

しかしながら、日本企業がエチオピアで食品輸出や、現地で事業展開をしているのは皆無と言える。日本企業の進出を阻む要因として、経済原理に則った市場選択、現地法制度の問題、そして企業の設備・人材面のキャパシティ不足などがあげられる。



注）マイナスは入超であり、海外から直接投資を受けることが、より多いことを示す。

図 2-10 東アフリカ主要国の海外純直接投資額の推移

（出所）世界銀行、World Development Indicators 2014 より作成

世界銀行のデータベースを用いて、東アフリカ主要国の純海外直接投資額の推移を比較すると、エチオピアにおいては2008年に最も低調になっていたが、2011年に向けて投資の戻りが認められる。また、2008年以降のエチオピアの海外直接投資状況は、ケニアへの海外直接投資との関連性が認められる。東アフリカ地域のなかでは、人口の少ないタンザニアやウガンダへの投資が、エチオピアより、かなり大きいことがわかる。

近年のインフレ、政治不安、内陸国であるための高輸送費は、投資を行ううえでエチオピアが直面する課題となっている。

2.2.5 エネルギー消費、CO₂ 排出、発電の概況

ここでは、IEAのデータベースを用い、エチオピアのエネルギー消費、CO₂ 排出、電力セクタの概況をマクロに分析する。エチオピア一国全体の規模感や最近の変動傾向を把握するために、必要に応じ、日本の値と比較する。

表 2-7 エチオピアにおけるエネルギー、CO₂関連指標の推移

Ethiopia	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Japan/Ethiopia 2011
CO2 Sectoral Approach (Mt of CO2)	2.21	2.38	3.22	4.48	4.78	5.36	5.73	5.8	5.46	5.86	202.4
Total primary energy supply (Mtoe)	19.77	21.92	25.24	28.93	29.71	30.54	31.48	32.38	33.25	34.06	13.5
GDP (billion 2005 US dollars)	6.85	7.2	8.99	12.29	13.62	15.18	16.81	18.29	20.11	21.58	214.2
Population (millions)	51.49	57.04	65.58	74.26	75.99	77.72	79.45	81.19	82.95	84.73	1.5
CO2 / TPES (tCO2 per TJ)	2.67	2.59	3.05	3.7	3.85	4.19	4.35	4.28	3.93	4.11	14.9
CO2 / GDP (kgCO2 per 2005 US dollar)	0.32	0.33	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.32	0.27	0.27	1.0
CO2 / Population (tCO2 per capita)	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	132.6
CO2 emissions index	100	108	146	203	217	242	259	262	247	265	-
Population index	100	111	127	144	148	151	154	158	161	165	-
GDP per population index	100	95	103	124	135	147	159	169	182	191	-
Energy intensity index - TPES/GDP	100	106	97	82	76	70	65	61	57	55	-
Carbon intensity index: ESCII - CO2/TPES	100	97	114	138	144	157	163	160	147	154	-
1人当たりGDP (2005 US dollars/人)	133	126	137	165	179	195	212	225	242	255	142.0
1人当たりTPES (KTOE/百万人)	384	384	385	390	391	393	396	399	401	402	9.0

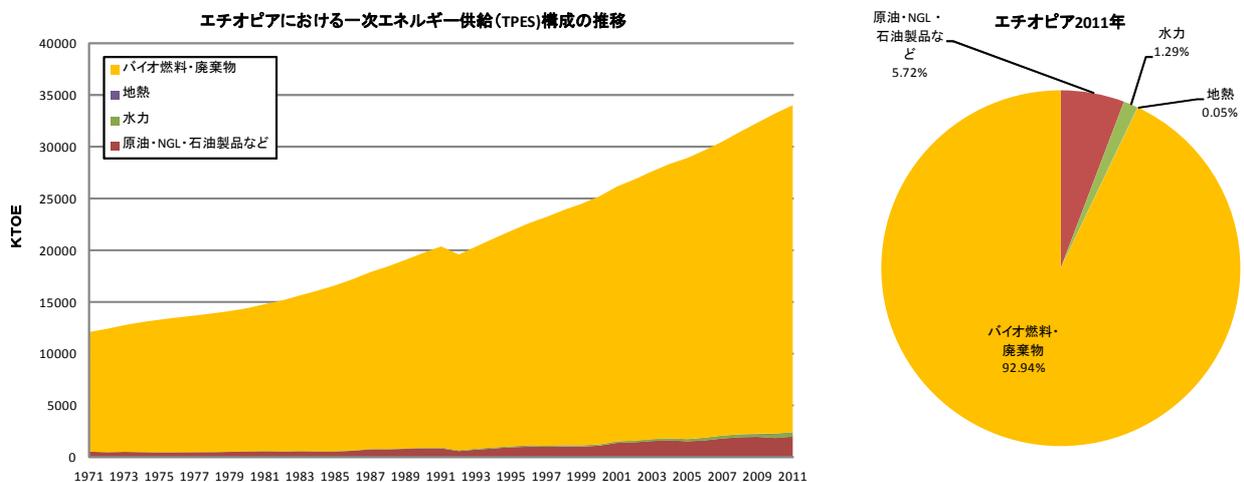
(出所) IEA、CO₂ Emissions From Fuel Combustion 2013 Edition より作成

図 2-11 エチオピアのエネルギーミックスの推移

(出所) IEA、Energy Balances NON-OECD Countries 2013 Edition より作成

エチオピアの一次エネルギー供給内訳をみると、木炭、薪や枯草などのバイオマス利用が多く、2011年で約9割を占めている。水力と地熱を合わせ、95%近くが再生可能エネルギーで賄われている。化石燃料利用は、石油系を中心に約6%、石炭類の利用は少ない。

1990年からの20年余りで、エチオピアの人口は約1.7倍、GDPは約3.2倍、エネルギー供給も約1.7倍になっており、国の発展に応じ、エネルギー供給も増えてきている。これに対しCO₂が2.7倍になっているのは、石油系燃料利用が増えているためである。1人当たりGDPは、約20年で倍増近くしているが、最貧国から脱出できてはいない。エネルギー強度(TPES/GDP)は、45%減少し、炭素集約度(CO₂/TPES)は、化石燃料利用増により54%増えている。

2011年におけるエチオピアと日本の指標値を比べると、日本の人口はエチオピアの約1.5倍、GDPは約214倍、エネルギー供給は13.5倍、CO₂排出は約200倍、炭素集約度(CO₂/TPES)は約15倍、炭素強度(CO₂/GDP)は1.0倍、1人あたりCO₂排出量は133倍であった。もちろん、国の発展段階が異なり、特に経済規模の差異が大きいのだが、エチオピアにおけるバイオマス・エネルギーの高い利用割合によって、指標値間の差異や関係を解釈することができる。

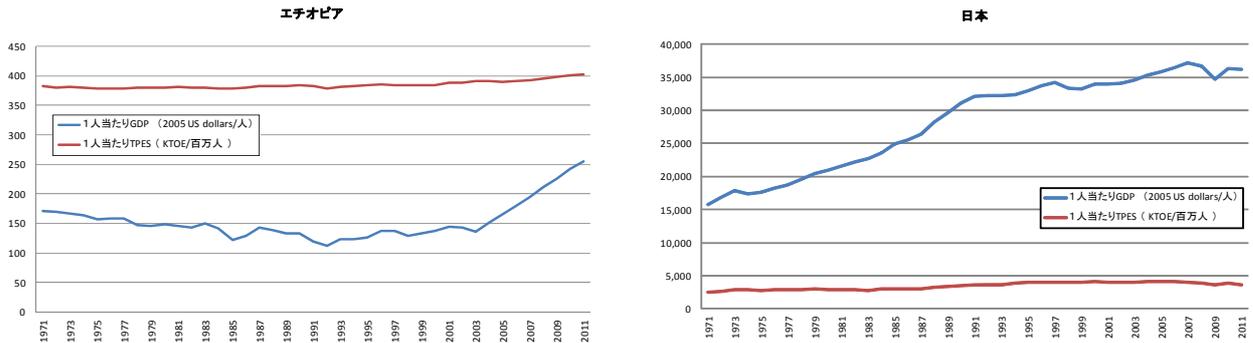


図 2-12 エチオピアと日本の 1 人当たり GDP、一次エネルギー供給量の推移

(出所) IEA、CO₂ Emissions From Fuel Combustion 2013 Edition より作成

1 人当たり GDP と 1 人当たりエネルギー供給量 (TPES) の推移の関係を比較すると、日本では、経済とエネルギー供給 (需要) のデカップリングが達成されているのに対し、エチオピアでは、未だエネルギー供給以前の問題で経済が伸びている (エネルギーと経済のカップリング以前の段階にある) ことを推察できる。

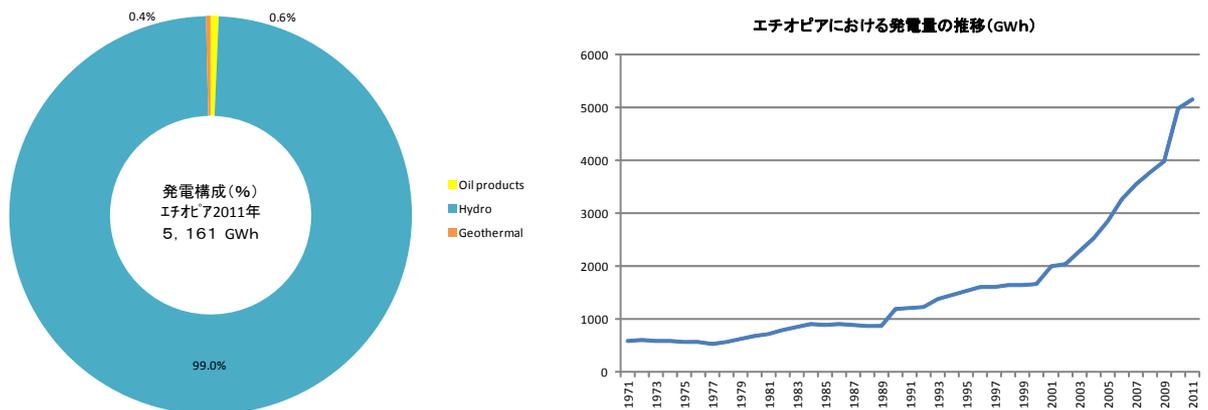


図 2-13 エチオピアの発電構成と発電量の推移

(出所) IEA、Energy Balances NON-OECD Countries 2013 Edition より作成

エチオピアにおける 2011 年の総発電量は、5,161 GWh であり、ここ 20 年間でおよそ 5 倍に増加してきている。2011 年の発電のエネルギー構成をみると、水力が 99%、火力が 0.6%、地熱が 0.4% となっている。

TPES の約 9 割を占めるバイオマスは、今のところ発電にはほとんど用いられていない。再生可能エネルギーによる発電の大部分を占める水力エネルギーは、比較的古くから利用が行われている。近年、地熱エネルギーの新たな開発が進んできている (後述)。

エチオピアのTPESに占める水力、地熱の割合

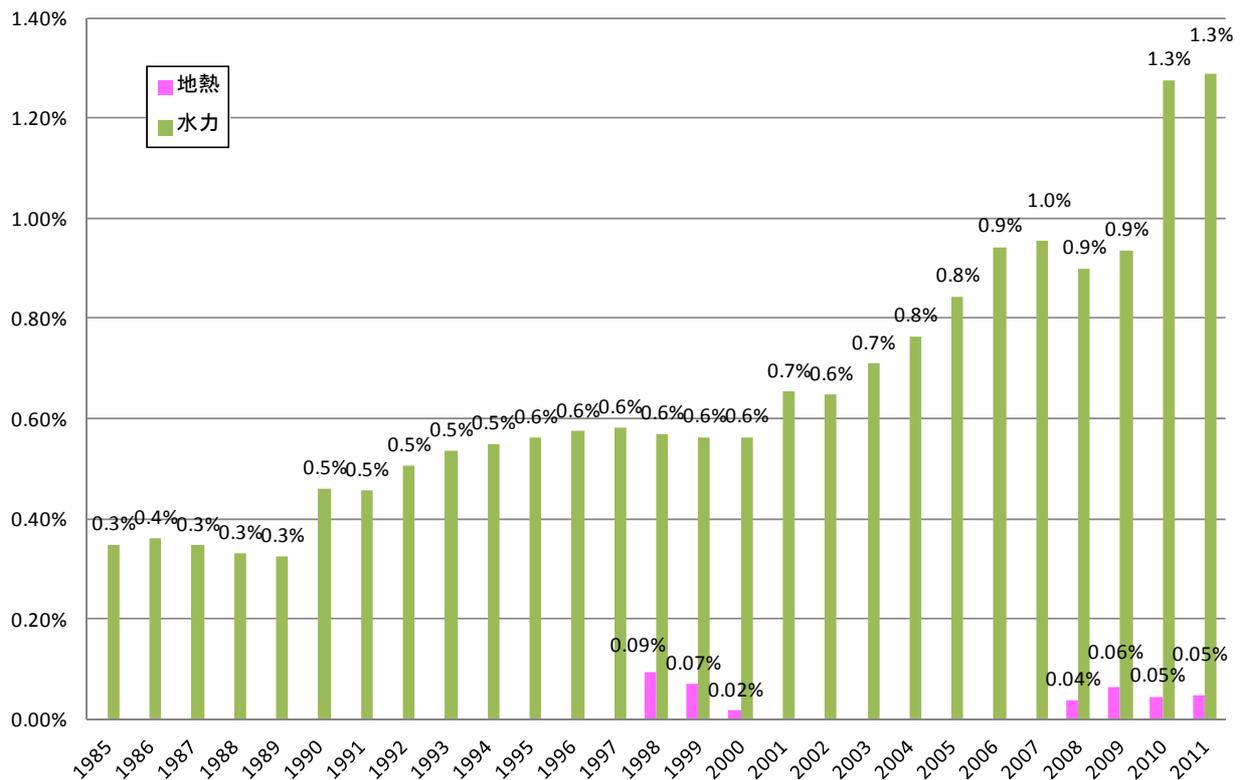


図 2-14 エチオピアの TPES に占める水力、地熱の割合の推移

(出所) IEA、Energy Balances NON-OECD Countries 2013 Edition より作成

2.2.6 電力セクタ及び地熱開発の概況

2.2.6.1 電力セクタの概況（組織・総制度、発電・送電・配電、電力需給見通し、電源計画）

国内系統・独立系統の2009/2010年の電力の総販売量は、3894GWhであるが、この内98%が国内系統である。消費量では家庭消費が38%、産業消費が37%を占める。

国民一人当たりの電力消費量は60kWh/y (IEA、2012年)に留まっている。これはエネルギー利用の大半が薪や動物の糞といった伝統的燃料由来であること、配電網が未整備であることによる。一方で、国の経済発展と一人当たりの収入の向上により、電力消費が大幅に伸びる余地があることが分かる。

システムロス率は23%と高い。2009/2010年の発電量は4976.5GWh、ピーク容量は913.93MWである。2008～2011年にかけては、発電・送電双方の容量不足が問題となっていたが、その後Tekeze水力発電所(300MW)、Beles水力発電所(460MW)の運開により状況は改善した。

今後の需給予測は下図のとおりである。需要は、2010年の4TWhから年率14%で延び、2030年には70TWhに増加する。これは2020年に国の電化率を100%（戸別ではなくエリアレベルで）とし、2022年に中所得国となり、電力消費量の高い産業が年率16%という高い成長率を遂げることを前提としている。一方で、省エネ対策が取られることにより、家庭用の電力消費は30%省エネを達成、2030年の需要予想は今日の約10倍の50TWhと見積もられている。一方、供給側は、2010年の7TWh

から 2030 年には 80TWh に増加すると考えられている。

EEPCO (現 EEP) のマスタープランによれば、現在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、EEPCO 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 (化学肥料プラントにおける石炭を用いたコジェネ設備 450MW による排出は、各産業分野でカウントされており、電力分野ではカウントされていない。)。

一方、オフグリッド地域では、電力分野の排出は、農村部の家庭の化石燃料利用の発電のみカウントされている (商業発電は産業・農業セクタ、都市部の発電による排出は Green Cities セクタ、農村都市部の薪燃料による発電は森林セクタでカウントされている)。

EEPCO によるディーゼル発電は 2010 年には 1TWh、2014 年以降はゼロとなることが想定されているが、オフグリッド地域の農村部の家庭の化石燃料による発電は、人口増加による電力需要増が一部農村電化と系統接続により相殺されるものの、全体的には 7.8TWh から 9.8TWh に増加すると見積もられている。

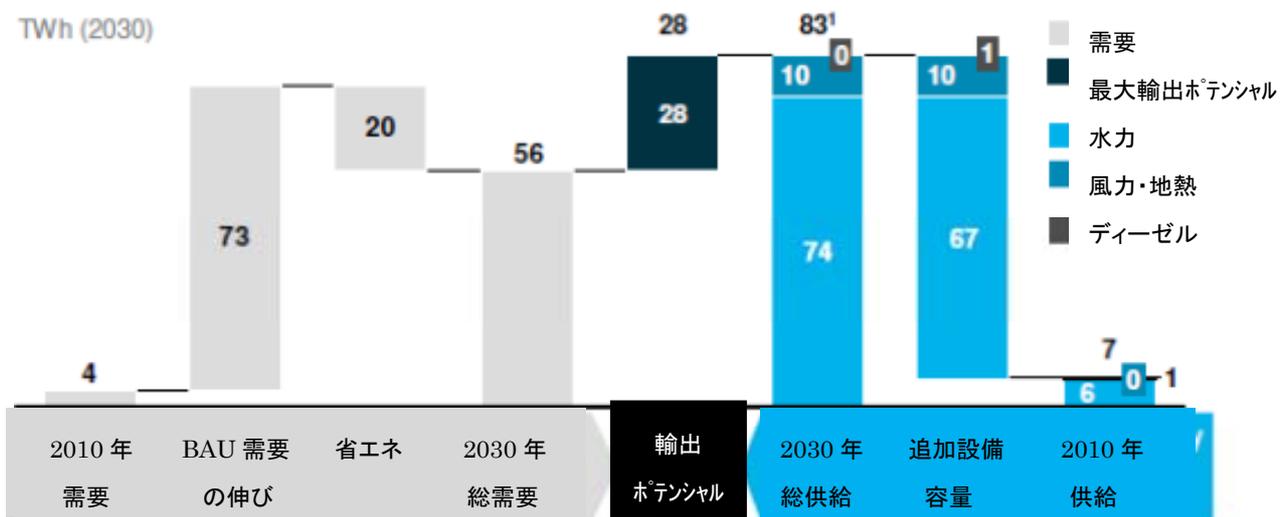


図 2-15 電力需要と供給の関係

(出所) Ethiopia' s Climate Resilient Green Economy, エチオピア政府

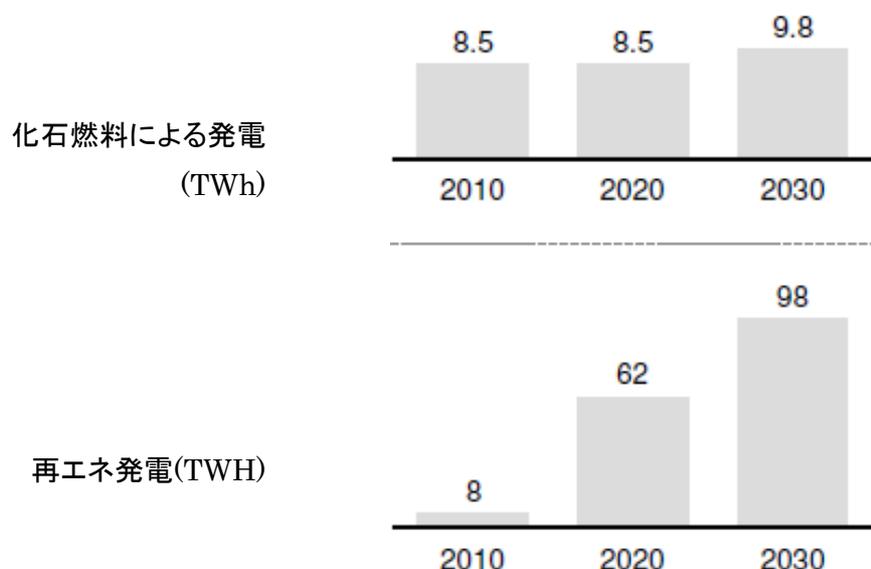


図 2-16 化石燃料発電と再生エネ発電の今後の伸び

(出所) Ethiopia's Climate Resilient Green Economy, エチオピア政府

下表にエチオピアの現在の電源構成と将来計画を示す。

表 2-8 エチオピアの発電設備容量・発電量と将来計画

電源	現在			2015年			2030年		
	MW	GWh	%	MW	GWh	%	MW	GWh	%
火力	79.2	563.60	6.90%	79.20	563.60	1.40%	79.20	563.60	0.57%
非再生可能エネルギー合計	79.2	563.60	6.90%	79.20	563.60	1.40%	79.20	563.60	0.57%
水力	1,850.60	7,574.00	92.50%	10,641.60	36,506.00	90.80%	22,000.00	86,724.00	87.26%
風力			0.00%	772.80	1,982.20	4.80%	2,000.00	4,029.60	4.05%
地熱	7.3	49.00	0.60%	77.30	571.00	1.40%	1,000.00	7,446.00	7.49%
バガス			0.00%	103.50	626.70	1.60%	103.50	626.70	0.63%
再生可能エネルギー合計	1,857.90	7,623.00	93.10%	11,595.20	39,631.90	98.60%	25,103.50	98,826.30	99.43%
合計	1,937.10	8,186.60	100.00%	11,674.40	40,195.50	100.00%	25,182.70	99,389.90	100.00%

(出所) Scaling-up Renewable Energy Program Ethiopia Investment Plan (Draft Final), Ministry of Water and Energy, 2012

“Ethiopia's Climate Resilient Green Economy”によると、電力セクタの現在のGHG排出量は3 Mt CO₂/年であり、これは化石燃料電源からの排出によるものである。BAUシナリオでは、EPCOのディーゼルプラントが運転を停止するものの、農村部の化石燃料利用が人口増加と共に継続するため、2030年の排出も現在と同じレベルの3 Mt CO₂/年と考えられている。排出量は、EPCO提供のディーゼル発電の排出係数を国際的なベンチマークで調整したものである。

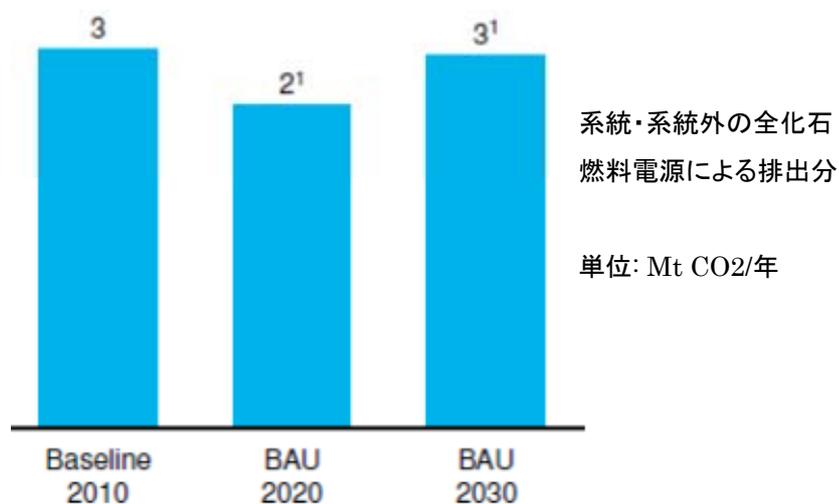


図 2-17 電力セクタの GHG 排出量の今後の推移

(出所) Ethiopia' s Climate Resilient Green Economy, エチオピア政府

表 2-9 エチオピアの電源構成 (2012 年)

電源	電力 (GWh)
石炭	0
石油	40
ガス	0
バイオ燃料	0
廃棄物	0
原子力	0
水力	6,615
地熱	16
太陽光	0
太陽熱	0
風力	29
潮力	0
その他	0
総計	6,700
輸入	0
輸出	-400
国内供給	6,300

(出所) IEA

表 2-10 エチオピアの発電所

発電所	種類	容量	完工時期	集水地域 (km ²)	ダムの種類
Akaki	水力	6 MW	1932		
Tis Abay I	水力	12 MW	1953	15,300	weir
Koka	水力	43 MW	1960	200	Concrete gravity dam
Awash 2	水力	32 MW	1965	2.73 (weir)	Concrete gravity dam
Aluto			1970		
Awash 3	水力	32 MW	1971	0.063 (weir)	Concrete gravity dam
Fincha	水力	134 MW	1972	170	Earth and Rock fill
Wakena	水力	150 MW	1988	5,300	Earth and Rock fill
Sor	水力	5 MW	1990		
Yadot			1990		
Aluto Langano	地熱	16 MW	1998		
Tis Abay II	水力	73 MW	2001	15,300	weir
Gibe I	水力	184 MW	2004	51	Asphalt faced rock fill
Dire Dawa	ディーゼル	40 MW	2004		
Awash 7kilo	ディーゼル	30 MW	2004		
Kality	ディーゼル	10 MW	2004		
Tekeze	水力	300 MW	2009	30,390	Arch gravity
Gibe II	水力	420 MW	2009	Weir	weir
Beles	水力	460 MW	2010	14,200	Concrete gravity dam on Natural lake
Finchaa Amerit Neshe	水力	97 MW	2011	29.5	Earth dam
Adama wind	風力	51 MW	2012		
Ashegoda	風力	120 MW	2012		
Adwa					

(出所) エチオピア電力公社他各種資料より作成

2.2.6.2 地熱開発の概況

エチオピアは長期的な長期的な展望に経った地熱開発を 1969 年に開始した。エチオピア地溝帯地域の地表面の熱水兆候を調査し、地熱資源賦存に関するインベントリーを作成し、地溝帯地域の 120 箇所で独立系の熱循環システムが存在し、その内 24 箇所が、発電利用も含めた高エンタルピーの資源開発が可能であると考えられ、果樹栽培、酪農、農業、農産品加工その他多目的利用が可能で、中低温の地熱資源についてはさらに広く分布していることがわかった。1970 年代には、Abaya、Corbetti、Aluto-Langano、Tulu Moye、Tendaho で地質調査、地化学調査、物理探査が行われたほか、国の中央部から南部 Afar では、より初期段階の調査が実施されている。探査活動は 1980 年の初めから中期にかけてピークを迎え、Aluto-Langano は、8 本の試掘が行われこの内 5 本が噴出に成功した。1993~98 年には、Tendaho において、3 本の深部調査井と 3 本の浅部調査井が掘削され、200~600m 地点に地熱流体の存在が確認された。

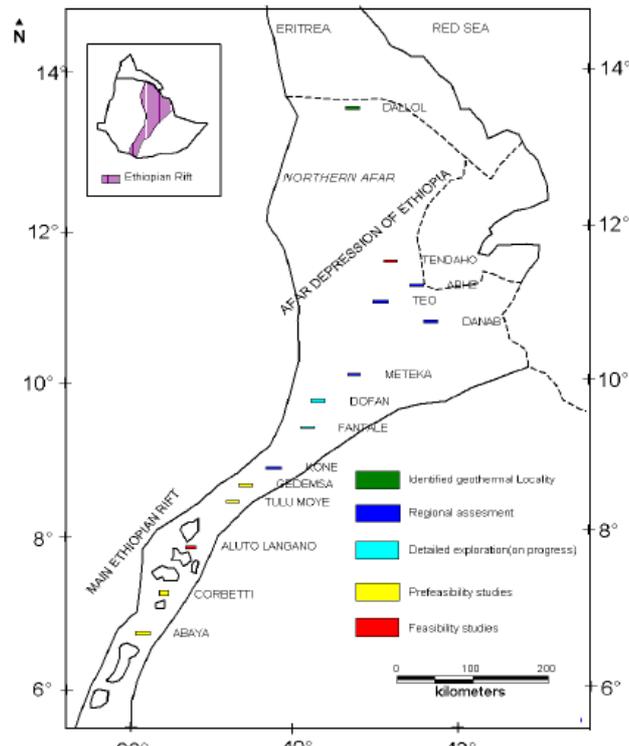


図 2-18 エチオピア国内の地熱地域とその開発段階

(出所) Teklemarian, M. & Kebede, S. (2010) Strategy for Geothermal Resource Exploration and Development in Ethiopia

同国における地熱発電所第1号は、Aluto Langano 地域で1999年に運転開始したパイロットプラント(7.3MW)であるが、地熱貯留層・発電設備の管理技術の不足により、運転停止となった。その後問題解決が図られ、プラントの一部のリハビリを行い、現在は3MWで運転を行っている。

Aluto Langano でパイロットプラントが建設されて以降、地熱開発は停滞した。国は断続的な電力不足に 대응するため、賦存量の豊富な水力資源の開発に注力することとなったためである。しかしながら度重なる渇水により、電力セクターが危機的な状況に陥ったため、政府は電源の多様化を推進することとし、その際に、国の資源であり、経済的にも競争力があり、かつ環境への影響を最小限に留められる地熱発電が改めて注目され、地熱開発に重点が置かれることとなった。現在、国は、日本の支援を受けて Aluto Langano 地域の開発を進めており、第1段階として35MWの発電所建設が計画されているほか、Tendaho 地域の開発の準備を進めている。民間主導のプロジェクトとしては、本プロジェクト対象地域の開発が進展が期待されている。

2.3 プロジェクトの普及

エチオピアの周辺国である、ケニア、ルワンダ、ウガンダ、タンザニア、ジブチは東アフリカ大地溝帯に属し、地熱資源が豊富に賦存すると考えられている。東アフリカ大地溝帯は、アフリカ大陸を南北に縦断する大地溝帯で、プレート境界の一つとなっており、世界的にも火山の連なる地域の一つである。この地域では、一説には15,000kW以上に上る地熱資源ポテンシャルを有するといわれており、各国で地熱発電に対する関心が高まっている。

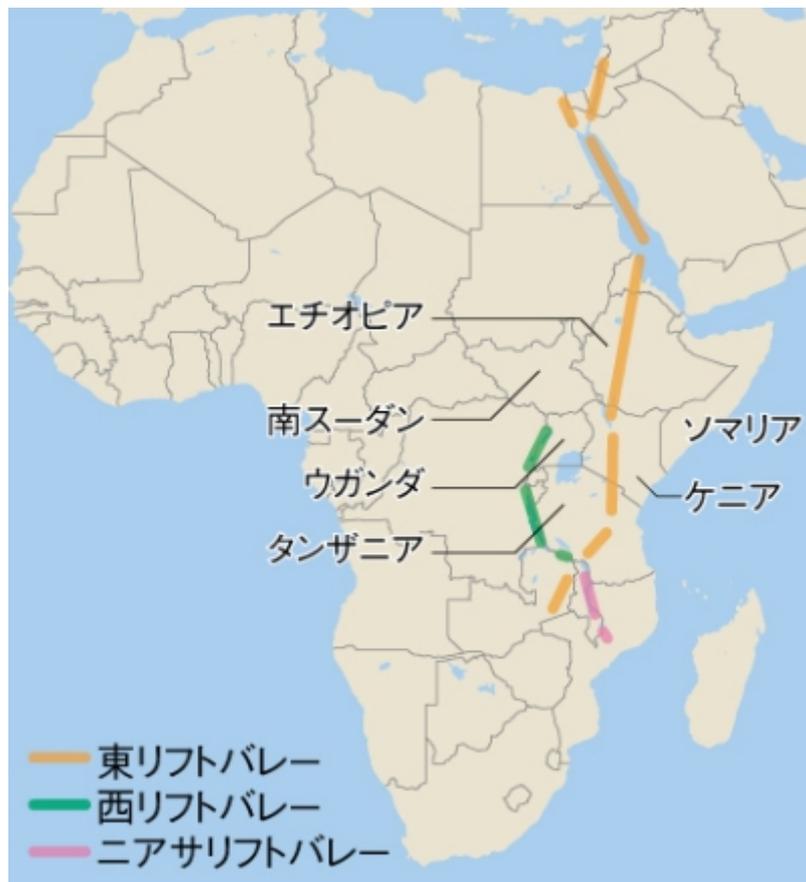


図 2-19 東アフリカ大地溝帯
(出所) JOGMEC

この地域で最も地熱資源開発が進んでいるのがケニアで、すでに合計 215MW の発電設備が導入されている。ついでエチオピアである。その他の国々では、地熱プロジェクトの多くは資源調査段階にあり、まだ商業規模の導入は行われていないが、ジブチでは調査井の掘削を伴う調査が実施されており、タンザニア、ウガンダでも地表探査が行われている。

ケニアは、Olkaria、Eburru ですでに小型発電設備を導入しており、特に Olkaria では、小型の坑口発電設備 14 基が導入済みである。今後も同フィールドや、現在開発中の他のフィールドにおいて、坑口発電設備に対するニーズが出てくる可能性が高い。エチオピアでも今後地熱開発が計画あるいは行われているフィールドにおいて、さらには資源調査を行っているその他の東アフリカ諸国及び世界のいずれの地熱開発国においても、開発期間の長い地熱発電事業で少しでも早く発電を開始したいとの意向から、同様のニーズが生じ、坑口発電設備を導入していくケースは増えてくると考えられる。

よって二国間クレジット制度を活用した本プロジェクトと類似の坑口地熱発電プロジェクトは、エチオピアにとどまらず、JCM 対象国であり且つ地熱資源開発国であれば、それらの国々への展開可能性は大いに有ると考えられる。

第3章 調査の方法

3.1 調査実施体制

みずほ情報総研が調査実施主体として全体を統括した。外注先として、日本メーカー、地熱コンサルタント会社、及び金融機関が参画した（下図参照）。

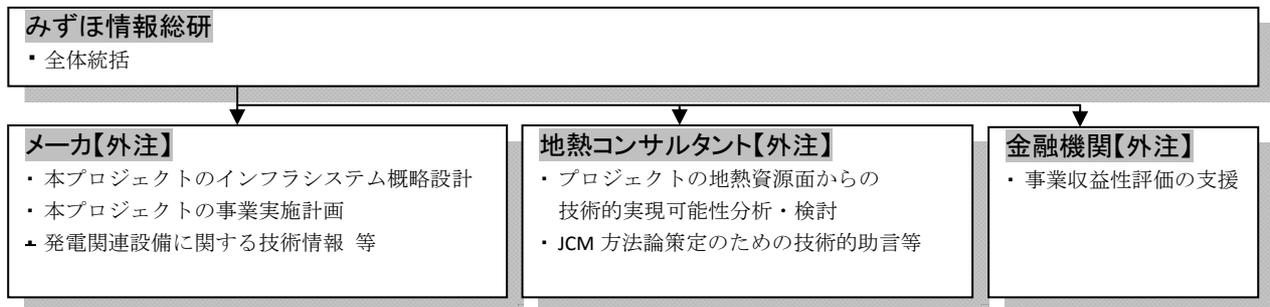


図 3-1 本調査実施体制

3.2 調査課題

3.2.1 プロジェクト実現に向けた調査

(1) プロジェクト計画

○資金計画

本調査開始時点では出資者 A が資金調達中であり、引き続き把握に努めた上で、事業性評価を実施することが課題であった。

○工事計画

地熱発電プロジェクトを成立させるためには、一般に、発電所建設に先立ち、サイトにおける井戸掘削、アクセスロードの確保等の土木工事が必要となる。よって、サイトの地熱資源に関する実施済の予備調査等や、今後予定されている試掘の進捗確認が課題であった。また、出資者 A には据付・土木工事を行うリソースが無いので、現地への日本製機器導入に向けては、現地事情に通じた EPC 企業との連携体制の構築が課題であった。また、工事に備え、関連する税制を調査することも課題であった。

○プロジェクト運営計画

本調査開始時点で出資者 A とエチオピア電力公社との PPA 交渉は最終段階にあり、Tariff は合意済み（期間：25 年間。毎年エスカレ条項付）。一般に、発電プロジェクトの経済的な成功は、蒸気が噴出する生産井を掘り当てることと、PPA により安定収入を得ることにかかっている。このため、PPA 等、各種許認可の進捗を確認することが課題であった。

○運用段階における実施体制

出資者 A は既に、設備補助金をうける事業者の義務として①2020 年度まではプロジェクトから出る温室効果ガス排出量を測定すること ②導入した設備 (STG) の法定減価償却期間は転売せず保有・運転を続けることを了承済である。これら義務の着実な履行を担保するため、日本メーカーが参加する国際コンソーシアム協定書の合意も視野に入れつつ、適切な運用のあり方を出資者 A とメーカーの間で如何に構築するかが課題であった。

(2) 日本技術の優位性

本プロジェクトでは、日本からの小型発電設備の供給を想定している。地熱発電で従来用いられてきた大型発電設備において日本企業は大きなシェアを占めているものの、こと市場が黎明期にある小型発電設備への参入を足がかりに地熱発電設備市場のシェア拡大を目指そうとする外国企業も見られ、競争が激化しつつある。外国企業の機器の価格競争力如何では、小型機器市場を足がかりに日本メーカーの市場シェアが侵食される虞がある。このため、市場ニーズ、外国企業の動向を踏まえつつ、如何に日本技術の優位性を見出し、また JCM の活用による競争優位の確立可能性を探ることが課題であった。

(3) MRV 体制

過去の地熱発電 JCM/BOCM 実現可能性調査では、非凝縮性ガスのモニタリング方法が論点として提示されている。本事業では、蒸気に含まれる非凝縮性ガスの CH₄ 濃度へのデフォルト値の設定を検討するが、その濃度が採取場所や時期により異なる場合には、簡素かつ保守的なモニタリング方法を検討する。

CDM のモニタリング方法では、全ての生産井及び発電所に蒸気が集約される手前の蒸気輸送配管の採取口での測定の双方での実測が求められている。しかし、地熱生産井は数十本に上る場合があり、全ての採取口においてモニタリングを行うことは多数の計器類を用いるためコストがかかる上に、生産井での測定は地熱発電の通常操業にとって価値がない。後者の測定が実施されていれば、発電所から排出される NCG の測定が可能であると考えられる。さらに、CDM で求められているサンプリング手法 (ASTM E1675-95a) には手間が多いという指摘が他の JCM/BOCM 実現可能性調査で指摘されている。

よって、NCG の従来的なモニタリング方法によるプロジェクト実施主体への負担の程度を見極めるとともに、負担が大きい場合にはいかにモニタリング方法を保守性を担保しつつ簡素化するかが課題であった。

(4) 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

本プロジェクトの環境社会影響評価 (ESIA) は、2012 年 6 月に鉱山省により承認済みである。一般に、地熱発電事業の負の影響として、以下のような項目が想定される。

- 硫化水素等の有毒ガスの大気への影響
- 候補地の多くが国立公園や国定公園に指定されていること
- 温泉への影響
- 景観への影響

本調査では、ESIA のその後をフォローアップすることが課題であった。

3.2.2 JCM 方法論作成に関する調査

(1) 適格性要件

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、適格性要件にいかに関係するかが課題であった。

(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

水力が電源の 98%以上を占め、火力発電所が停止されているエチオピアでは現状、既存発電所からの排出によるグリッド排出係数は実質的に 0 である。このため、通常の CDM として、地熱発電所が既存のエチオピア国の電力系統を代替するプロジェクトを成立させることは難しい。そもそも電化率が低く、非電化地域においてディーゼルが発電の主体を占めているエチオピアの実情を勘案すると、グリッドに供給される電力は既存の電力を代替することなく、既存の電力に追加され自家発電等を代替すると考えられるところ、ベースラインとしてあくまで既存グリッド代替を基本としている ACM0002 の考え方は必ずしも十分とはいえない。

よって、如何にエチオピアの実情に合ったベースラインを設定するかが課題であった。

(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ことも踏まえると、デフォルト値の設定を広く検討し、いかにモニタリング負荷を下げるかが課題であった。

3.3 調査内容

3.3.1 プロジェクト実現に向けた調査

(1) プロジェクト計画

○資金計画

プロジェクト実施主体等から資金計画に係る意向を聴取する一方、当方から JCM 補助金等の情報を提供しつつ協議を実施し、事業性評価を実施した。

○工事計画

出資者 A とコンタクトを取り、サイトの地熱資源に関する実施済の予備調査等や、今後予定されている試掘の進捗状況を確認した。また、必要に応じて現地における主要な工事会社との連携機会を検討する等して、工事体制を検討した。

○プロジェクト運営計画

プロジェクト実施主体等から PPA 締結の進捗と価格等の条件の方向性を聴取するとともに、許認可等の証拠書類の確認に向けて努めた。

○運用段階における実施体制

日本メーカーが参加する国際コンソーシアム協定書の合意も視野に入れつつ、JCM への登録を前提とした一定期間にわたる適切な運用のあり方をプロジェクト実施主体等と協議した。

(2) 日本技術の優位性

小型機器市場における主要外国企業の概要、戦略、技術・製品等の価格帯等について、可能な範囲で情報収集・分析を行った。

(3) MRV 体制

以下の観点の下、モニタリング方法の素案を作成し、プロジェクト実施主体に提案し、簡素さと保守性を兼ね備えた妥当なあり方を検討した。

- 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求める。
- 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、負担軽減を図る。
- NCG のうち、CO₂ 以外をすべて CH₄ とみなして保守的な排出量を導出し、CH₄ のモニタリングを不要とする。

(4) 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

プロジェクト実施主体より、ESIA のその後について聴取した。

3.3.2 JCM 方法論作成に関する調査

(1) 適格性要件

本調査では、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。なお、適格性要件 1 は、ACM0002 を基に考案したものである。

- 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

(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

CDM 関連文書（Tool to calculate the emission factor for an electricity system (Tool07)、Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies 等）や、地熱発電の JCM に係る既存調査報告書等をレビューし、ベースラインシナリオ候補（①グリッド代替、②「抑圧された需要」の下での最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術、③オフグリッド地域等の独立系統・自家発電の代替）の精緻化及び妥当性検討を行った。また、追加的なベースライン候補を探した。

(3) プロジェクト実施前の設定値

蒸気に含まれる CH₄ 濃度へのデフォルト値の設定を専門家の意見を聴取しつつ検討し、その濃度が採取場所や時期により異なる場合には、簡素かつ保守的なモニタリング方法を検討した。

また、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文献調査を通じて検討した。

- 対象候補 1 グリッド排出係数
- 対象候補 2 燃料排出係数
- 対象候補 3 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

第4章 プロジェクト実現に向けた調査

4.1 プロジェクト計画

4.1.1 プロジェクト地域の地熱資源と開発計画

本プロジェクト対象地域では、これまでに詳細な地質調査、地化学調査、物理探査が実施されており、250℃以上の高温地熱貯留層の存在が推定されている。1980年代にエチオピア地質調査所（GSE: Geological Survey of Ethiopia）によって熱流量測定坑が掘削され、当時記録された温度から、深部には経済的に開発可能な貯留層が存在することが示唆されている。

近年の探査では、1,000MW という膨大なポテンシャルがあるとされている。しかしながら、現時点では深部地熱井は掘削されておらず、実際の地熱貯留層は確認されていない。

一般に、地熱井の噴出勢力は貯留層の圧力、温度、及び坑井周辺の透水性（流体の流れやすさ）によって決まるが、本プロジェクト対象地域では地熱井が掘削されていないため、これらのデータがない。このため、今回は同じくエチオピア国内で東アフリカ大地溝帯に位置する Aluto Langano 地域の坑井噴出データを参考にして坑口発電設備用の生産井について検討した。

Aluto Langano 地域の生産井の噴出特性曲線を図 4-2 に、流体の比エンタルピーを図 4-3 に示す。同図から坑口圧力 10bar abs における総噴出量と比エンタルピーを読み取り、蒸気割合を計算することによって各坑井の蒸気量を求めた。この結果、表 4-1 に示すように坑口圧力 10bar abs における平均蒸気量は 12.9t/h と算出された。

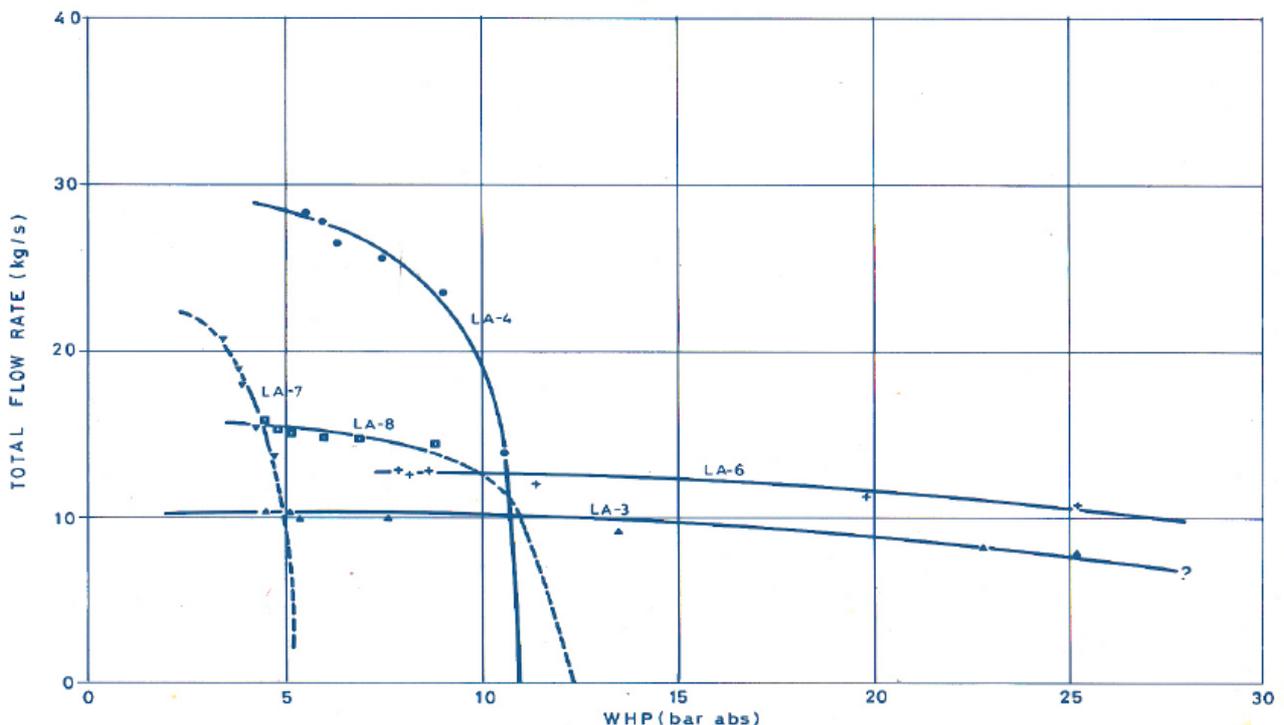


図 4-1 Aluto Langano 地域の生産井の噴出特性曲線

(出所) Yiheyis, 2006

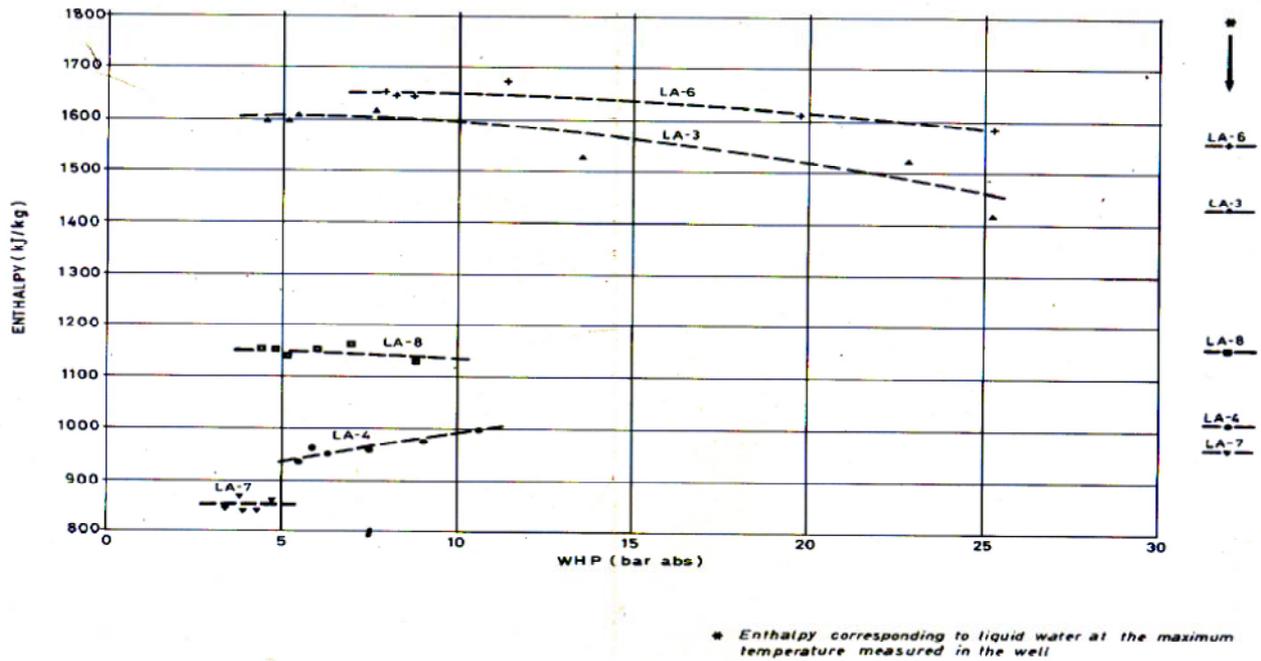


図 4-2 Aluto Langano 地域の生産井の噴出流体比エンタルピー

(出所) Yiheyis, 2006

表 4-1 Aluto Langano 地域の生産井の平均蒸気量

坑井名	総噴出量 (t/h)	比エンタルピー (kJ/kg)	蒸気量 (t/h)
LA3	36	1,600	15.0
LA4	72	1,000	8.5
LA6	45	1,650	19.8
LA8	45	1,140	8.4
平均	—	—	12.9

合計出力 20MW の背圧式坑口発電設備に必要な蒸気量を 284t/h と想定し、本プロジェクト対象地域における平均的な生産井の噴出能力が Aluto Langano の生産井と同等だと仮定すると、生産井は 22 本 (284÷12.9) 必要となる。一般的には 1 つの掘削基地からこのように多くの坑井を掘削することはないため、生産井の噴出能力が Aluto Langano の既存生産井の平均値と同等だとすると、20MW の背圧式坑口発電プロジェクトを 1 つの敷地で実現することは困難である。

一方、隣国ケニアでは地熱開発がより進んでいるが、オルカリア地熱地域のオルカリアドームズと呼ばれるエリアでは、生産井 1 本当たりの平均蒸気量は約 57t/h と報告されている¹。この場合、必要となる生産井は 5 本となる。このように、生産井からの蒸気量は地域によっても異なり、また同じ地熱地域でも掘削位置によって異なることから、今後本プロジェクト対象地域で掘削される坑井のデータを確認して詳細な検討を行うことが望ましい。

¹ Rop, E.: Results of Well Production Test for Olkaria Domes Field, Olkaria Kenya. Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference 2012, Nairobi, Kenya, 21-23 November 2012.

ここでは、プロジェクトの計画は下図に示すとおり、5本の生産井から噴出する地熱流体を地上配管で1つのセパレータに集め、蒸気と熱水を分離して、蒸気を用いて発電を行い、分離熱水は還元井を通して地下に還元されるものとした。なお、還元設備については、生産井の噴出試験時に建設されるものと想定して、本プロジェクトの範囲には含まないものとした。

今後、本プロジェクト対象地域において掘削が開始され、地熱貯留層の特性や坑井の噴出能力に関するデータが取得、蓄積されれば、プロジェクトの計画を見直す必要がある可能性がある。

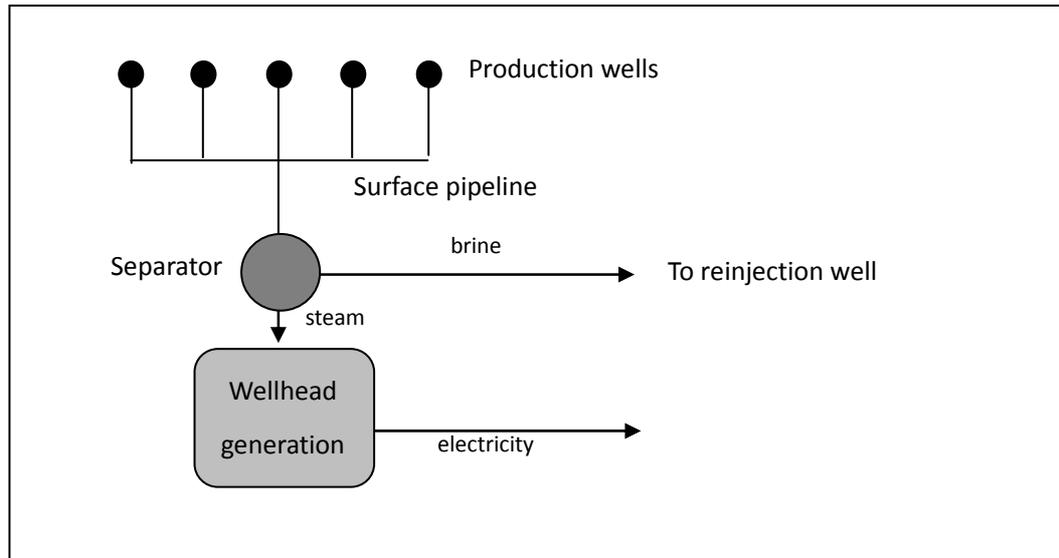


図 4-3 プロジェクト計画概念図

(出所) 本調査における検討結果

4.1.2 開発計画

4.1.2.1 送変電計画

5MW 坑口発電設備 x 4 基より 66kV 送電線 (約 10km 程度) にて新規に建設される変電所まで 2 回線にて接続する。

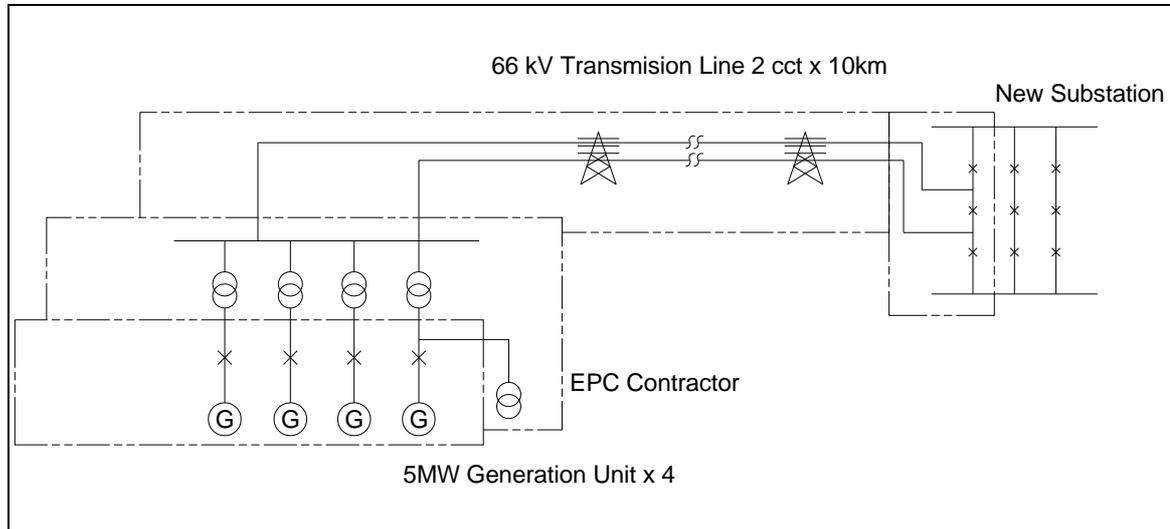


図 4-4 送変電システム概念図

(出所) 本調査における検討結果

4.1.2.2 概略設計

本調査においては、掘削作業が未着手である為、一般的な情報を参考に、後述の条件で発電設備の概念設計を行った。尚、坑口発電設備には先述のとおり、タービン発電機と制御装置のみで構成され、排気蒸気を大気開放する背圧型と、排気蒸気を復水器や冷却塔で冷却することで、発電効率を高める復水型の 2 案に加え、単純バイナリー型やコンバインドサイクル型といったシステムがあるが、不凝縮ガスの濃度が高いことが想定されるプロジェクトサイトの井戸の性状に適しており、尚且つ試験井の活用を通じた早期発電という事業目的に適する背圧型が客先から指定されている為、この条件で技術検討を行う。5 MW 背圧型地熱発電設備のレイアウトの一例を下図に示す。

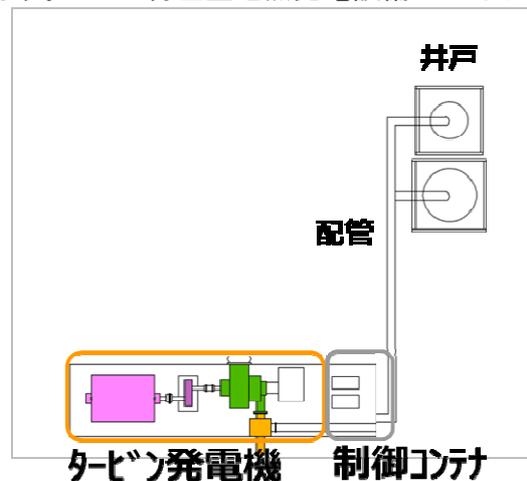


図 4-5 一般的な背圧型坑口地熱発電所の所内配置図

(出所) 本調査における検討結果

地熱流体は、図の上方に位置している井戸から配管を通じて蒸気タービンへと流れ込み、発電機の動力となった後、タービン側方から大気へと放出される。

実際の敷地面積は、具体的な井戸・サイトを基にした詳細設計に拠るが、大まかに 15-20m 四方程度の敷地面積に収まるレイアウトとなっており、井戸の掘削向けに整地された井戸パットの中に格納できるサイズである。

4.1.2.3 工事計画

同 SPC は、調達範囲として、フルターンキーの EPC（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 か月を想定している。内訳は、入札 2 か月、1 か月が評価、1 ヶ月が契約交渉、11 か月が据え付けを想定している。

4.1.3 プロジェクトの実施体制と資金計画

4.1.3.1 プロジェクトの実施体制

プロジェクト実施主体は、当初は出資者 A のみであったが、本調査実施中の 2014 年 9 月に正式な SPC が発足したとのことである。同 SPC には、出資者 A に加え、出資者 B、出資者 C が出資予定とのことである。下図は同 SPC による本プロジェクトの実施体制の概略である。

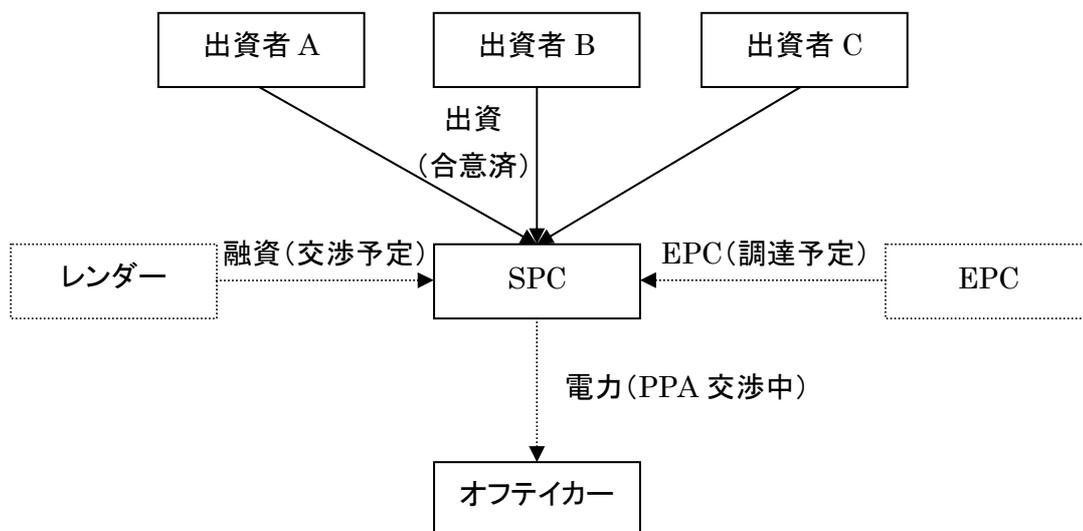


図 4-6 本プロジェクトの実施体制概要

(出所) プロジェクト実施主体へのヒアリング

4.1.3.2 初期投資・維持管理及び MRV に関する資金計画

同 SPC は、容量 5MW の小型発電設備 4 基を全て自己資金で調達する計画である。その後追加的にタービン発電機を調達する計画であるが、これについてはレンダー候補と融資交渉中である。

4.1.4 事業収益性の評価

本調査では、本邦重電メーカーが提案するプロジェクト案について、キャッシュフロー予測に基づいた新設地熱発電プロジェクトの事業性評価を実施する。各種前提条件に基づき、支出（建設コスト、O&M コスト等）および収入を算定、毎年の財務諸表を作成し、最終的には、スポンサーにとって重要な指標である IRR（内部収益率：Internal Rate of Return）につき一定レベルを充足するタリフを評価した。

4.1.4.1 前提条件（ベースケース）

プロジェクトデベロッパー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する。

4.1.4.2 事業性評価（ベースケース）

本項では 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 4-2 事業性評価結果概要

Contents	Results
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

表 4-3 キャッシュフロー（運開後 10 年目まで）

II. CASHFLOW STATEMENT														
II-1. Operating Activity														
Revenue from Electricity Sales	'000 USD	0	10,184	10,265	10,350	10,462	10,532	10,631	10,734	10,866	10,956	11,075	11,201	
Less: O&M Cost	'000 USD	0	(1,616)	(1,697)	(1,782)	(1,871)	(1,964)	(2,063)	(2,166)	(2,274)	(2,388)	(2,507)	(2,632)	
Less: Fuel Cost	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Less: Steam Cost	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Less: Income TAX Payment	'000 USD	0	(550)	(550)	(550)	(557)	(550)	(550)	(550)	(557)	(570)	(570)	(570)	
Total	'000 USD	0	8,018	8,018	8,018	8,034	8,018	8,018	8,018	8,034	5,998	5,998	5,998	
II-2. Investing Activity														
CAPEX	'000 USD	(26,935)	(26,935)											
Other	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	'000 USD	(26,935)	(26,935)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
II-3. Financing Activity														
INFLOW														
Senior Loan Disbursement	'000 USD	0	0											
Equity Injection	'000 USD	26,935	26,935											
OUTFLOW														
Interest Expense	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Repayment	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Deposit of DSRA	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Withdrawal of DSCR	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dividend Payment	'000 USD	0	8,018	8,018	8,018	8,034	8,018	8,018	8,018	8,034	5,998	5,998	5,998	
Other	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NET Cash Flow from Financing Activities														
Total	'000 USD	26,935	26,935	(8,018)	(8,018)	(8,018)	(8,034)	(8,018)	(8,018)	(8,018)	(8,034)	(5,998)	(5,998)	
II-4. Net Cash Inflow / (Outflow)														
Total	'000 USD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cashflow Available for Dividends	'000 USD	0	0	8,018	8,018	8,018	8,034	8,018	8,018	8,018	8,034	5,998	5,998	

(出所) 本調査における検討結果

本件検討結果は複数の仮定条件に基づいているため、次頁以降で感度分析を行った結果を示す。

4.1.4.3 事業性評価（感度分析）

上記をベースケースとし、代表的なパラメータを変動させて事業性への影響を感度分析により検討した。以下では、

- (1) 総プロジェクトコスト（ベースケースでは約 USD54M）
- (2) Load Factor（ベースケースでは 90%）
- (3) O&M コスト（ベースケースでは発電所建設費の 3%）
- (4) 補助金（W/H 設備費に対する補助）
- (5) ターゲット EIRR（ベースケースでは 12%）

をパラメータとした感度分析の結果を示す。

(1) 総プロジェクトコスト

ベースケースでの総プロジェクトコストは約 USD54M である。当該コストを▲25%～+50%変化させた場合のタリフへの影響を評価した。総プロジェクトコストを 25%変化させると、タリフは約 1.1 cent/kWh 変化した。

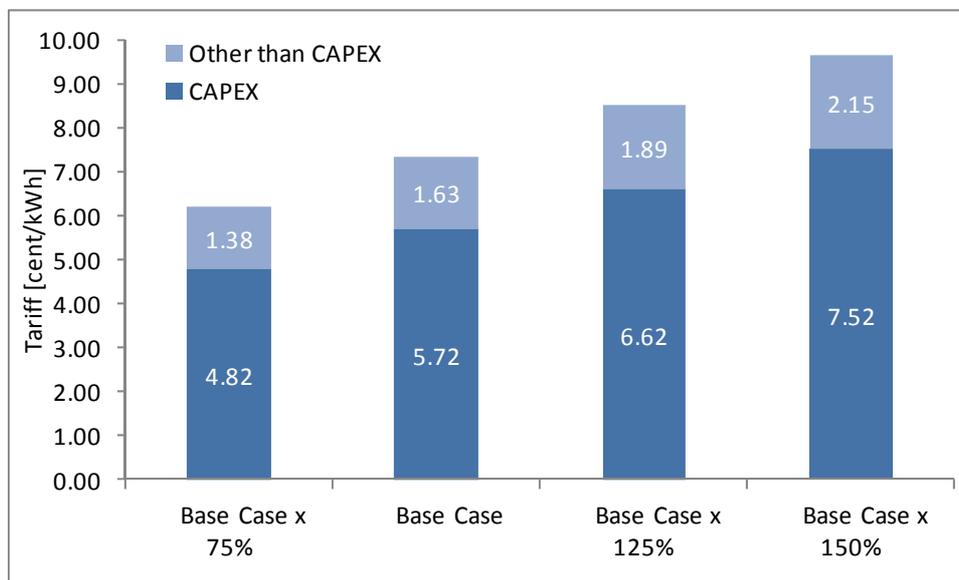


図 4-7 感度分析結果（総プロジェクトコスト）

（出所）本調査における検討結果

(2) Load Factor および出力低下

ベースケースでは、運転期間中、発電端出力：20.0 MW、稼働率：90%で一定と設定している。地熱発電プロジェクトでは、一般的にスケール付着による出力低下リスクがあり、顕在化している例もある。ここでは、稼働率を▲10%～+5%（80%～95%）変化させた場合の事業性への影響を評価した。

想定する稼働率を 80%とベースケースより 10%低下させた場合、タリフは約 0.8 cent/kWh 変化する。一方で、重電メーカー実績を踏まえ 95%とした場合、タリフは 7 cent/kWh を下回る水準まで改善する。

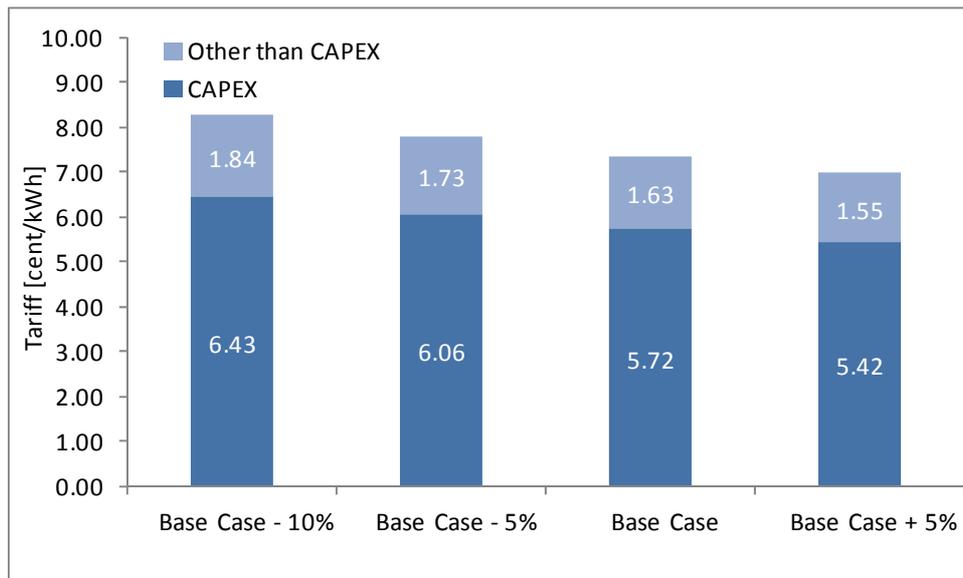


図 4-8 感度分析結果 (稼働率)

(出所) 本調査における検討結果

(3) O&M コスト

コンサルタント会社との協議を踏まえ、O&M コストは EPC コストの 3% と想定した。ここでは、O&M コストを 2%~4% で変化させた場合の影響を評価した。1% のコスト変化により、タリフが約 0.55 cent/kWh 変化する結果となった。

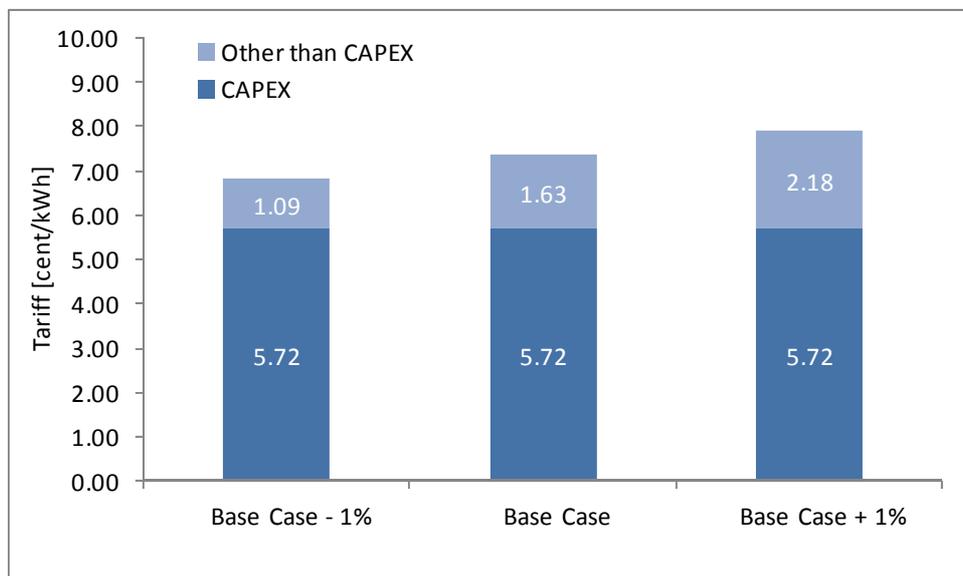


図 4-9 感度分析結果 (O&M コスト)

(出所) 本調査における検討結果

(4) 補助金

日本政府から、本邦重電メーカー提供設備費の 25%~50% (約 USD8M~USD16M) に補助金が適用され、プロジェクトコストが抑制された場合、タリフは約 1~2 cent/kWh 変化する結果となった。

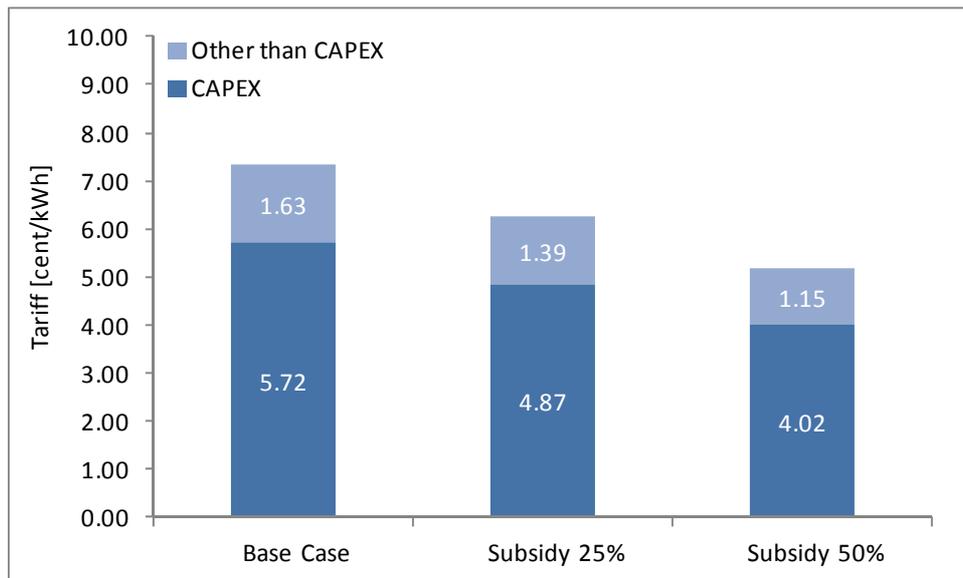


図 4-10 感度分析結果（補助金）

（出所）本調査における検討結果

(5) ターゲット EIRR

スポンサーのターゲット EIRR を 1% 変化させると、タリフは約 0.5 cent/kWh 変化する結果となった。

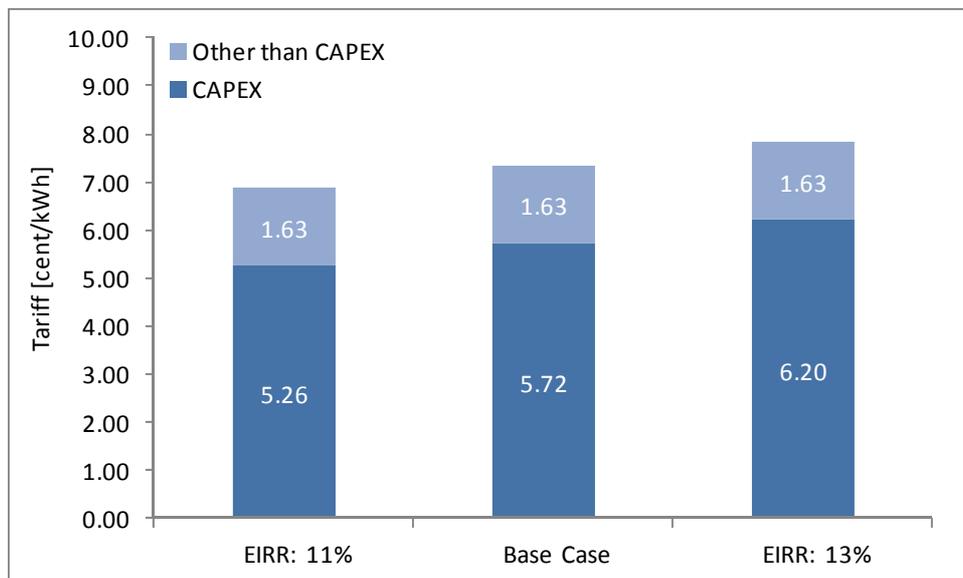


図 4-11 感度分析結果（補助金）

（出所）本調査における検討結果

4.1.5 リスク分析

4.1.5.1 資源リスク

本プロジェクトの実施地域では、これまで詳細な地質調査、地化学調査、物理探査が実施されており、250°C以上の高温地熱貯留層の存在が推定されている。また、1980年代にエチオピア地質調査所（GSE:Geological Survey of Ethiopia）によって8本の熱流量測定坑（掘削長：93～178m）が掘削されており、最高温度94度が記録されていることから、深部には経済的に開発可能な貯留層が存在することが示唆されている。さらに2011年～2012年にかけてMT/TEM探査及び補完的な地球科学的調査が実施されており、推定される貯留層の平面的及び深度的広がりから1,000MWという膨大なポテンシャルがあるとされている。

しかしながら、現時点では深部地熱井は掘削されておらず、実際の地熱貯留層は確認されていない。地熱開発には資源リスクは常に存在するが、開発の初期段階であるほどそのリスクは高く、本プロジェクト対象地域でこれまで1本も試掘が行われていないという事実を考慮すると、そのリスクは小さくない。しかしながら、本プロジェクトの実施主体である同SPCは、第1段階の開発として本調査の対象となる20MW、第2段階以降から本格的な開発に入り、最終的には500MW規模の発電を目指している。第1段階の20MWについても、掘削の進捗に応じて5MW×4基を順次導入する計画であることから、慎重な開発姿勢がうかがえる。

4.1.5.2 許認可リスク

SPCは、出社Aがコンセッション契約を取得し、さらにSPCに移管したと主張している。今後、我が方からSPC側に対し、詳細内容の提示を要求したい。

4.1.5.3 オフテイクリスク

一般に、発電事業の経済性は、買電契約（PPA）の内容とその締結に大きく左右される。出社Aは本調査開始時点で既にPPA交渉は最終段階になると主張していた。

4.1.5.4 工期遅延リスク

現地調査を通じ、本プロジェクト対象地域周辺を視察した。井戸掘削予定地は山道に行くこと5km程に位置しているが、予定地付近まではモーターバイクを用いる必要があるとのことであった。今回は徒歩で1kmほど接近した。平地から山道に入るまでは、未舗装の道路を行ったが、周辺には民家が散在し、家畜を連れて歩く人々の姿も多く見られた。

4.1.5.5 事業運営リスク

一般に、発電設備の納入後に係るリスクについては、日本メーカーにとって、プロジェクトの開発・運営に関するリスクをとることは困難である。プロジェクトの開発・運営リスクは、プロジェクト実施主体及びスポンサーが負担すべきリスクである。

一方で、本調査では、本プロジェクトへの二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業）を用いた日本製設備の導入を検討したが、補助金を申請するためには、日本メーカーが、代表事業者となり、万が一の補助金返還の場合には、日本メーカーが環境省／GECに対して補助金返還の義務を負わなければならない。同補助金の概要は下表

の通りである。

表 4-4 二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金の概要

(交付の対象)

第3条センターは、第2条の目的を達成するため、二国間クレジット制度（以下「JCM」という。）に関する二国間文書に署名している又は署名が見込まれる途上国において、優れた技術やノウハウ等を活用したエネルギー起源二酸化炭素の排出削減のための設備・機器を導入する事業（以下「補助事業」という。）に要する経費のうち、補助金の交付の対象としてセンターが認める経費（以下「補助対象経費」という。）について、環境大臣からの交付決定額の範囲内において、補助金を交付するものとする。

(中略)

3 申請は、国際コンソーシアム（前項の日本法人と外国法人により構成され、事業を効率的に実施する組織）の構成員が共同で行うものとし、そのうち、コンソーシアムに参画する日本法人の1者を代表事業者、それ以外の構成員を共同事業者という。代表事業者である日本法人の責により設備の購入・設置、試運転までを行うこと。

(出所) 公益財団法人地球環境センター「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業）交付規程」

同事業では、日本法人と外国法人による国際コンソーシアムを組むこととし、代表事業者である日本法人が補助対象者となる。日本法人は、代表事業者として、共同実施者における交付規程違反（例えば法定耐用年数より前に設備が稼働できなくなった場合）等に係る返還義務等を負うこととなる（補助対象者の主な要件は次のとおり）。

表 4-5 二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金補助対象者の主な要件

①国際コンソーシアムの形成要件

- 日本法人と外国法人による国際コンソーシアムを組むこととし、代表事業者である日本法人が補助対象者となる。

②日本法人に関する要件

- 設備の購入・設置、試運転は、日本法人の責により実施されること
実際の購入・設置・試運転は、国際コンソーシアム内の共同実施者が発注または実施しても可、ただしそれらが共同実施者において適切に行われるように管理する（たとえば、試運転に日本法人が立ち会うなど）。
- 共同実施者における交付規程違反等に係る返還義務は、日本法人が負うこと
例えば、法定耐用年数より前に設備が稼働できなくなった場合、その分の補助金返還は環境省から日本法人に対して求める。
- 経理その他の事務についての一元的窓口となること

(出所) 公益財団法人地球環境センター「JCM 設備補助事業の概要について～平成 26 年度二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業公募説明会～」

法定耐用年数は、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」別表 2 に定められており、地熱発電設備の場合は 15 年である（下表参照）。

表 4-6 電気業用設備の法定耐用年数

区分	設備の種類	耐用年数
電気業用水力発電設備	小水力発電設備	22
その他水力発電設備	小水力発電設備	20
汽力発電設備	地熱発電設備又は バイオマス発電設備	16
内燃力又はガスタービン発電設備		
その他設備 主として金属製のもの	太陽光発電設備又は 風力発電設備	17

（出所）減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和 40 年大蔵省令第 15 号）別表第二機械及び装置の耐用年数表

補助金返還額の上限額は、処分制限期間に対する残存年数（処分制限期間から経過年数を差し引いた年数）又は貸付年数（処分制限期間内の期間に限る）の割合を乗じて得た額（「残存年数納付金額」）として定められている（詳細は下表のとおり）。

表 4-7 二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金に係る財産処分納付金の額

<p>第 4 財産処分納付金の額</p> <p>1. 有償譲渡又は有償貸付</p> <p>（1）譲渡額等を基礎として算定する場合</p> <p>ア. 財産処分納付金額</p> <p>同一事業を 10 年以上継続する場合の有償譲渡又は有償貸付に係る財産処分納付金額は、譲渡額又は貸付期間にわたる貸付額の合計の予定額（評価額（不動産鑑定額又は減価償却後額）に比して著しく低価である場合には、評価額。）に総事業費に対する補助額の割合を乗じて得た額とする。</p> <p>イ. 上限額</p> <p>処分する施設等に係る補助額に、処分制限期間に対する残存年数（処分制限期間から経過年数を差し引いた年数をいう。）又は貸付年数（処分制限期間内の期間に限る。）の割合を乗じて得た額（以下「残存年数納付金額」という。）を上限額とする。</p> <p>（2）残存年数納付金額とする場合</p> <p>上記（1）以外の有償譲渡又は有償貸付に係る財産処分納付金額は、残存年数納付金額とする。</p> <p>2. 転用、無償譲渡、無償貸付、交換又は取壊し等</p> <p>納付に関する条件を付された転用、無償譲渡、無償貸付、交換又は取壊し等の場合の財産処分納</p>

付金額は、残存年数納付金額とする。ただし、財産処分納付金額の算定について別に定めのある場合は、その算定によることができる。

なお、この場合においても、残存年数納付金額を上限とする。

(出所) 公益財団法人地球環境センター「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業)により取得した財産の処分承認基準」

日本メーカーとして上記の補助金返還リスクに対応するため、何らかの保証をアレンジする必要があることから、security package 案を同 SPC に提案した。具体的には、日本メーカーから SPC への補助金支払いを遅らせること(図 4-12)、保証状の差し入れ(図 4-12)の2案を提案した。

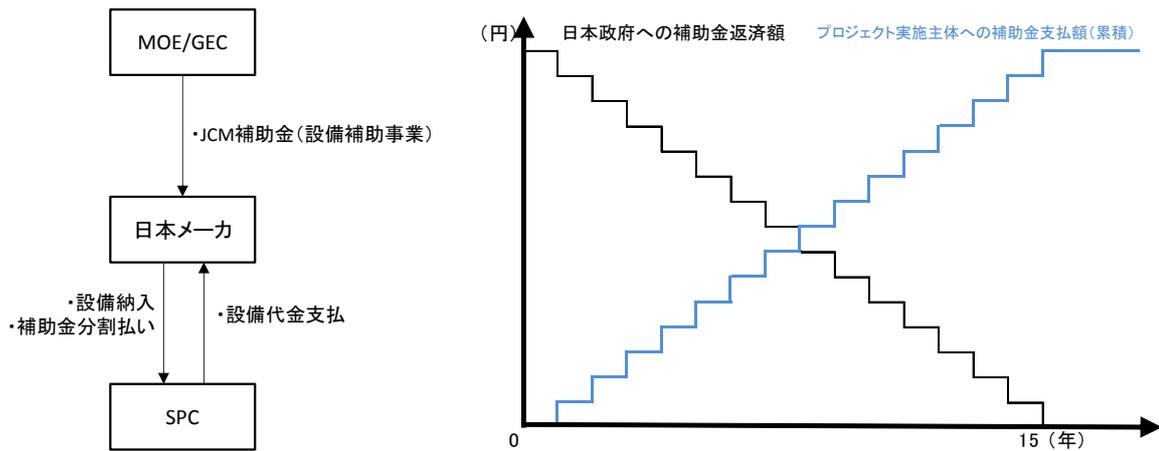


図 4-12 SPC に補助金を段階的に支払う提案

(出所) 本調査における検討結果

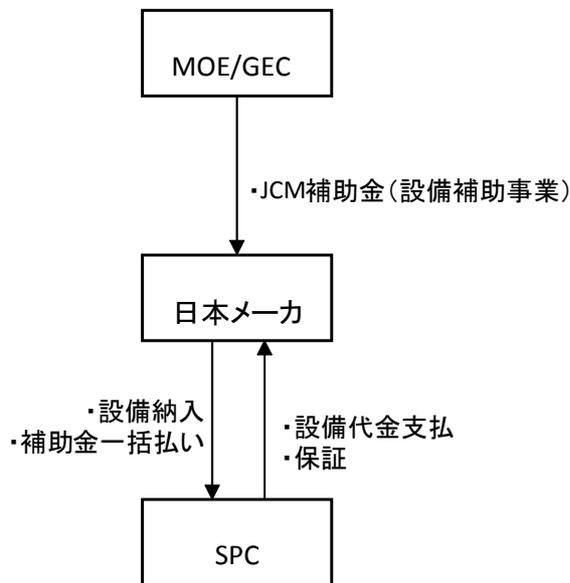


図 4-13 SPC が保証を差し入れる提案

(出所) 本調査における検討結果

4.2 プロジェクト許認可取得

プロジェクト実施主体である同 SPC によると、同社は、エチオピアでの特別目的会社として 2014 年 9 月に登記を完了させているとのことである。また、出資者 A によると、その他コンセッションを含め必要な許認可は取得済であるとのことである。PPA は同 SPC とエチオピア電力公社 EEP との間で交渉はほぼ妥結しているが、契約書案に対する政府保証の対象範囲について一部交渉が継続中となっている。

以上は、同 SPC 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ところ、引き続き各種証拠書類の提供を求めていく予定である。

4.3 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(2014 年 2 月三菱重工と日立製作所の火力発電部門が合併し、現在は三菱日立パワーシステムズ)、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。以上のメーカーが製造するのは主にフラッシュサイクルの発電設備である。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。

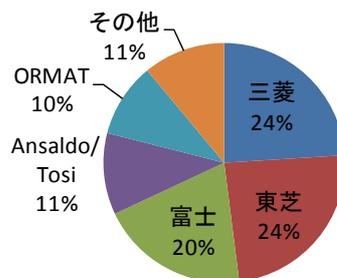


図 4-14 地熱発電プラントメーカーの比率

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

本プロジェクトの第 1 段階として計画されている坑口発電には、以下のようなメリットがある。地熱発電開発は一般的に初期投資額が大きく、調査開始から資源の確認・評価、プラント建設、発電までのリードタイムが長いことが特徴である。通常は地表において地質調査、地化学調査、物理探査等を実施し、地熱概念モデルを構築することによって掘削ターゲットの検討を行う。

その後、調査井を数本掘削して、温度や透水性等の評価を行い、結果が良好であれば蒸気の噴出試験が実施される。このような成功した坑井は将来的に生産井として転用される。掘削結果をもとに地熱概念モデルの更新を行い、貯留層シミュレーションによって資源量評価を行うとともに、発電設備の概略設計や経済性の評価を含めた F/S を実施して開発規模を決定する。

建設段階においては、必要な生産井、還元井の掘削を行いながら、地上配管、発電設備、送電設備等の設計・調達・建設を行うが、発電所が完成するまでは蒸気の噴出能力を有する生産井が有効に利用されることなくアイドルの状態であることが多い。したがって、この段階で坑口発電を導入することにより、早期の資金回収が可能となり、事業の収益性の向上が期待される。

また、坑口発電中に生産井の噴出状況及び観測井による貯留層のモニタリングを行うことにより、

より長期間のデータが取得できるため、地熱貯留層の特性の理解が深まることが期待できる。これによって掘削工事期間中においても掘削ターゲットの見直しを行うなど、より適切な資源開発を行うことができるとともに、発電所運転開始後の貯留層管理のための基礎データとして有効に活用することによって、安定した操業に寄与することが期待される。

地熱発電開発は一般的に初期投資額が大きく、調査開始から資源の確認・評価、プラント建設、発電までのリードタイムが長いことが特徴である。通常は地表において地質調査、地化学調査、物理探査等を実施し、地熱概念モデルを構築することによって掘削ターゲットの検討を行う。その後、調査井を数本掘削して、温度や透水性等の評価を行い、結果が良好であれば蒸気の噴出試験が実施される。このような成功した坑井は将来的に生産井として転用される。掘削結果をもとに地熱概念モデルの更新を行い、貯留層シミュレーションによって資源量評価を行うとともに、発電設備の概略設計や経済性の評価を含めた FS を実施して開発規模を決定する。

建設段階においては、必要な生産井、還元井の掘削を行いながら、地上配管、発電設備、送電設備等の設計・調達・建設を行うが、発電所が完成するまでは蒸気の噴出能力を有する生産井が有効に利用されることなくアイドルの状態であることが多い。したがって、この段階で坑口発電を導入することにより、早期の資金回収が可能となり、事業の収益性の向上が期待される。また、坑口発電中に生産井の噴出状況及び観測井による貯留層のモニタリングを行うことにより、より長期間のデータが取得できるため、地熱貯留層の特性の理解が深まることが期待できる。これによって掘削工事期間中においても掘削ターゲットの見直しを行うなど、より適切な資源開発を行うことができるとともに、発電所運転開始後の貯留層管理のための基礎データとして有効に活用することによって、安定した操業に寄与することが期待される。

表 4-8 小型発電設備と中～大型発電設備の比較

項目	小型	中～大型
設備容量の目安*	単機で数 MW～10MW 程度	10MW 以上
開発期間	より短い	より長い
建設期間	より短い	より長い
MW 当たりのコスト	より高い	より安い
地熱流体輸送設備	不要あるいはより短い	より長い
長期噴気試験中の発電	可	不可
可動性	より高い	より低い
用途	開発期間中のリグ電源、グリッド接続	グリッド接続

4.4 MRV 体制

4.4.1 課題

MRV については、運転開始後プロジェクトサイトで出資者 A が実施する事で合意している。出資者 A は地熱発電に係る知見を豊富に保有する事業者であり、想定するモニタリング（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。

過去の地熱発電 JCM/BOCM 実現可能性調査では、非凝縮性ガスのモニタリング方法が論点として提示されている。本事業では、蒸気に含まれる非凝縮性ガスの CH₄ 濃度へのデフォルト値の設定を検討するが、その濃度が採取場所や時期により異なる場合には、簡素かつ保守的なモニタリング方法を検討した。

CDM のモニタリング方法では、全ての生産井及び発電所に蒸気が集約される手前の蒸気輸送配管の採取口での測定の双方での実測が求められている。しかし、地熱生産井は数十本に上る場合があり、全ての採取口においてモニタリングを行うことは多数の計器類を用いるためコストがかかる上に、生産井での測定は地熱発電の通常操業にとって価値がない。後者の測定が実施されていれば、発電所から排出される NCG の測定が可能であると考えられる。さらに、CDM で求められているサンプリング手法（ASTM E1675-95a）には手間が多いという指摘が他の JCM/BOCM 実現可能性調査で指摘されている。

4.4.2 検討結果

本調査では、本プロジェクト運用の実情を踏まえつつ、モニタリング活動の実現可能性（モニタリング手法の適用可能性）について協議・検討した。

一般に、蒸気中の非凝縮性ガス（NCG）に含まれる CO₂ 濃度、CH₄ 濃度、年間蒸気量の一般的なモニタリング手段については、以下が考えられる。

地熱蒸気は、地下から噴出する地熱流体（蒸気＋熱水）を、蒸気と熱水に分離して採取する。地熱井の二相流体管からは、図 4-15、図 4-16 のように、二相流体管にミニセパレータを接続して、蒸気と熱水を分離して採取する。運転中の地熱発電所では、設備としてセパレータがあることから、蒸気管から蒸気を採取することが見込まれる。

分離された蒸気は、二口注射器でアルカリ性水溶液に吸収する小沢の方法（図 4-17）、または、真空瓶（Giggenbach bottle：図 4-18）等で採取する。非凝縮性ガス、CO₂、CH₄ の濃度は、試料採取後化学分析室にて、滴定法やガスクロマトグラフ法で分析する。地熱発電所における非凝縮性ガス濃度のモニタリングの頻度は、通常、年に数回程度である。

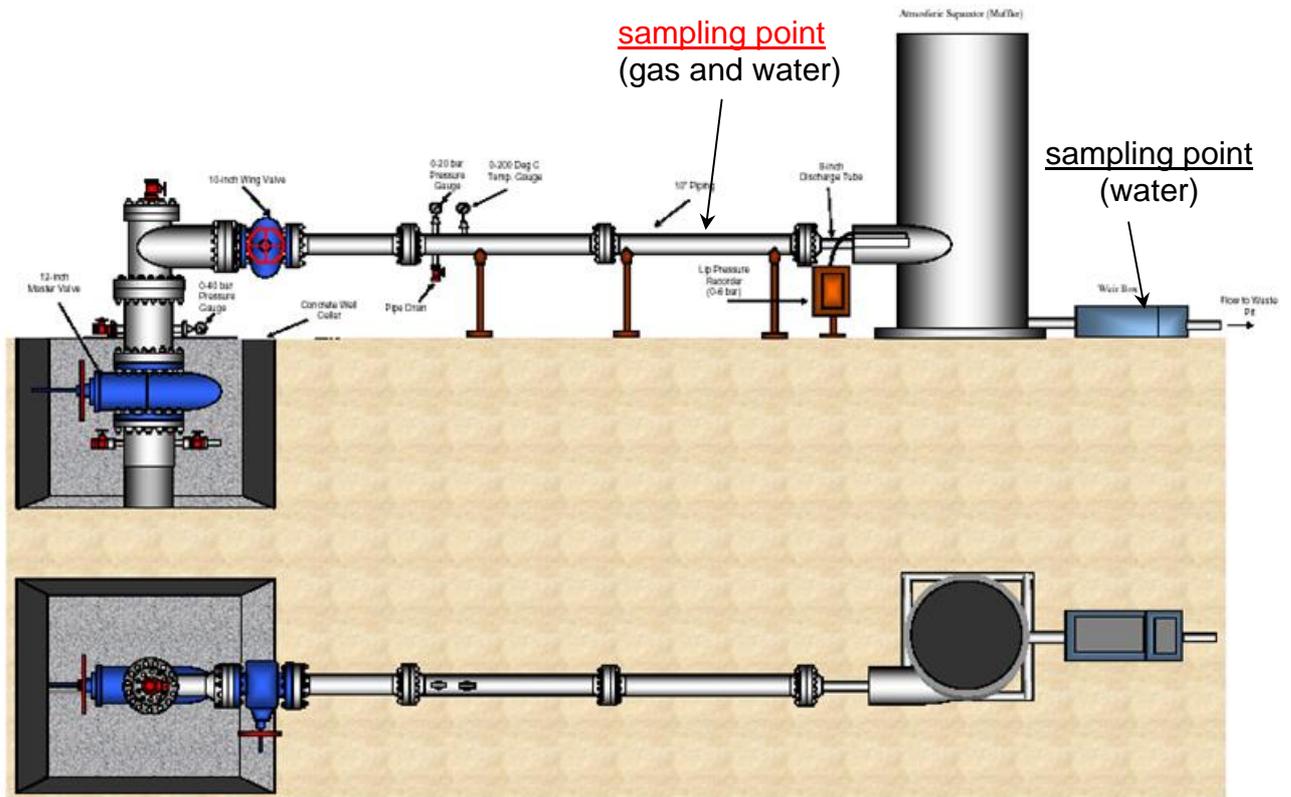


図 4-15 地熱井からの噴出流体採取位置 1 (坑口周辺図)

(出所) 西日本技術開発株式会社



図 4-16 地熱井からの噴出流体採取位置 2 (ミニセパレータ接続状況)

(出所) 西日本技術開発株式会社

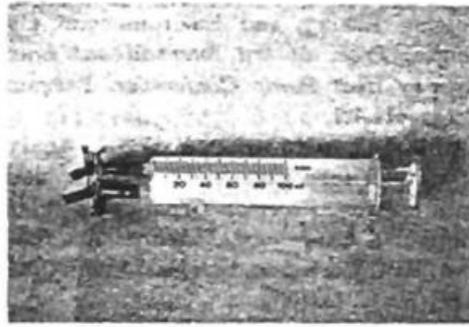


写真1 小沢の方法(1966)に用いる二口注射器
容積100mL、最小目盛りが2mLなので量が読み取りにくい。

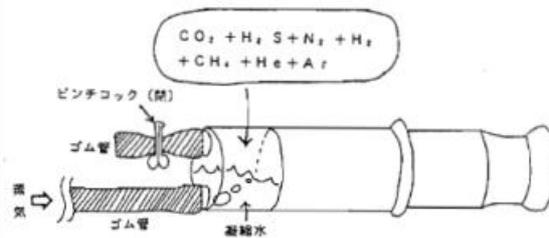


図1 二口注射器による蒸気採取方法
下側のゴム管から注射器に入った蒸気は、冷却されて蒸気凝縮水とガスに分かれる。

図 4-17 地熱蒸気採取法 1 (小沢の方法)
(原典) 吉田 (1994)
(出所) 西日本技術開発株式会社



図 4-18 地熱蒸気採取法 2 (真空瓶)
(出所) 西日本技術開発株式会社

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、下表の方法を出資者Aに提案した。

- 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。

表 4-9 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) 本調査における検討結果

元々出資者 A は CO₂ 及び CH₄ の測定について問題がないと回答しており、上記素案に対しても特段のコメントは無かった（2015 年 1 月時点）。

4.5 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

出資者 A は本プロジェクトのための ESIA を実施済みであり、本調査では ESIA 報告書の内容を確認した。ただし、2014 年 9 月現在、一部住民移転の必要が生じたため、その部分だけ ESIA をやり直すこととなった。今後とも ESIA の再実施状況を確認する必要がある。

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。こうした中、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）は技術的理由で稼働していない。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。

4.6 今後の予定及び課題

今後の課題としては、プロジェクト実施主体からのコンセッション契約、PPA 案等の関係書類の入手、試掘を経た蒸気条件の入手等が挙げられる。その上で、本プロジェクトの JCM 設備補助事業への応募を検討する。

第5章 JCM 方法論作成に関する調査

5.1 適格性要件

5.1.1 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

5.1.2 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。次の 4 点を踏まえ、「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。

- 日本製品の一般的な長所として長期耐用性が挙げられる
- JCM 設備補助事業では、日本の法定耐用年数の間の設備稼働が求められており、発電設備の場合その値は 15 年である
- 本調査で対象としている設備は、他の発電方式による設備と比べ温室効果ガス排出等に関しては質的な違いは無いため、発電方式による適格性要件下での差別化は必ずしも妥当ではない

なお、本調査で検討した小型地熱発電設備は旧来の発電設備と異なり据付、取り外し、移動も容易であるため、上記適格性要件素案があてはまるか改めて検討するため、出資者 A が想定する設備利用シナリオを把握し、ACM0002 との整合性を評価した。設備の利用シナリオについて、設備保有者となる予定の現地カウンターパートの意向を確認したところ、同一サイト内で設備を移動させることも視野に入れているとのことであった。同一サイト内での設備の移動は ACM0002 と当然には矛盾しない。

5.1.3 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

5.2 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

5.2.1 課題

同種プロジェクトに適用可能な GDM 方法論は ACM0002 ” Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources” である。当該方法論は、グリッド電力代替に関連する排出削減量を評価するものであるが、①グリッド排出係数が低いエチオピアへの適用が困難、②非凝縮性ガスのモニタリングが煩雑、等の課題がある。

特に①については、水力が電源の 98%以上を占め、火力発電所が停止されているエチオピアでは現状、既存発電所からの排出によるグリッド排出係数は実質的に 0 である。このため、通常の GDM として、地熱発電所が既存のエチオピア国の電力系統を代替するプロジェクトを成立させることは難しい。

そもそも電化率が低く、非電化地域においてディーゼルが発電の主体を占めているエチオピアの実情を勘案すると、グリッドに供給される電力は既存の電力を代替することなく、既存の電力に追加され自家発電等を代替すると考えられるところ、ベースラインとしてあくまで既存グリッド代替を基本としている ACM0002 の考え方は必ずしも十分とはいえない。

表 5-1 これまでの地熱発電の主な JCM 実現可能性調査における主要論点

国名	時期	委託元 (敬省略)	受託者 (敬省略)	MRV 方法論の主要論点
インドネシア	2010 年度	経済産業省	三菱商事	<ul style="list-style-type: none"> ・接続先グリッドの排出係数算出方法 ・モニタリング対象のガス ・既存設備の更新・出力更新 など
	2011 年度	NEDO	丸紅／三菱商事	
	2011 年度	NEDO	住友商事／富士電機	
	2012 年度	NEDO	三菱総合研究所	
フィリピン	2010 年度	経済産業省	東芝	<ul style="list-style-type: none"> ・接続先グリッドの排出係数算出方法 ・モニタリング対象のガス など
	2012 年度	NEDO	新日本サステナビリティ	
コロンビア	2011 年度、2012 年度	GEC	三菱総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・接続先グリッドの排出係数算出方法 ・抑圧された需要の取扱 ・モニタリング対象のガス など
ケニア	2013 年度	GEC	プライスウォーターハウスクーパーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・接続先グリッドの排出係数算出方法 ・モニタリング対象のガス ・適格性要件における日本技術の反映 など
グレート・リフト・バレー (特にジブチ、エチオピア、ルワンダ)	2011 年度、2012 年度	NEDO	監査法人トーマツ／三菱重工業／三菱総合研究所／丸紅	<ul style="list-style-type: none"> ・接続先グリッドの排出係数算出方法 ・モニタリング対象のガス など
ジブチ、ルワンダ	2013 年度	経済産業省	監査法人トーマツ	—

(出所) 各種資料を基に作成

5.2.2 プロジェクト排出量の設定

本調査では、ACM0002のプロジェクト排出量の考え方を基本的に踏襲することとした。

ACM0002では、プロジェクト排出量 (PE_y) として、②-1 サイトでの化石燃料消費 ($PE_{FF,y}$)、②-2 発電所からの蒸気に含まれる非凝縮性ガス ($PE_{GP,y}$) を設定している。地熱貯留層の非凝縮性ガスは、通常は主に CO_2 、 H_2S 、及び CH_4 を中心とする炭化水素を含んでいる。

非凝縮性ガスは蒸気と共に発電プラントに流入する。非凝縮性ガスの大部分は、地熱貯留層に還元されるか冷却塔から大気に放出される。ACM0002では、保守性の観点から、発電プラントの中に入る全ての非凝縮性ガスが冷却設備を通じて大気に放出されると仮定している。一方、井戸の試験と取水に伴う一時的な CO_2 及び CH_4 の排出は、微量であるため、プロジェクト排出量から除外している。

掘削完了後、予定の温度・圧力・流量の熱水または蒸気が得られるかを確認するために、噴気試験が実施される。噴気試験中は蒸気が大気に放出されるが、その期間は通常数週間程度である。試験終了後は、特にルーチン作業として弁を開けることはないため、噴気試験後の NCG の放出はごく微量であり、無視できる。

表 5-2 ACM0002 における排出削減量の算定方法

<p><リファレンス排出量></p> $RE_y = RG_{PJ,y} \times RF_{grid,CM,y}$ <p>RE_y: Reference emissions in year y [tCO_2/y] $RG_{PJ,y}$: 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] $RF_{grid,CM,y}$: Combined margin CO_2 emission factor for grid connected power generation in year y calculated the latest emission factor [tCO_2/MWh]</p> $RF_{grid,CM,y} = RF_{grid,OM,y} \times 0.5 + RF_{grid,BM,y} \times 0.5$ <p>$RF_{grid,OM,y}$: Operating margin CO_2 emission factor for grid connected power generation in year y calculated the latest emission factor [tCO_2/MWh] $RF_{grid,BM,y}$: Build margin CO_2 emission factor for grid connected power generation in year y calculated the latest emission factor [tCO_2/MWh]</p> <p><プロジェクト排出量></p> $PE_y = PE_{FF,y} + PE_{GP,y}$ <p>PE_y: Project emissions in year y [tCO_2/y] $PE_{FF,y}$: Project emissions from fossil fuel consumption in year y [tCO_2/y] $PE_{GP,y}$: Project emissions from the operation of geothermal power plants due to the release of NCG in year y [tCO_2/y]</p> $PE_{FF,y} = PFC_{i,y} + NCV_{i,y}$ <p>$PFC_{i,y}$: Project consumption of fossil fuel i of the applicable equipment in year y [kl, t, 1000Nm³/y] $NCV_{i,y}$: Net calorific value of fossil fuel i (diesel, kerosene, natural gas, etc.) in year y [tCO_2/y]</p> $PE_{GP,y} = (W_{steam,CO_2,y} + W_{steam,CH_4,y} \times GWP_{CH_4}) \times M_{steam,y}$

$W_{steam, CO_2, y}$: Average mass fraction of CO_2 in the produced steam in year y [t CO_2 /t steam]
$W_{steam, CH_4, y}$: Average mass fraction of CH_4 in the produced steam in year y [t CH_4 /t steam]
GWP_{CH_4} : Global warming potential of CH_4 valid for the relevant commitment period [t CO_2 /t CH_4]
$M_{steam, y}$: Quantity of steam produced in year y [t steam/y]

(出所) ACM0002 を基に作成

表 5-3 GHG排出源

項目		GHG		説明
① レファレンス排出量	①-1 電力代替	CO_2	Included	主要排出源。
		CH_4	Excluded	簡略化のため除外。保守的。
		N_2O	Excluded	簡略化のため除外。保守的。
② プロジェクト排出量	②-1 サイトでの化石燃料消費	CO_2	Included	主要排出源。
		CH_4	Excluded	簡略化のため除外。
		N_2O	Excluded	簡略化のため除外。
	②-2 サイトからの蒸気に含まれる凝縮性ガス	CO_2	Included	重要な排出源。
		CH_4	Included	主要排出源。
		N_2O	Excluded	簡略化のため除外

(出所) ACM0002 を基に作成

表 5-4 GHG削減量算定のためのデータ

項目		排出量算定に必要な項目 (案)	単位	モニタリング方法 (MRV 案)	
① リファレンス排出量	【M】	【M】 正味発電量	MWh/年	・売電収益に関わるものであり一般的に保有される	
		【M】 電力 CO_2 排出係数	t CO_2 /MWh	・詳細は事項以降 ご参照	
② プロジェクト排出量	②-1 プロジェクトサイトでの化石燃料消費	【M】 化石燃料消費量	t/年	・直接計測が可能か要検討	
		【P】 【D】 NCV (化石燃料)	GJ/t	・IPCC 等データの適用可能性を要検討	
		【P】 【D】 化石燃料 CO_2 排出係数	t CO_2 /GJ	・IPCC 等データの適用可能性を要検討	
	②-2 サイトからの蒸気に含まれる凝縮性ガス	蒸気に含まれる CO_2 濃度			※後述
		蒸気に含まれる CH_4 濃度	t CH_4 /t		※後述
		蒸気量	t/年		※後述
		CH_4 の温暖化係数 (GWP)	t CO_2 /t CH_4		・IPCC 等データの適用可能性を要検討

注) 【M】 はモニタリング値、【D】 はデフォルト値を示す。

(出所) 本調査における検討結果

5.2.3 リファレンス排出量の設定

5.2.3.1 調査方針

本調査では、ACM0002における基本的な排出削減量の算定方法を踏襲しつつも、上述した課題（調査の中で新たな課題が見つければそれも含む）を克服し、かつ透明性を担保しつつも汎用性・簡易性を考慮したMRV方法論の作成に努めるべく、CDM関連文書（Tool to calculate the emission factor for an electricity system (Tool07)、Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies等）や、地熱発電のJCMに係る既存調査報告書等をレビューし、複数のベースラインシナリオの候補を設定し、精緻化及び妥当性検討を行った。

検討の対象としたベースラインシナリオ候補は、①グリッド代替、②「抑圧された需要」の下での最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術、③オフグリッド地域等の独立系統・自家発電の代替である。

① グリッド代替

上述の通り、既存のグリッドが水力発電等再エネに支配されている国の場合、通常のグリッド代替ではCO₂削減が認められない、もしくは僅かしか認められないものの、依然としてグリッド代替はベースラインシナリオ候補である。プロジェクト実施期間中の将来のグリッド系統電力を規定する計画があれば、その内容を反映することも考えられる（Build margin）。

② 「抑圧された需要」の下での最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術

エチオピアの実情を考慮しつつ、将来の排出増加の可能性のあるベースラインを設定するための「Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies（CDM方法論における抑圧された需要の検討に関するガイドライン）」を参考に、「最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術」を必要に応じて検討する。具体的には、先行調査（GEC「コロンビア・地熱発電導入による再生可能エネルギー開発促進に関する新メカニズム実現可能性調査」）における検討を踏襲し、CDMの目的にもある「持続可能な開発」への貢献を根拠に、不安定電源である水力発電に頼らざるを得ない燃料構成となっているエチオピアについては、最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術として安定電源（化石燃料、原子力、地熱等）を提案する。

③ 将来的にグリッドに接続されるオフグリッド地域等の独立系統・自家発電の代替

今なお8割近くを占める非電化地域が将来的に国家グリッドに接続され、以て本プロジェクトによる供給電力が独立系統、自家発電を代替するシナリオの妥当性を検討する。検討に当たり、将来のグリッド延伸に係る計画の有無、内容を確認する。妥当性が認められる場合には、代替されるオフグリッド発電等の電源、特にディーゼルが占める割合のデータの取得可能性を確認した上で、その他電源の排出係数をゼロとする等、保守的な排出係数を設定する。

5.2.3.2 ベースラインシナリオの設定

(1) ベースライン候補の検討

① グリッド代替

発電プロジェクトの実施を促進するために開発された標準化ツールの1つである GDM の「Tool to calculate the emission factor for an electricity system (電力システムの排出係数算定ツール、2007年10月初版公表)」を用いて、グリッド排出係数を計算することができる。

エチオピアの場合、上述の通り、EEPCO は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の運転を2012～2014年の間に停止してスタンバイ電源とし、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いるため、グリッド排出係数は0となることが見込まれる。よって、グリッド代替のみを考慮すると、排出削減は見込めない。

同ツールは基本的に、プロジェクトがなかった場合、既存の発電所と新設の発電所が一定割合でその電力を賄うことを前提としているため、プロジェクト発電所が供給した電力は既存のグリッド電源を代替すると想定している。しかし、エチオピアのような電化率が極端に低い低開発途上国(LDC)では、プロジェクト発電所が建設された場合、既存のグリッド電源に上乘せされ、むしろ「抑圧された需要(Suppressed Demand)」(詳細は②参照)を満たすか、オフグリッド電源を代替すると考えるのがもったいない。

Tool07 Version 04.0では、クレジット期間の半分以上にわたり「抑圧された需要」が存在する場合には、コンバインド・マージン(CM)計算時、通常はオペレーティング・マージン(OM)とビルド・マージン(BM)後者の係数を高めることを認めている。しかし、この方法は、元々再生可能エネルギーが電源の中心であったが近年になって化石燃料による発電所建設を進めている国を前提としており、近年になってむしろ火力発電所を停止し水力発電の開発を加速しているエチオピアにはそぐわない。

エチオピアの場合、近年建設された発電所はいずれも大規模水力発電所であるから、BMの係数を1とすると却ってCMの値は小さくなってしまふ。エチオピアでは、旱魃が起きると電力が不足するとはいえ、初期投資の少なさから水力に頼らざるを得ない状況である。

一方、シナリオ候補③とも関連するが、Tool07 Version 04.0は、グリッド排出係数にオフグリッド発電所を含めることを許容しており、特にLDC等の場合、各マージンにおいてオフグリッド発電量をグリッド発電量の10%とみなし、その排出係数を0.8tCO₂/MWhとする(Option IIb、候補①)ことが認められている。エチオピアはLDCであることから、この方法はリファレンス排出量算定方法候補であった。Option IIbは、デフォルト値を用いることから、算定の負荷を軽減するメリットがある。しかし、Option IIbに基き本プロジェクトのGHG削減量を試算したところ、削減量がマイナスとなった。Option IIbもエチオピアの実情を踏まえると過度に保守的である虞がある。

Tool07 Version 04.0は、オフグリッド発電所の実データに基づいた算定も認めている(Option IIa、候補①)”。エチオピアにおいては、グリッド発電所とは別に産業セクタにおける石炭火力発電のコジェネレーション設備が450MWあるとされていることから、これら石炭火力発電がオフグリッド発電の要件を満たしている場合には算定に含める潜在性は高い。しかし、現地調査の結果、実データの入手は容易ではなかった。

② 「抑圧された需要」の下での最低サービスレベルを満たすためのベースライン技術

グリッド排出係数の計算ツールは、将来建設される発電所からの排出量を反映する BM についても、既存の発電所からの排出量をベースに算定することを求めている。しかしながら、マラケシュ合意パラグラフ 46 は、将来の排出増加がベースラインシナリオになる可能性に言及されている。

表 5-5 「マラケシュ合意」の決定文書におけるベースラインシナリオに係る記述

45. ベースラインは以下のように設定されるべきこと。
- (a) 決定-/CP.7 (第 12 条) 及び現行の添付書にある承認された新方法論使用に関する規定に則り、事業参加者によって；
 - (b) 手法・仮定・方法論・パラメーター・データソース・重要要因・追加性の選定に関して透明性のある保守的な方法で、また不確実性を考慮に入れ；
 - (c) 事業別のベースで；
 - (d) 決定-/CP.7 (第 12 条) 及び COP/MOP の関連決定で規定されたクライテリアを満たす小規模 CDM 事業活動については、そのような活動のために作成された簡便化された手順に則って；
 - (e) 部門改革の取り組み、現地における燃料入手可能性、電力部門拡大計画、事業部門の経済状況など、関連の国家及び/ないし部門ごとの政策や状況を考慮して。
46. ベースラインには、排出源による将来の人為的排出量がホスト締約国に固有の状況により現在のレベルよりも高くなると予想されるようなシナリオが含まれることがある。
47. ベースラインは、事業活動外の活動レベル低下や不可抗力による活動レベル低下によって GER が得られることのないような方法で定められるべきである。
48. 事業活動のベースライン方法論を選ぶ際、事業参加者は、理事会によるあらゆるガイダンスを考慮し、以下のアプローチの中から当該事業活動にとって最適だと思われるものを選び、その選択の適切さの正当性を示すこと。
- (a) 適用可能であれば、既存の実質的あるいは過去の排出量、あるいは
 - (b) 投資に対するバリアを考慮して、経済的に魅力的なやり方となる技術による排出量
 - (c) 似たような社会的・経済的・環境的・技術的状況において過去 5 年間に行われた、そしてその実績がそのカテゴリー中上位 20%に入る同様の事業活動による平均的排出量。

(出所) GISPRI 『COP7 「マラケシュ合意」の決定文書暫定和訳』（2002 年 1 月 21 日付文書）

こうした将来の排出増加の可能性のあるベースラインを設定するためのガイドラインとして、CDM の下では「Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies (CDM 方法論における抑圧された需要の検討に関するガイドライン)」が作成されている。その概要は、下表の通りである。

表 5-6 「CDM 方法論における抑圧された需要の検討に関するガイドライン」の概要

Step 1 : 提案されたプロジェクト活動により満たされるニーズと同様のニーズを満たすことのできる、プロジェクト当事者に入手可能な技術／対策の様々な代替案を特定する。

Step 2 : Step 1 において特定された代替技術／対策のうち現地の規制を満たさないものがあつた場合、これ以降の検討から除外する。

Step 3 : Step 2 の除外後に残つた代替案を、提供サービスの効率あるいは質の高い順にランキングする。

Step 4 : Step 3 において特定された順番に代替案を評価する。以下に挙げるような障壁を持つ代替案は順番から除外する :

- (a) 所得障壁。すなわち、資本コストを満たす能力がない。
- (b) インフラの欠如 (例 : 供給／サービスインフラの不在)
- (c) 当該代替案を実施するスキルの欠如
- (d) 技術的障壁。例 : 市場浸透率が 5%以下という低い市場シェアの技術。

Step 5 : Step 4 において除外されず、かつ現実的な条件下で「最低サービスレベル (minimum service level)」を満たすことが出来る第一の代替案が、ベースライン技術／対策と見なされる。

「最低サービスレベル」の設定

最低サービスレベルは、人間の基本的要求を満たすレベルに設定される。所得の不足および高額なサービスユニットコストにより抑圧されなければ、プロジェクト活動実施の前に提供されていたサービスは上昇したと想定される。言い換えれば所得効果 (income effect、所得の上昇による排出増) とリバウンド効果 (rebound effect、サービスユニットコストの低下による排出増) を考慮したレベルが最低サービスレベルとして想定される (239 William Battye (Group Environment Renewable"s Environment Solidarity) "Suppressed demand: a stakeholder perspective" UNFCCC workshop on standards (Bonn, 9th June 2011))

最低サービスレベルを満たすベースライン技術／対策は、①障壁がなく現状で提供できるもの、②所得が上昇することにより時間の経過と共に (短期的、中期的、長期的) に提供できる

ようになるものにより構成され得る。

最低サービスレベルは現実的かつ妥当であるべきだが、過度に保守的であるべきではない。最低サービスレベルは達成可能なように長期間を想定して選択されるべきである。

最低サービスレベルの設定のため、以下のようなアプローチが利用できる :

- 国内／国際的に論文審査 (peer reviewed) を受けた調査あるいは関連研究

- 国際／国内開発目標を達成するために排出量が上昇することを考慮したベンチマーク
- さらに、最低サービスレベルの設定においては以下のことが考慮されるべきである：
- 排出削減の環境十全性が保護されなければならない。
 - CDM プロジェクトの財政的実行可能性は優位な決定基準とは成りえない。
 - 規範的意思決定は明確に参照され説明されなければならない。
 - 抑制された需要についての決定は、それらが現実的な仮説に基づいていることを確保するため、最新のデータに基づき定期的に再評価・更新されなければならない。
- 各ベースライン技術は、その技術により達成可能なレベルまでに限ってベースラインを構成する。

(出所) UNFCCC (2012) *Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies* より作成

本調査では、同ガイドラインの考え方を踏まえ、エチオピアにおける「最低サービスレベル (minimum service level)」について検討した。

最低サービスレベルは、「人間の基本的要求を満たすレベル」と抽象的に定義され、その具体的なレベルは研究論文や開発目標から設定されることが想定されているが、過去の JCM 関連調査²では「貧困がなければ達成されていたであろう電力需給のレベル」と解釈されている。本調査でも、この解釈を基本的に踏襲した。

過去の JCM 関連調査³においては、エチオピアにおける「抑圧された需要」として、貧困が無ければ達成されていたであろう電力需給レベルとして、エチオピアの NAMA に記載されている 15,761MW の目標値を提案している。また、恣意的なベースラインの設定を避けるため、ホスト国において水力が供給電力容量の 50%以上を占めていることを基準に、電力供給の安定化に資する電源（化石燃料、原子力、地熱等）に限ったベースラインの評価を提案している（候補②）。係る国では、天候の影響を受けない電力供給の安定化に資する電源開発が持続可能性の観点から重要であることから、これら電源をベースラインの対象として排出係数を特定すべきと考えられるからである。

ただし、2014 年の時点では、エチオピアが火力発電がスタンバイ電源となり、地熱発電所も稼働していないことを考慮すると、火力発電や地熱発電をベースラインとすることには躊躇いも感じられる。

ここで一度、「最低サービスレベル」の概念に立ち戻ると、電力に関しては Basic Human Needs として国際的に認められた水準を採用することが考えられる。例えば、Sanchez, T. (2010) は、エネルギー貧困の閾値として 1 人当たり 120kWh/y を設定している。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。こうした BHN 水準と実際の電力消費量との差を求めて「抑圧

² 例えば、「コロンビア・地熱発電導入による再生可能エネルギー開発促進に関する新メカニズム実現可能性調査」

³ NEDO (2012) 「地球温暖化対策技術普及等推進事業グレート・リフト・バレーにおける地熱発電プロジェクトの案件発掘調査」他

された需要」とみなし、その値を満たすための発電技術、ひいてはその排出係数を特定し、ベースライン排出係数を算定することが考えられる。

エチオピアの 1 人当たり電力消費量の最新値は 51.96 kWh (2011 年、世界銀行) または 60 kWh (2012 年、EIA) であり、上述のエネルギー貧困の閾値を下回っていることから、「抑圧された需要」が存在すると判断できる。より一般的には、「抑圧された需要」の存否を次の通り判定したい。

- (最低サービスレベル 120 (kWh/y) - 1 人当たり年間電力消費量 (kWh/y) > 0 の場合 : 「抑圧された需要」が存在する
- (最低サービスレベル 120 (kWh/y) - 1 人当たり年間電力消費量 (kWh/y) ≤ 0 の場合 : 「抑圧された需要」が存在しない

次に、「抑圧された需要」を満たすベースライン発電技術としては、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技術が妥当と考えられる。エチオピア政府関連文書によると、ケロシンによる発電を用いるのが妥当と本調査では考えた(候補②')。

Electricity consumption per capita [kWh/y]

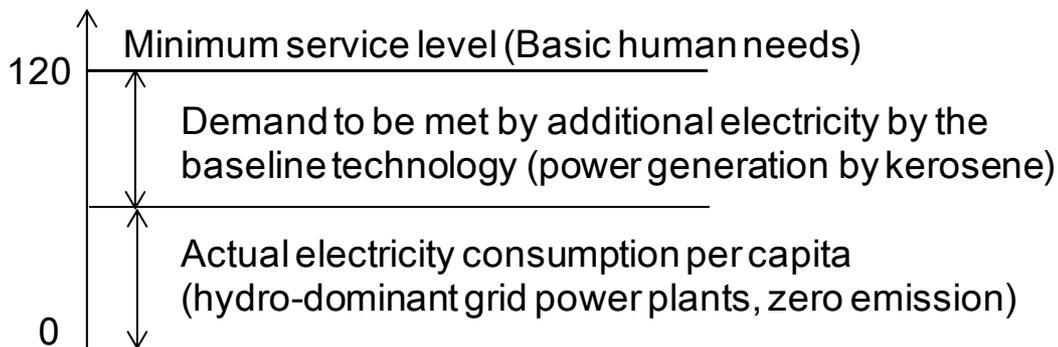


図 5-1 最低サービスレベルを満たすために必要な追加的電力の特定の基本的な考え方
(出所) 本調査における検討結果

リファレンス排出係数は、ベースライン技術の排出係数と、グリッド排出係数との加重平均とする。具体的には、次式により計算する：

i) 「抑圧された需要」が存在する場合

{ (最低サービスレベル 120 (kWh/y) - 1 人当たり年間電力消費量 (kWh/y)) × ベースライン技術の排出係数 + 1 人当たり年間電力消費量 (kWh/y) × グリッド排出係数 } / 120 (kWh/y)

ここで、グリッド排出係数(オフグリッド発電所を考慮しない)は、0 であるので、これを代入すれば、次の通りとなる：

リファレンス排出係数

= (最低サービスレベル 120 (kWh/y) - 1 人当たり年間電力消費量 (kWh/y)) × ベースライン技

術の燃料排出係数/120 (kWh/y)

- ii) 「抑圧された需要」が存在しない場合
次式を最小する：

リファレンス排出係数=グリッド排出係数

エチオピアでは、既存火力発電所の運転を停止しており、将来新たに火力発電所を建設する計画もないことから、当該計画通りに進めば、オフグリッド発電を考慮しない限りリファレンス排出係数は0となる。

③ 将来的にグリッドに接続されるオフグリッド地域等の独立系統・自家発電の代替

エチオピアのオフグリッド地域の農村家庭での化石燃料利用による発電量は、現状の 7.8TWh から 2030 年には 9.8TWh に増えると考えられており、エチオピア政府作成の” Ethiopia’ s Climate Resilient Green Economy” では、これを電力セクタの排出に計上している。

これらが今後農村電化により系統接続され、地熱発電により代替される可能性を検討したところ、外貨が不足しがちなエチオピア政府は、外貨獲得につながる近隣国への電力輸出を国内系統の延伸よりも優先していることを現地調査にて確認した。よって、オフグリッド地域等の独立系統・自家発電の代替シナリオを定量的に規定することは容易ではない。

(2) ベースライン候補に関する検討のまとめ

以上におけるベースライン候補①～③の比較検討結果を下表にまとめた。いずれも一長一短であるが、「抑圧された需要」に基く候補②' が比較的順当であると結論する。

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 GHG、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に追加的に必要な電力をベースライン発電技術が賄う場合に出される GHG の合計となる。

表 5-7 ベースライン候補の比較

候補	ベースライン	排出内訳	参照文書	長短
①	グリッド発電所	・グリッドに接続された全電源からの排出	ACM 002	・水力主体のエチオピアの実情にそぐわない
①'	グリッド及びオフグリッド発電所 (デフォルト値使用) ※ホスト国の条件: LDC であること他	・グリッドに接続された全電源からの排出 ・オフグリッド発電所からの排出 (各マージンの10%、排出係数は0.8t-CO ₂ /MWh)	Tool to calculate the emission factor for an electricity system (ver.4), Option IIb	・算定は容易 ・過度に保守的な虞
①''	グリッド及びオフグリッド発電所 (実データ使用)	・グリッドに接続された全電源からの排出 ・オフグリッド発電所からの排出 (実データ)	同上, Option IIa	・オフグリッド発電書の実データ入手が困難
②	グリッドに接続された安定 (ベースロード) 電源 (「抑圧された需要」下の「最低サービスレベル」) ※ホスト国の条件: 水力が供給電力容量の50%以上を占める国	・グリッドに接続された安定電源 (エチオピアの場合、火力及び地熱だが、現在は双方稼働していない) からの排出	Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies	・算定が容易 ・火力発電を停止しているエチオピアの実情に必ずしもそぐわない
②'	BHN (例えば 120 kWh/y per person) を満たす電力供給 (グリッド発電及び、不足分電力のベースライン技術 (ケロシン) による発電	・グリッドに接続された全電源からの排出 ・抑圧された需要を満たせる発電技術による排出 (自家発電等に用いられている火力発電が妥当と考えられる)	同上	・算定が比較的容易 ・1人当たり電力消費量は最新値でも 2011 年

(出所) 本調査における検討結果

5.2.4 排出削減量の算定

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。

5.2.4.1 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 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：

$$PEy = PEFF, y + PEGP, y$$

PEy: 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]

化石燃料の燃焼は当面想定されないため、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。

○参考となる実データ

既に述べたように本プロジェクト対象地域では現在のところ深部地熱井が掘削されていないため、蒸気中に含まれる NCG に関するデータはない。

参考までに、Aluto Langano 地域における既存地熱井のガス分析データは、表 5-2 に示すとおりである。

表 5-8 Aluto Langano 地熱井のガス濃度一覧表

WELL	YEAR	NCG		CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	T(DAP)	T(CO ₂ /H ₂)	T(H ₂ S/H ₂)	T(CH ₄ /CO ₂)
		mole% in steam	wt% in steam									
LA-3	1999	2.66	6.18	97.59	0.84	0.169	0.119	1.285	242	263	277	270
LA-3	2000	2.43	5.66	97.08	0.70	0.188	0.308	1.727	240	264	282	262
LA-3	2001	2.22	5.23	98.74	1.09	0.016	0.034	0.116	205	234	232	346
LA-4	1999	6.82	15.15	99.54	0.04	0.000	0.127	0.292	97	186	226	315
LA-4	2001	3.50	8.15	99.84	0.13	0.000	0.015	0.019	117	183	200	420
LA-6	2000	3.33	7.70	98.29	0.78	0.295	0.313	0.322	199	270	287	311
LA-6	2001	3.43	7.96	98.77	1.18	0.013	0.021	0.015	159	231	227	430
LA-8	1999	3.41	7.93	99.26	0.16	0.049	0.182	0.351	200	247	284	309
LA-8	2001	2.20	5.22	99.52	0.39	0.014	0.045	0.029	200	231	246	400

(出所) 経済産業省 (2010)

Aluto Langano 地域における蒸気中の非凝縮性ガス濃度は 5~15wt% であり、地熱井としては高い濃度を示す。分析値を平均すると、蒸気中の非凝縮性ガス濃度は 7.69wt%、非凝縮性ガス中の CO₂ 濃度は 98.73wt%、同じく CH₄ 濃度は 0.46wt% である。

○プロジェクト実施主体による想定データ

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

度の上位値として以下を提示している。

表 5-9 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。

5.2.4.2 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、

$$REy = RGPJ, y * RF, CM, y$$

REy: 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。

表 5-10 デフォルト値 (IPCC のデフォルト値に基づくケロシンの排出係数、及び火力発電の発電効率)

項目	燃料	数値	単位
CO ₂ emission factor of the baseline technology	Other Kerosene	0.07	tCO ₂ /GJ
CO ₂ emission factor of the power generation by the baseline technology	Other Kerosene	0.86	tCO ₂ /MWh
Default efficiency factors for power plants	Oil	0.30	—

(出所) IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; UNFCCC (2013) Tool to calculate the emission factor for an electricity system Version 04.0 (Tool07)*

グリッド排出係数 EF_{grid,y} については、2.2.6 で見たとおり、EEPC0 (現 EEP) 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、EEPC0 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。

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

以上より、リファレンス排出量として、以下を得る：

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

5.2.4.3 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。

5.2.4.1、5.2.4.2により、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。

5.3 プロジェクト実施前の設定値

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

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.3.4 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）

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。

5.3.5 その他

(1) 電力消費量の最低サービスレベル（エネルギー貧困）（kWh/y）

5.2 で検討した「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。

(2) 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。

引用文献

- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2012）『2011 年度コロンビア・地熱発電導入による再生可能エネルギー開発促進に関する新メカニズム実現可能性調査』
- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2013）『2012 年度二国間オフセット・クレジット制度の JCM/BOCM 実現可能性調査（FS）「『抑圧された需要』下での地熱発電の開発促進』』
- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2014a）『2013 年度 JCM 実現可能性調査（FS）地熱発電事業』
- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2014b）『2013 年度 JCM 実現可能性調査（FS）バイナリー地熱発電』
- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2014c）「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業）交付規程」（平成 26 年 4 月 15 日 G E C 第 29 号）
- 公益財団法人地球環境センター（GEC）（2014d）「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業）により取得した財産の処分承認基準」（平成 26 年 4 月 15 日 G E C 第 30 号）
- 公益財団法人地球環境センター（2014e）「JCM 設備補助事業の概要について～平成 26 年度二国間クレジット制度を利用したプロジェクト設備補助事業公募説明会～」
- エチオピア投資庁（2014）「エチオピアに関する投資案内～投資機会と環境 2013」
- 経済産業省（2010）「エチオピア国・アルトランガノ地域地熱電源開発調査報告書」
- 経済産業省（2011a）「平成 22 年度地球温暖化対策技術普及等推進事業（第一次）調査「インドネシア共和国における地熱発電の普及による GHG 排出削減に関する F/S 調査」報告書
- 経済産業省（2011b）『平成 22 年度「地球温暖化対策技術普及等推進事業」二国間クレジット制度 FS 調査事業「フィリピンにおける地熱発電による温室効果ガス排出削減に関する調査』』
- 経済産業省（2014）『平成 25 年度地球温暖化対策技術普及等推進事業調査「東アフリカにおける地熱発電の普及に向けた政策提言および事業スキームに関する調査」
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2012a）『平成 23 年度成果報告書「インドネシア共和国における地熱発電設備（フラッシュ方式及びバイナリー方式）導入に伴う温室効果ガス排出削減プロジェクトの案件発掘調査」
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2012b）『平成 23 年度成果報告書「インドネシア国における新設地熱発電プロジェクトの案件発掘調査』』
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2012c）『平成 23 年度成果報告書「グレート・リフト・バレーにおける地熱発電プロジェクトの案件発掘調査』』
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2013a）『平成 24 年度成果報告書「インドネシア国における新設地熱発電プロジェクトの案件組成フォローアップ調査』』
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2013b）『平成 24 年度成果報告書「ジブチおよびエチオピアにおける地熱発電プロジェクトの案件組成調査』』
- 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2013c）『平成 24 年度成果報告書「フィリピン共和国における地熱フラッシュ発電及びバイナリー発電導入に伴う温室効果ガス排出削減プロジェクトの組成調査』』
- Federal Democratic Republic of Ethiopia, the (2012) *Ethiopia's Climate Resilient Green Economy*
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

- International Energy Agency (2013a) *CO₂ Emissions From Fuel Combustion 2013 Edition*.
- International Energy Agency (2013b) *Energy Balances NON-OECD Countries 2013 Edition*
- Ministry of Finance and Economic Development, the Federal Democratic Republic of Ethiopia (2006) *A Plan for Accelerated and Sustained. Development to End Poverty (PASDEP). 2005/06-2009/10*
- Ministry of Finance and Economic Development, the Federal Democratic Republic of Ethiopia (2010) *Growth and Transformation Plan 2010/11-2014/15*
- Ministry of Water and Energy, the Federal Democratic Republic of Ethiopia (2012) *Scaling-up Renewable Energy Program Ethiopia Investment Plan (Draft Final)*
- Sanchez, Teodoro (2010) *The Hidden Energy Crisis: How Policies are Failing the World's Poor*, Practical Action Publishing.
- Teklemariam, Meseret & Kebede, Solomon (2010) *Strategy for Geothermal Resource Exploration and Development in Ethiopia*
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2012) *the Marrakech Accords*
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2012) *Guidelines on the consideration of suppressed demand in CDM methodologies*
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2013) *Tool to calculate the emission factor for an electricity system Version 04.0 (Tool07)*
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2014) *ACM0002: Grid-connected electricity generation from renewable sources – Version 16.0*
- World Bank (2012-2014) *World Development Indicators 2012, 2013 and 2014*
- World Trade Organization, *World Tariff Profiles 2013*
- Yiheyis

以上