

IV 環境社会配慮のための補足調査

GDCが開発権を有する地熱有望地点において、既往の環境社会配慮調査に関する資料・データレビューを行い、必要な地点に関しては現地視察や地熱の直接利用に関する住民インタビュー等による初期調査（IEE）を実施した。既存資料のレビューは第1期に行い、必要な現地視察等は第2期の現地調査で実施した。

なお、GDCのマスタープランが実行される段階で、我が国有償資金協力事業として実施するために、環境及び社会面の配慮等でどのような詳細調査が必要となるかを計画するための基本的な情報を調査し、収集・整理することを目的とした。

IV -1 環境社会配慮調査に関する資料・データレビュー結果

IV -1.1 EIAも含むケニア国の制度、関係機関に関する情報

(1) EIA関連のケニアの政策、国家計画

ケニアにおける環境の保全と管理に関する重要な枠組みとなる法律文章としては、以下のものがあげられる。

- i. ケニア国憲法 (Constitution of Kenya)
- ii. ケニアビジョン2030「環境と開発」(Kenya Vision 2030, Session Paper No. 6 of 1999 on Environment and Development)
- iii. 環境保全及び調整に関する法律 (Environmental Management and Coordination Act (1999))

(2) EIA関係法令と関係機関（環境、社会面での個別項目の法令含む）

ケニアにおけるEIA手続きは、環境保全及び調整に関する法律 (Environmental Management and Coordination Act、1999、以下、EMCA) に則り、実施される。EMCAの主目的は、国内の経済的及び社会的開発に対して環境配慮の法的枠組みを与えることである。EMCAの目的を運用するために設立された主要な機関は国家環境管理局 (the National Environment Management Authority: NEMA) である。EMCAのセクション147のもと、環境に関する事項に関係する大臣は、関係するリード機関と協議の上、EMCAの条件を満たすための規制を行う。

(3) EMCA改正案概要

EMCAは2015年に改正された。本プロジェクトに関連する可能性のある項目を以下に抜粋して記載する

- 地方やコミュニティー等の自発的な環境的取り組みが促進され、土地利用方法としてコミュニティーによる保護区としての管理も推奨される。
- 内閣 (Cabinet Security) は総合的環境影響評価 (Integrated Environmental Impact Assessment: IEIA) や環境監査の規則やガイドラインを作成することになる。
- 環境影響評価報告書 (Environmental Impact Assessment) に虚偽記載をした場合などの罰則が定められる。

- 66KVA 未満の送電線はEIA の対象外となる。
- また、EMCA の運用方針として、従来、国や州が規制等の指導的立場であったが、郡(County) の地方自治が促進されること、国は環境基準に関し、最低基準を設定、提案し、その値を元に、郡が各地方で適用される基準値を設定することとされている。

(4) 環境、社会関係法令及びその関係機関

国際協力機構環境社会配慮ガイドラインのチェックリストに記載されている項目に該当するケニア国内の関係法令とケニア国が批准等している国際条例、また、その関係機関を以下の表にまとめた。表 IV-1-1~5 に示した項目は環境社会配慮に関する JICA ガイドラインに基づいており、土壌汚染、地盤沈下、景観、気候変動といった項目についてはケニアでは該当する法令が確認されない項目もあった。また、国際条例に対する参画も限定的であった。

表 IV-1-1~5 に示したように、国家環境管理局 (NEMA) が環境関連法令の実施に対して主として責任を有している。また、一方で、文化省、土地住宅都市開発省、交通省、厚生省といった他の省庁がその他社会面で主たる責任を有している。また、実際の地方レベルでの行政活動に関しては各地方自治体が関係法令の遂行に主たる役割を担っている。

表 IV -1-1 環境・社会関係法令及びその関係機関（1）

項目	ケニア国内関係法令	国際条約等	関係機関
大気質	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination Act, 1999 • The Environmental Management and Coordination (Air Quality) Regulations, 2008 (Draft) 		NEMA
水質	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination Act, 1999 • Water Resources Management Rules, 2006 • The Environmental Management and Coordination (Water Quality) Regulations, 2006 • Water Quality Regulations, 2006 		Ministry of Environment and Natural Resources, NEMA
水象（水利用）	<ul style="list-style-type: none"> • Water Act, 2002 • Water Resources Management Rules, 2006 • Lakes and Rivers Act • Penal Code Cap 63 		Ministry of Water
臭気	<ul style="list-style-type: none"> • Penal Code Cap 63 		
騒音	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination (Noise and Excessive Vibration), 2009 • Penal Code Cap 63 		
振動	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination (Noise and Excessive Vibration), 2009 		NEMA, Local Authority Government
土壌汚染	該当なし		
地盤沈下	該当なし		

表 IV -1-2 環境・社会関係法令及びその関係機関（2）

項目	ケニア国内関係法令	国際条約等	関係機関
文化的・歴史的遺産	<ul style="list-style-type: none"> • National Museums and Heritage Act, 2009 • The Antiquities and Monuments Act, 1983 Cap 215 	<ul style="list-style-type: none"> • UNESCO Convention for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (世界遺産条約) 	Ministry of Culture
景観			
自然保護地区、国立公園	<ul style="list-style-type: none"> • Wildlife Conservation and Management Act, 2013 	<ul style="list-style-type: none"> • The Ramsar Convention on Wetland of International Importance Especially as Waterfowl Habitat (ラムサール条約) • UNESCO Convention for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (世界遺産条約) 	Ministry of Environment and Natural Resources, KWS
保護森林	<ul style="list-style-type: none"> • Forest Conservation and Management Bill, 2014 		KFS
地域の保護種、重要な種	<ul style="list-style-type: none"> • Wildlife Conservation and Management Act, 2013 	<ul style="list-style-type: none"> • The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (ボン条約) • Convention International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (ワシントン条約) 	Ministry of Environment and Natural Resources, KWS
生態系	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination (Wetlands, River Banks, Lake Shores and Sea Shore Management) Regulation, 2009 • The Lake and Rivers Act, (Cap. 409) 	<ul style="list-style-type: none"> • Convention on Biological Diversity (生物多様性条約) 	Ministry of Environment and Natural Resources, Ministry of Water, NEMA
地形・地質	<ul style="list-style-type: none"> • Constitution of Kenya 	<ul style="list-style-type: none"> • United Nations Convention to Combat Desertification (砂漠化対処条約) 	Government of Kenya
住民移転	<ul style="list-style-type: none"> • Constitution of Kenya • Land Act, 2012 • The Land Registration Act, 2012 • The Environmental and Land Court Act, 2011 	<ul style="list-style-type: none"> • World Bank Safeguard Policy (OP 4.12) 	Ministry of Land, Housing and Urban Development

表 IV -1-3 環境・社会関係法令及びその関係機関（3）

項目	ケニア国内関係法令	国際条約等	関係機関
社会環境	<ul style="list-style-type: none"> • Land Act, 2012 • National Land Commission Act, 2012 • Land Registration Act, 2012 • The Way Leaves Act Cap 292 • The registration of Titles Act Cap 281 • The Land Titles Act Cap 282 • Land Adjudication Act (Cap 284) • Trust Lands Act Cap 288 of 1962 (revised 1970) • Public Roads and Roads of Access Act (Cap. 399) • The local Government Act (Cap. 265) • The Physical Planning Act, Cap 286 • The Land Planning Act (Cap. 303) 		Ministry of Lands and Housing, Ministry of Transportation, Local Government
少数民族、先住民	<ul style="list-style-type: none"> • Constitution of Kenya 	<ul style="list-style-type: none"> • World Bank Safeguard Policy (OP 4.10) • United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples 	Government of Kenya
廃水、排出ガス	<ul style="list-style-type: none"> • Water Resources Management Rules, 2006 • The Environmental Management and Coordination (Water Quality) Regulations, 2006 • The Public Health Act Cap 242 • Penal Code Cap 63 		Ministry of Environment and Natural Resources, Ministry of Health, NEMA
労働安全衛生、伝染病	<ul style="list-style-type: none"> • Public Health Act Cap 242 • Occupational Safety and Health Act, No. 15 of 2007 • Use of Poisonous Substances Act (1983) • Workmen's Compensation Act (1988) • The Factories (Building Operations and Works of Engineering Construction) Rules, Legal Notice. No. 40 (1984) 		Ministry of Health

表 IV -1-4 環境・社会関係法令及びその関係機関（4）

項目	ケニア国内関係法令	国際条例	関係機関
気候変動		<ul style="list-style-type: none"> • Kyoto Protocol to United Nations Framework Convention on Climate Change (京都議定書) • The United Nations Framework Convention on Climate Change 	Ministry of Environment and Natural Resources
廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination Act, 1999 • Environmental Management and Coordination (Waste Management) Regulation, 2006 • Waste Management Regulations, 2006 (Legal notice No. 121) • The local Government Act, (Cap. 265) 		NEMA, Ministry of Environment and Natural Resources
EIA について	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination Act, 1999 • Environmental Impact Assessment and Audit Regulations, 2003 • Environmental Impact Assessment Guidelines and Administrative Procedures, 2002 • National Guidelines for Strategic Environmental Assessment in Kenya, 2012 • The Physical Planning Act, Cap 286 	<ul style="list-style-type: none"> • World Bank Safeguard 4.01-Environmental Assessment 	NEMA
戦略的環境アセスメント(SEA)について	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management and Coordination Act, 1999 • Environmental Impact Assessment and Audit Regulations, 2003 • Environmental Impact Assessment Guidelines and Administrative Procedures, 2002 • National Guidelines for Strategic Environmental Assessment in Kenya, 2012 		NEMA

表 IV -1-5 環境・社会関係法令及びその関係機関（5）

項目	ケニア国内関係法令	国際条例	関係機関
モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> • The Environmental Management and Coordination (Water Quality) Regulations, 2006 		NEMA
(地熱開発)	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermal Resource Act of 1982 • The Geothermal Resources Regulations Act, 1990 • Energy Act Cap. 12 		Ministry of Energy, GDC, KENGEN, KPLC and KETRACO

(5) EIA 制度

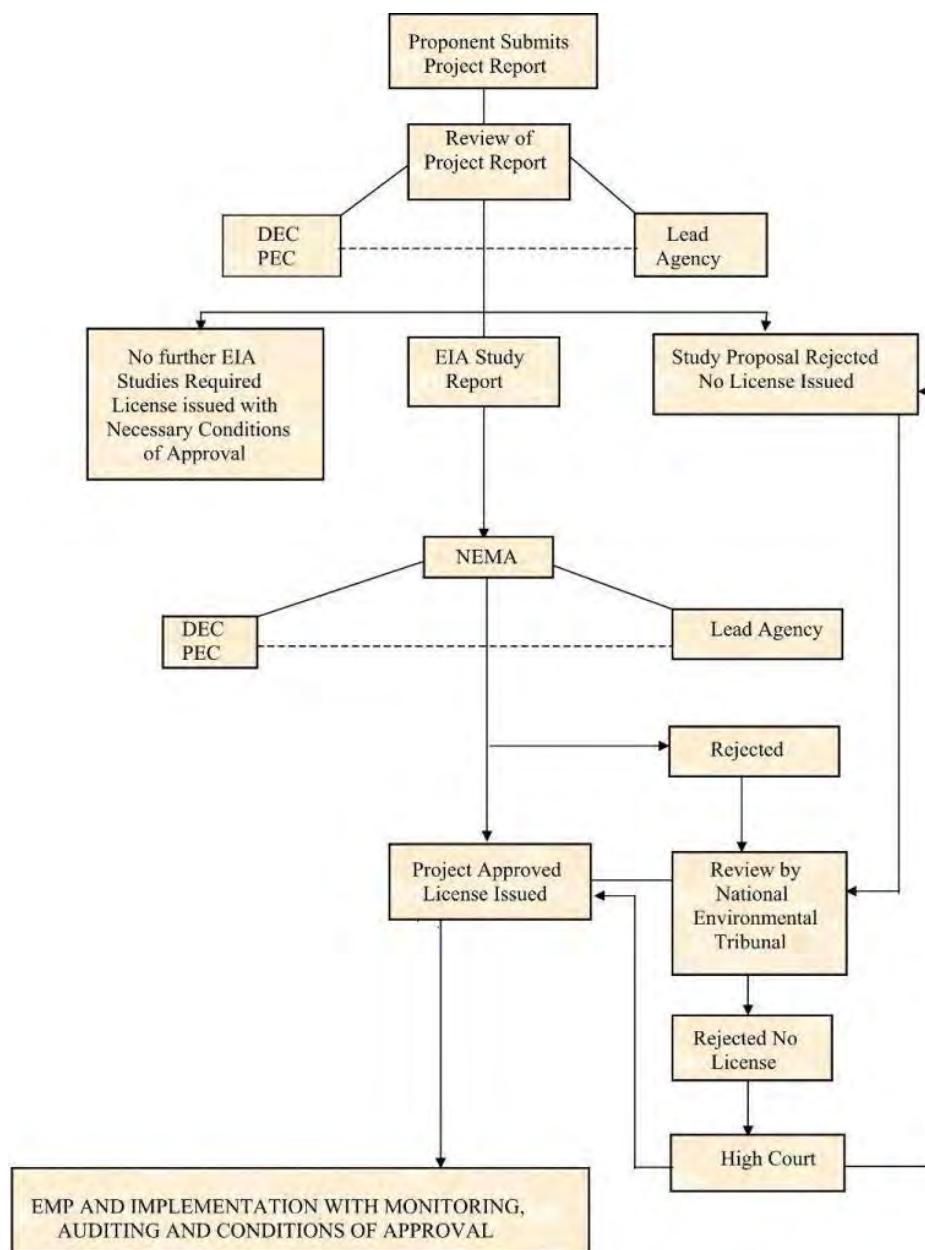
環境影響評価制度は、環境保全及び調整に関する法律（Environmental Management and Coordination Act、1999）に規定されており、具体的な手続きや環境社会影響評価報告書（Environmental and Social Impact Assessment report：ESIA）の内容等は、環境（影響評価及び監査）規則（Environmental (Impact Assessment and Audit) Regulations、2003）に規定されている。

本プロジェクトで対象とする地熱開発については、地熱発電所に係る（発電所・設備、発送変電設備、サブステーション）建設、及び地熱開発のための井戸掘削が環境社会影響評価の対象事業となっている。

(6) EIA 手続き、許認可制度の体系

環境影響評価の手続きは2段階で審査が行われる。対象事業の事業者は、プロジェクト計画書をNEMAに提出し、環境影響評価を行う必要があるか否かの判定（スクリーニング）を受ける。この結果、ESIAを作成する必要があると判断された事業については、ESIAを作成し、NEMAの審査を受ける。

NEMAは審査にあたり、事業を所管する省庁及び地方自治体の意見を求める。NEMAは審査の結果、環境に対する重大な影響がないと判断されたプロジェクトについては事業者に環境影響評価ライセンスを発行する。ESIAの作成は、NEMAの資格基準を満たし、NEMAに登録された専門家が行わなければならない。図IV-1-1に環境影響評価の手続きを示す。



Environment Impact Assessment Guidelines and Administrative Procedures (NEMA, 2002)より引用

図 IV -1-1 環境影響評価の手続き

(7) EIA 実施機関

EIA の作成は、NEMA の資格基準を満たし、NEMA に登録された専門家が行わなければならない。専門の環境コンサルティング会社やケニア国内の大学教授で構成されるグループによって、EIA が実施されている。GDC ではプロジェクトごとに3~4 グループに引き合いを出し、環境及び社会配慮の検討能力及びプロジェクト完遂の資金力等を考慮して依頼先を決定している。

(8) EIA に関する情報公開手続き等

a) 情報公開

NEMA に提出された ESIA 及び関連する書類は一般に公開される。なお、事業者は、商業上の

機密性や国家安全保障に基づき、NEMA による許可を得た情報については、非公開にすることが可能である。

また、NEMA に提出された ESIA は、関係省庁や地方自治体の環境委員会（プロジェクトによる影響をうける人々、団体、機関等により構成される）のもとに送られ、意見を求められる。

b) 環境社会配慮手続き関連

EIA 手続きに係るステークホルダー協議は、基本的にプロジェクトの計画段階、供用段階、廃止段階に行うべきものとされる。そして、プロジェクトにより影響を受ける人々や民間企業、関係省庁等を参加者に含むものとなっている。

ステークホルダー協議は、影響を受けるコミュニティとの技術的なワークショップ及び打合せ、交流、地域のリーダーとの対話、質問状・聞き取り、住民参加型の地域評価等の方法により実施することとなる。

地域住民を含む公のステークホルダー協議の告知の方法については、ポスターの掲示、新聞への情報掲載、公用語及び地方言語（英語及びスワヒリ語）によるラジオでの放送により行うこととなっている。また、地域住民を対象としたステークホルダー協議を実施し、プロジェクトの概要と影響について説明し、口頭もしくは書面によるコメントを得る必要がある。

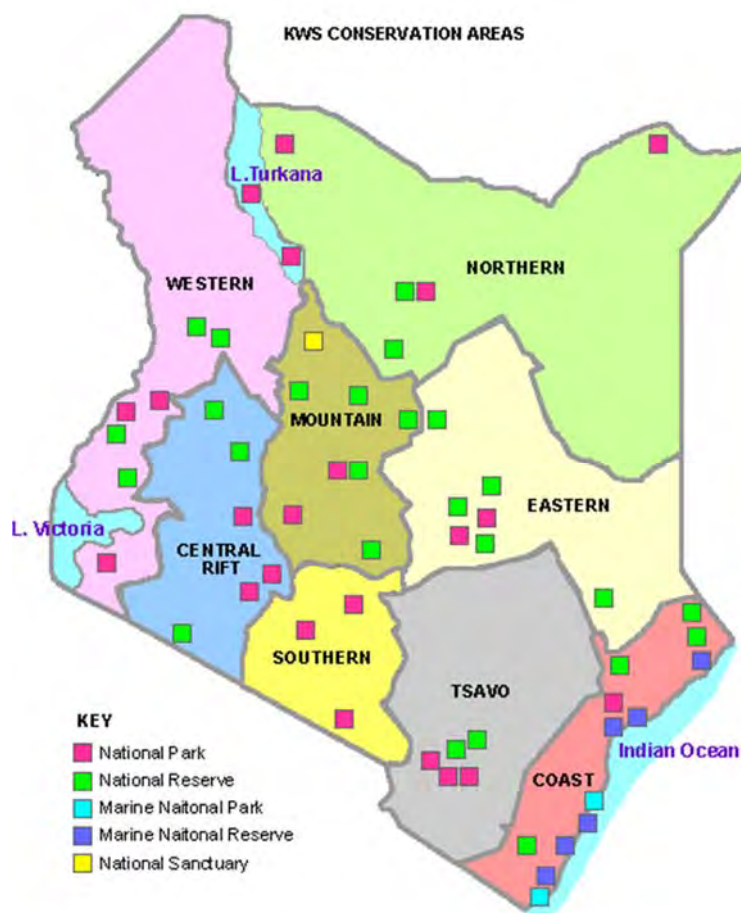
(9) EIA、環境保全に係る支援団体の機能、活動状況

a) 国家環境管理局 (National Environment Management Authority : NEMA)

国家環境局 (NEMA) は関係機関との連携、研究、促進及び執行等を通して環境の保護と質の向上を図ることをミッションとしている。NEMA は、環境に関連するすべての事項に対し、全体管理と関係機関との協調活動を行うために設立された組織である。EMCA のセクション 9 (2) に定められている 17 の機能を NEMA が行っている。

b) ケニア野生生物公社 (Kenya Wildlife Service : KWS)

ケニア野生生物公社 (KWS) はケニア国民等のためにケニアの野生生物を保護、管理することを目的としている機関である。Act of Parliament Cap 376 (野生生物の保護と管理に関する法律) に定められる野生生物の保護と管理を実施すると共に、法令や規制に関する業務も行っている。また、ケニア国の動物相だけでなく植物相の保護や生物多様性の管理も行っている。KWS はケニア国の国立公園や多くの保護区の管理を行っており、動植物関係に関する情報は KWS から収集することが出来る。KWS は複数の公園、保護区を管理しており、それらには 23 箇所の国立公園、28 箇所の国立保護区、4 箇所の海洋国立公園、6 箇所の海洋国立保護区及び 4 箇所のサンクチュアリーが含まれる。KWS は国内 8 箇所に事務所を配置しており、各々が公園・保護区の管理を行っている。図 IV-1-2 にエリアごとの国立公園、保護区、サンクチュアリーの分布を示す。エリアごとに管理担当拠点が異なっており、今回の調査対象範囲については Central Rift Conservation Area を管理しているナクル事務所及び Western Conservation Area を管理しているキタレ事務所との連携が必要となる。



出典 : http://www.kws.org/parks/conservation_areas/

図 IV -1-2 KWS の保護地域図

c) ケニア森林公社 (Kenya Forest Service : KFS)

ケニア森林公社はケニア国における森林の保護と持続可能な管理、社会経済発展と協調した自然環境保護を推進することを目的としている機関である。KFS では、生態学的に区切られた10の保護区 (Conservancy ; 図 IV-1-3 参照)、76の森林管理事務所 (Zonal Forest Office)、150の地域拠点 (Forest Station)、250の地域事務所 (Divisional Forest Extension Office) がケニア全土にあり、森林の管理及び監視等を行っている。また、森林の管理にあたっては周辺のコミュニティーとも連携して取り組んでおり、KFS に登録してあるコミュニティー森林管理団体 (Community Forest Association) は325団体ある。今回の調査対象範囲については、North Rift Area を管理しているエルドレット事務所及び、MAU 地域を管理しているナクル事務所との連携が必要となる。



出典：KFS 2012 annual report

図 IV -1-3 KFS の保護地域管理区域図

d) 水資源管理庁 (Water Resources Management Authority : WRMA)

水資源管理局は Water Act (2002) に基づき設立され、2005 年より活動を開始している機関である。WRMA はケニア国の水資源の管理する役割を担っており、合理的かつ効率的な水資源管理や複数の競合する用途に対する公平性のある水供給を目的としている。WRMA は 6 つの地方事務所 (Regional office) や 26 のサブ地域事務所 (sub-regional office) で、水資源に対する不可逆な影響からの保護や規制、許認可の発行及び監視等の業務を行っている。今回の調査対象範囲については Rift Valley Area を管理しているナクル事務所との連携が必要となる。

e) 北放牧地トラスト (Northern Rangelands Trust : NRT)

ケニア国には各コミュニティーレベルで管理している保護地域 (Community Conservancy) が存在し、KWS や KFS とともに連携しながら地方レベルで動物や自然の保護を行っている。北放牧

地トラスト (NRT) は 2004 年に設立された組織であり、現在は 27 の Community Conservancy が共同で基金の設立、管理方法等のノウハウの共有化等による各 Conservancy のサポートを行っている。今回の調査対象範囲内についてはバリンゴ湖東岸に Ruko Community Wildlife Conservancy が存在しており、この組織との連携が必要となる。

なお、NRT に加盟していない Community Conservancy も各地に存在しており、それらは一般的に、各州に登録されているとのことであった。トゥルカナ州であればキタレの事務所、バリンゴ州であればバリンゴの事務所にまずは各 Community Conservancy の登録状況を確認し、その上で各 Community Conservancy と連携をとることが必要となる。

f) ケニア国立博物館 (National Museum of Kenya : NMK)

ケニア国内の歴史、考古学、文化的な研究や啓蒙活動の中心的な役割を担っているのがケニア国立博物館 (NMK) である。各地方にも博物館や考古学サイトが存在するが、全体の管理や研究についてはナイロビの博物館が主たる拠点となっている。今回の調査対象地域には現在公開されている博物館や考古学サイトはないとのことであったが、調査中あるいは調査が予定されている考古学的発掘調査場所がトゥルカナ湖南岸からリフトバレー地域にかけて複数存在しているとのことであった。

IV -1.2 用地取得・住民移転・貧困層対策関連の情報

(1) 用地取得・住民移転・貧困層対策関連の政策・関連法制度及び手続き

a) ケニア国憲法 (Constitution of Kenya)

憲法第 60 条 (1) に土地利用の原則及び土地利用について記載されているおり、土地の権利の補償、男女差別の撤廃について記載されている。また、第 64 条で私有地の、そして第 63 条でコミュニティーによる community land の所有が認められる旨が記載されている。更に第 40 条 (3) では、公正な補償金の全額の迅速な支払を要求しており、第 40 条 (4) では法的な権利を持たない者に対しても善意で補償金が支払われるとしている。

b) 土地法 (Land Act, 2012)

公有地の管理・利用、私有地や community land の取引、地役権に関する法律である。第 111 条 (1) では全補償の迅速な支払を要求している。また、第 125 条 (1) では、土地の一時利用についても土地の関係者全員に土地を占有する前、公正な補償を実行可能な限り早く全額支払うこととしている。第 134 条 (1) では政府に替わり Commission が住居のための土地や生計について提供をする移転プログラムを実施することを要求している。

c) 土地登記法 (The Land Registration Act, 2012)

本法律に基づき、土地の権利の登記やそれに関する政府機関の設立が行われる。土地登記は土地省が管轄している。

d) 環境及び土地に関する裁判法 (The Environmental and Land Court Act, 2011)

本法律により環境や土地の利用、占有、及び権利に関する異議について裁判を行う上位裁判所を国会が設立することができる。

e) 土地取得法 (Land Acquisition Act, 2010)

この法律では、社会の一般的利益のために州政府による土地収用に関するガイドラインを提供している。同法は、取得した土地の所有者が補償されるべきであり、彼らの不満に対処することを定める

f) Way Leave 法 (Way Leave Act, 2011)

Way leave Act 292 は、任意の土地の下、または上を通過するパイプライン、運河、経路、など特定の事業開発のための法律である。同法の第3節 (セクション3) では、既存のビルやそこでおこなわれている活動を妨げない限り、政府が土地の上・中・下にて作業を行う権力が与えられている。同法第4節 (セクション4) では、通知は、事業実施前に、コミュニティーのメンバーへ完全な説明がなされ、対象地を確定しなければならないとされている。事業の損害は、所有者に補償されることになる。

(2) 用地取得・住民移転・貧困層対策の実施機関

a) District Land Board (用地取得、住民移転のみ)

District Land Boards Committee は Ministry of Land, Housing and Urban Development より、それぞれの district の中の土地の管理を委任されている。District Land Board の役割の一つとして、作物や住宅その他の資産損失に対する補償金額の一覧の作成及び毎年更新がある。

なお、ケニア政府の土地は District Land Board ではなく National Land Commission により管理されている。なお、民間の土地取引にあたっては National Land Commission は関与しない。

(3) 用地取得・住民移転の制度

用地取得法 (キャップ 295) は、民地の強制収用についての法律で、土地登録法 (キャップ 300) 及び土地タイトル法 (キャップ 281) のもとで有効である。政府の土地法 (キャップ 280) の下にある公有地も、リースの民間開発のために使用され、強制的に用地取得法の下で取得することができる。厳しい条件は、強制収用が行わなければならないことを法の下で設定している。

この場合、補償は二つの形式をとることができる。一つは現金報酬であり、他方は土地補償である。現金報酬は、法律の第9条で提供される。土地所有者の権利は彼らに直接支払われるが、紛争が長引くと、地域の委員が紛争解決保留中の法廷で資金を堆積させるために必要とされる。法律12条は、地域の委員が補償と同等の価値の土地を報酬として得ることを可能にする。

(4) 用地取得・住民移転・貧困層対策の既往実施状況

用地取得に関して、GDC の方針等の確認を行った。GDC が確認できている範囲内の情報では、本プロジェクトの対象地域の土地は個人の所有ではなく、主として各郡の District Land Board が所有している。その土地の特定、不特定の場所を Turkana や Pokot といった部族の遊牧民が使用している。GDC は開発範囲内に先住者がいる場合は、先住者と土地利用の交渉を実施し GDC による地熱開発のコンセンサスが得られた後に、District Land Board と交渉をするステップを踏む

ことを基本方針としている。なお、先住者がいない場合は District Land Board のみと交渉を行う。

IV -1.3 保護区に関する情報

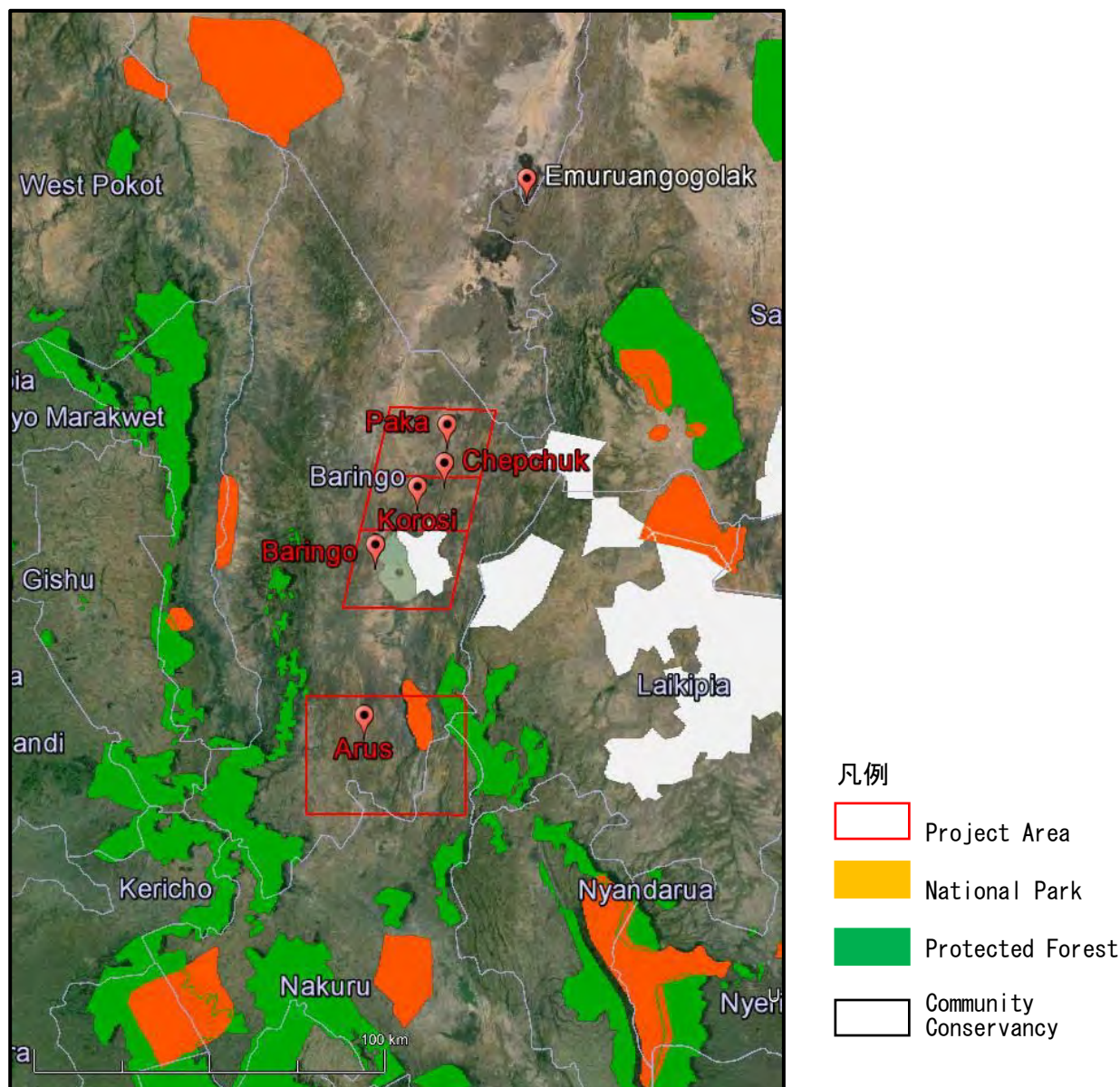
(1) 保護区カテゴリー

ケニア国における保護区カテゴリーは以下の2つのカテゴリーが認められている。

- 野生生物保護地域：国立公園、国立保護区
- 保全林：森林保護区、マングローブ林

これ以外に、ケニアでは地域密着型の自然資源保護及び管理のアプローチであるコミュニティ保護 (community conservancy) が存在する。政府が管理する保護地区と違って、コミュニティ保護では土地所有者が住民・コミュニティーであり、活動からの収益が地域社会への利益のために利用する (例：奨学金、健康管理、インフラ開発)。これらのコミュニティ保護は Wildlife Conservation and Management Act (2013) によってケニア政府に認められる。各コミュニティ保護は KWS 及び KFS と協力し、自然と動物の保護に取り組んでいる。

環境関係で影響の大きい国立公園や保護区の位置について、GDC から入手した情報を地図上にまとめた (図 IV -1-4)。



出典：(KWS、KFS 資料)

図 IV -1-4 調査地域周辺の国立公園等位置図

(2) 野生生物保護地区（国立公園、国立自然保護区）

Wildlife (Conservation and Management) Act CAP 376 により、野生生物保護地区(wildlife protected area, WPA) 及び海洋保護地区 (marine protected area, MPA) が定められている。WPA には、国立公園、国立自然保護区が含まれ、MPA には、水域で同様の役割を持つ海洋公園 (marine park) 及び海洋保護区 (marine reserve) が含まれる。

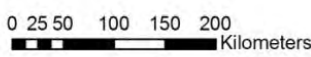
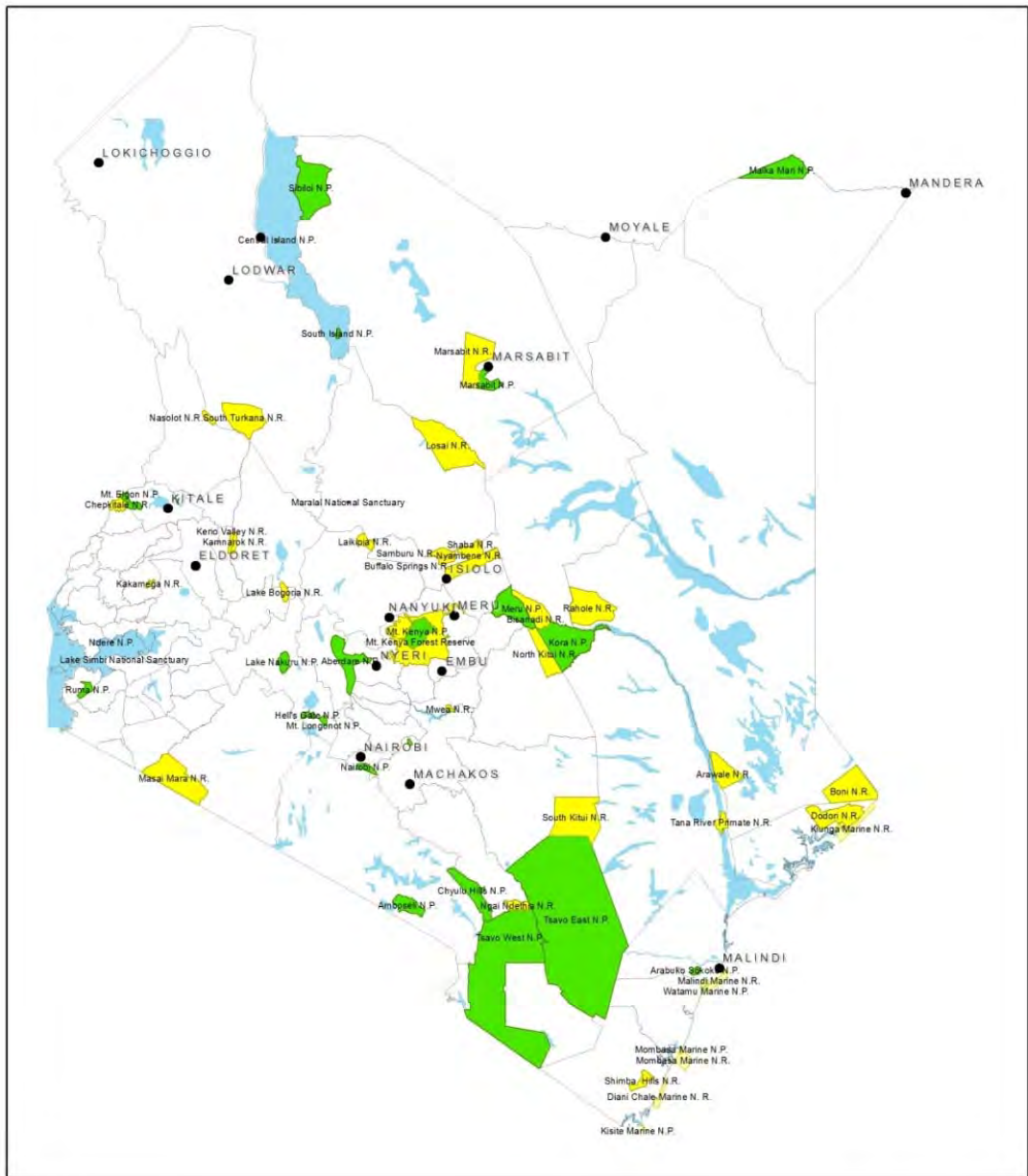
WPA 及び MPA の主要機能は、野生生物、生息地を保護することである。これにより、ケニアにおける経済活動の主要な産業である観光事業に大きな経済利益が得られる。地理的には全土にわたって 23 の国立公園、28 の国立保護地区、10 の MPA (海岸沿い) が存在し、これら野生生物保護地区はケニアの国土の約 8%を占める。登録されている WPA 及び MPA は表 IV -1-6 に示すとおりであり、それらの位置を図 IV-1-5 に示す。

表 IV -1-6 国立公園、保護区一覧

<i>National Parks (NP)</i>		<i>National Reserves (NR)</i>	<i>Marine Parks (MP), Marine Reserves (MR)</i>
Amboseli N.P	Mt. Elgon N.P	Arawae N.R	Kuinga MR
Arabuko Sokoke N.P	Nairobi N.P	Boni N.R	Mombasa M.P
Hell' s Gate N.P	Ol Donyo N.P	Buffalo Springs N.R	Kisite-Mpunguti M.P
Kora N.P	Ruma N.P	Dodori N.R	Mombasa M.R
Aberdare N.P	Kora N.P	Kakamega Forest N.R	Malindi M.P
Central Island N.P	Saiwa Swamp N.P	Kisumu Impala N.R	Mpunuguti M.R
Ruma N.P	Sibilio N.P	Masai Mara N.R	Watamu M.R
Lake Nakuru N.P	Tsavo East N.P	Arabuko N.R	Tana Delta Reserve
Marsabit N.P	Tsavo West N.P	Mwea N.R	
Meru N.P		Samburu N.R	
Mt. Kenya N.P		Shimba Hills N.R	
Chyulu Hills N.P		Marsabit N.R	
Malka Mari N.P		Tana River Primate R	
Mt. Longonot N.P		Mwalunganje N.R	
Ndere Island N.P		Witu Forest Reserve	

一方、KWSにより環境上の重要性のある地域及び絶滅寸前の生態系も特定されている。本プロジェクトに関係するサイトは以下のとおりである。

- Lake Turkana
- Mt. Kulal
- Mt. Nyiro
- Loima Hills
- Central Island National Park
- Southern Island National Park,
- Tana Primate National Reserve
- Marsabit Ecosystem
- Baringo Ecosystem

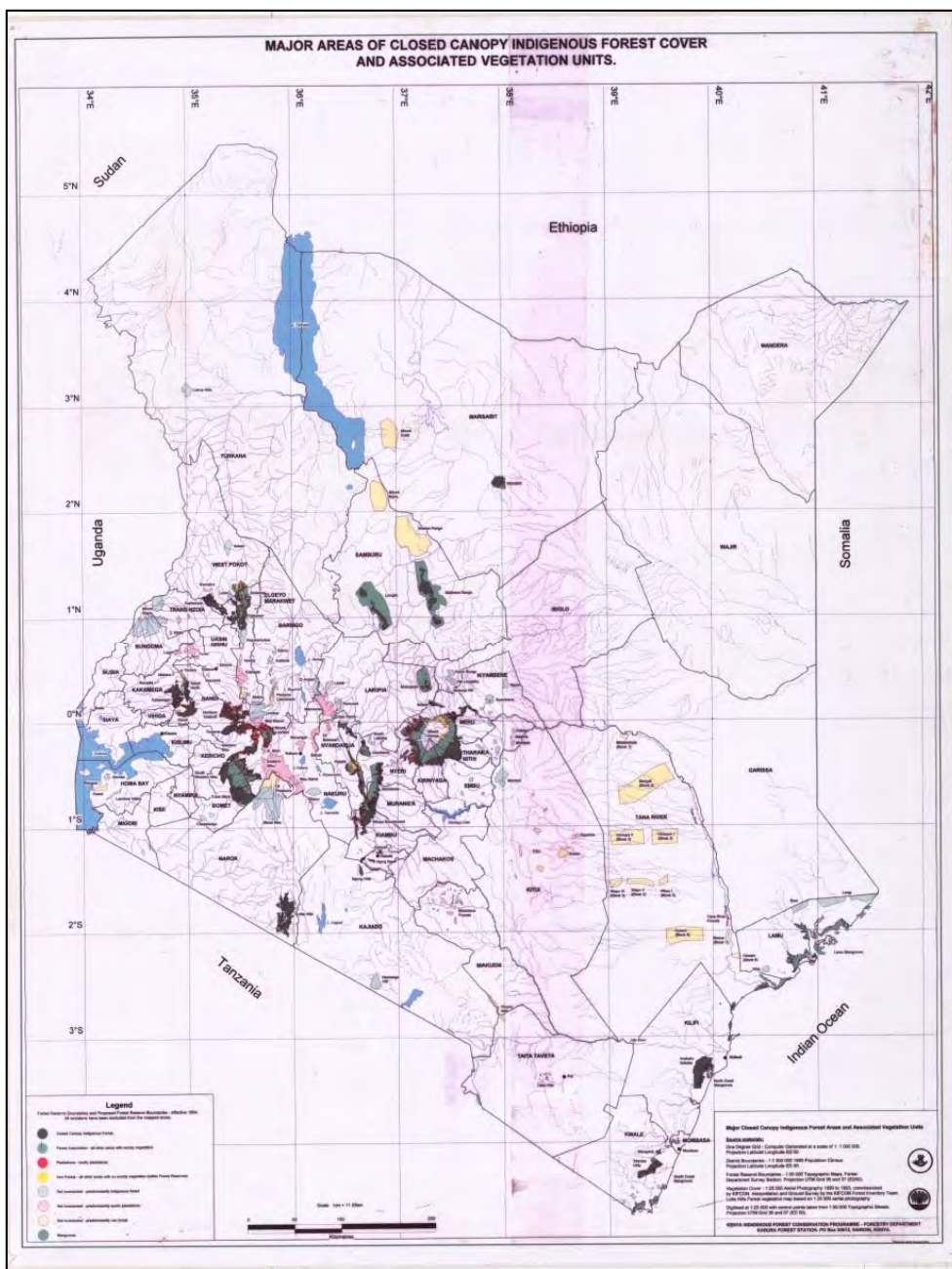


出典：KWS

図 IV -1-5 ケニア国の保護地区

(3) 森林保護地域

森林はケニア国の主要資源であり、経済、環境、社会、文化等の様々な部門に利益をもたらしている。ケニアでは、熱帯雨林、乾燥林、マングローブ、サバンナ等の林型が存在し、現在の森林被覆（図 IV -1-6）は、国土の約7%を占める(KFS Policy 2014)。Kenya Vision 2030では2030年までに国の森林被覆を10%に増加することを目標としている。森林管理はKFSの責任であり、Forestry Act of 2005に基づいて活動を実施している。森林の大きな脅威は、都市化（急激な人口増加）や森林破壊及び薪炭としての林の利用が挙げられる。



出典：KWS

図 IV -1-6 ケニア国の森林保護地域

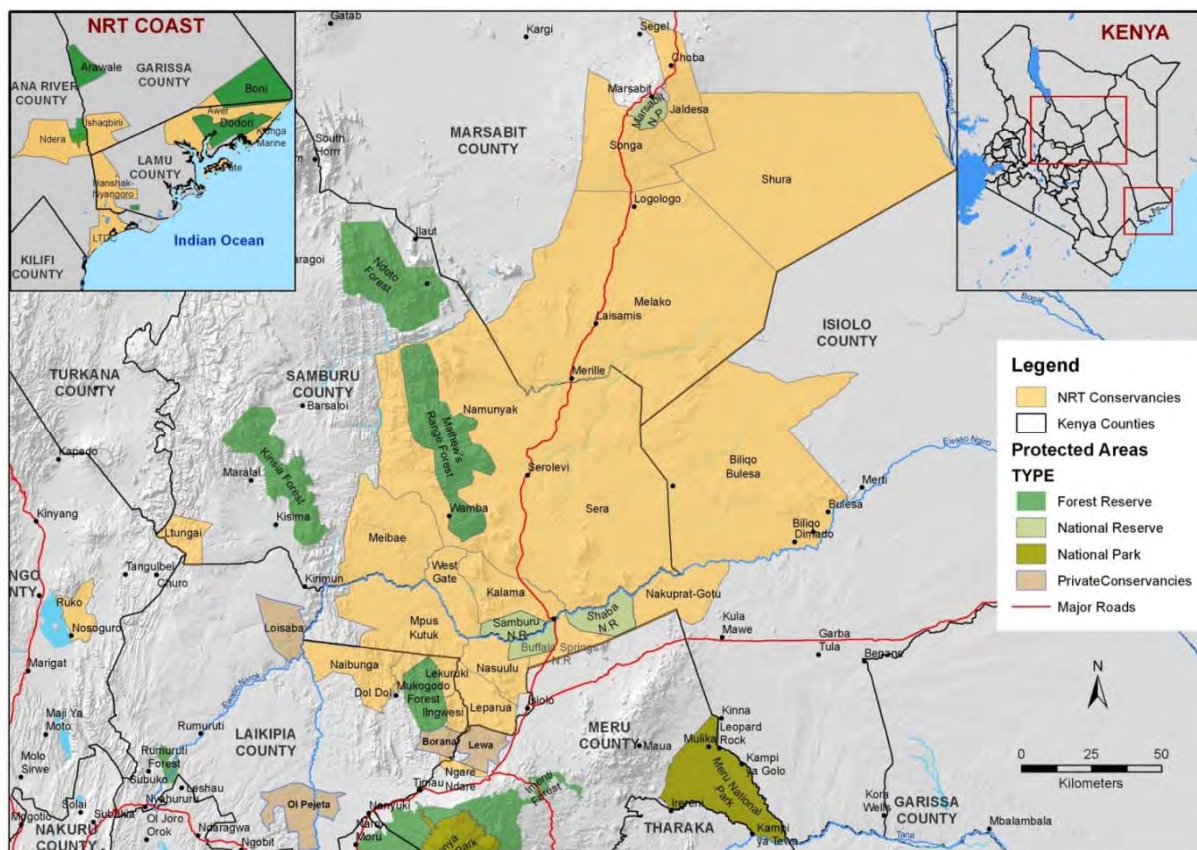
(4) コミュニティー保護地区

コミュニティの保護地区による野生生物管理・多様性保護はケニア国の戦略の一つである。野生動物管理法（Cap376）及び議会書類（ケニアにおける将来の野生生物管理政策の声明）により、国立公園や自然保護区の枠組以外にコミュニティ保護地区が認められている。国の野生生物のおよそ7割がコミュニティ・私有地（コミュニティ保護地区含む）に生息する。これらのコミュニティ保護地区は以下の役割がある。

- 繁殖地、飼育場
- 野生生物の疎開地域や回廊地帯
- 保護区の緩衝地帯
- エコツーリズム及び娯楽施設
- 野生・固有種生物の生息地
- 教育及び研究

KWSの管理者により、保護地区の宣言、登録証明書の発行が義務が付けられている。登録済みの各保護地区の位置は図IV-1-7に示すとおりである。これらにより、ケニアではコミュニティ保護地区が普及している。最も歴史の長い保護地区は、1995年に設立され、それから数が徐々に増えてきた。コミュニティ保護地区のサイズには100から10万エーカー単位のものが存在し、保護地区によって異なっている。地理的には多くの保護地区は隣接し、中部及び海岸側に集中している（図IV-1-7）。

Ruko コミュニティー野生生物保護地区（図IV-1-7の赤枠内）はバリンゴ湖の東岸に位置し、プロジェクトの影響を受ける可能性があるため、地熱発電プロジェクトの実施時には協議が望まれる。また、Arusでのプロジェクトサイトの近くにあるモロ川周辺にコミュニティ保護地区を登録する計画があるとGDCへ報告されている。



出典：NRT ホームページ

図 IV -1-7 ケニア国のコミュニティ保護地区

(5) ケニア国のラムサール条約湿地

ラムサール条約とは、湿地の保護・持続可能な利用のための国際条約で、1971年に制定され、1975年に発効した。登録数は2,122ヶ所で、面積205,366,160 haをカバーする。ケニアは168ヶ国の批准国の一つであり、6ヶ所（図 IV -1-8）、面積265,449haの湿地が登録されている。

a) Baringo 湖

バリngo湖 (00°32' N 036°05' E)は、2002年1月にラムサール条約湿地に登録された。Great Rift Valleyの北部に位置し、31,469 haの面積である。約500種の絶滅の危機にある鳥類にとっての生息地として考慮されている。Rift Valleyの2つ淡水湖の一つで、淡水魚類、カバ類、ワニ類の生息地である。バリngo湖にはMolo川、Perkerra川、Ol Arabel川が流入してきているが、バリngo湖から流出する川はない。湖中には多数の島々（一番大きい島は死火山であるOl Kokwe Island）が見られる。バリngo湖周辺には4つの部族が生活し、自然資源に依存している。また、考古学的にも重要な存在である。

b) Bogoria 湖

ボゴリア湖 (00°15' N 036°05' E)は、2001年8月にラムサール条約湿地に登録され、面積は10,700haである。ボゴリア湖にはSandai川とEmsos川から水が流入している。バリngo湖と

同様に Great Rift Valley に位置し、国際自然保護連合 IUCN により、準絶滅危惧に指定されたコフラミンゴ (*Phoenicopterus minor*) の約 100~150 万匹の生息地となっている。塩湖に分類され、絶滅のおそれのある生物 (例: IUCN 絶滅危惧 IB 類のネジツノカモシカ (湖周辺のアカシアの森林に生息)) の生息を支える。ボゴリア湖の集水地域は Subukia Forest の Subikia 及び Iguamiti のサンクチュアリを含み、面積約 1,200 km² である。

c) Elementaita 湖

Elementaita 湖 (00°46' S 036°23' E) 及びその緩衝地帯の面積は 10,880ha であり、大地溝帯の南部に位置する。2005 年 11 月にラムサール条約湿地に登録された。塩湖に分類され、多数の水生動物種の生息地である。水生動物種の中でも、食物連鎖一次生産者の藍藻 (*Spirulina plantensis*) が生息する。この藻類に依存している動物種の 1 つとしてレッサーフラミンゴがあげられ、これは IUCN の絶滅危惧種に定められている。その他に、シマウマ、ガゼル、エランド、イノシシなどが Elementaita 湖周辺に生息している。

d) Naivasha 湖

Naivasha 湖 (00°46' S 036°22' E) は、リフトバレー州の 30,000ha の淡水湖である。陸上植生 (*Acacia xanthophloea*)、湖岸、沿岸の植物の生育地となっている。Naivasha 湖は Malea dn Gilgil 川からの水の供給を受けている。

e) Nakuru 湖

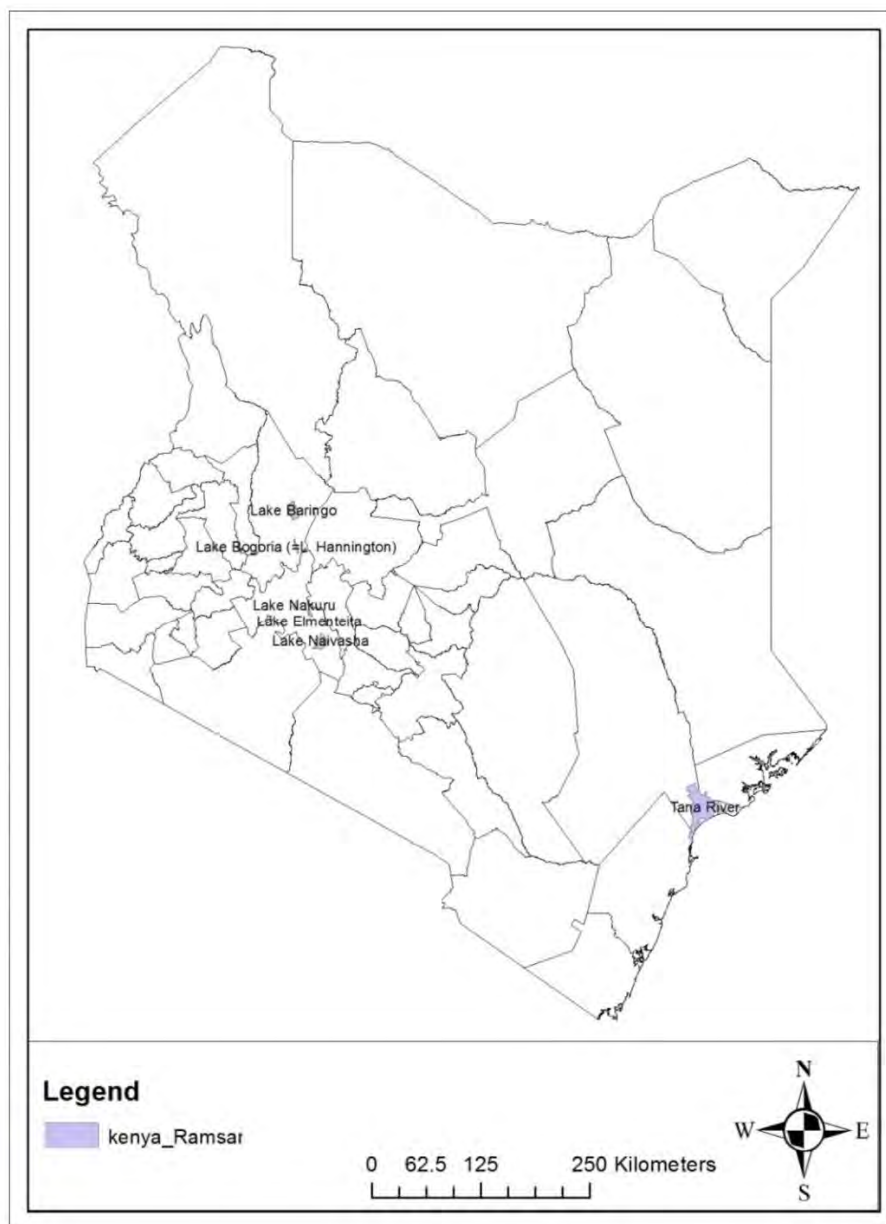
ナイロビから北側約 160km に位置するナクル湖 (00°24' S 036°05' E) は、1990 年 6 月にラムサール条約湿地に登録された。面積は約 18,000ha である。季節的に発生する河川 (Makalia, Nderit, Naishi, Njoro and Larmudiac) から水が流入している。

ナクル湖は、450 種以上の鳥類、70 種以上の水鳥 (100 万個体のオオフラミンゴ、コフラミンゴを含む) の生息地である。クロサイ、シロサイ、ライオン、キリン等の野生動物の生息地である Nakuru 湖 国立公園の中に位置する。

f) タナ川デルタ地帯

2012 年 9 月にラムサール条約湿地に登録されたタナ川デルタ地帯 (02°27' S 040°17' E) は、三角州の生態系を含む約 163,600 ha の面積である。範囲には、タナ川の流出付近の淡水、氾濫原、河口、海岸平野が存在する。三角州の森林の大部分は、耕作地やマンゴ農園に変換され、現在は、海岸林が数箇所と 4,500 ha のマングローブが存在する。

サイトには絶滅のおそれのあるウミガメ類 5 種類、エビ類、二枚貝類、魚類が生息する。ほか、アフリカゾウ、*Tana Mangabey*、*Tana River Colobus*、*White Collared Monkey* も生息する。IBA (重要野鳥生息地) に指定され、サイト内に 600 以上の植物種が特定されている。



出典：IBA

図 IV -1-8 ケニア国のラムサール条約湿地図

IV -1.4 文化遺産の保護に関する情報

(1) 世界遺産

ケニアの世界遺産登録数は6つ（文化遺産3、自然遺産3）である。詳細及び位置は、表 IV -1-7、図 IV -1-9 に示すとおりである。

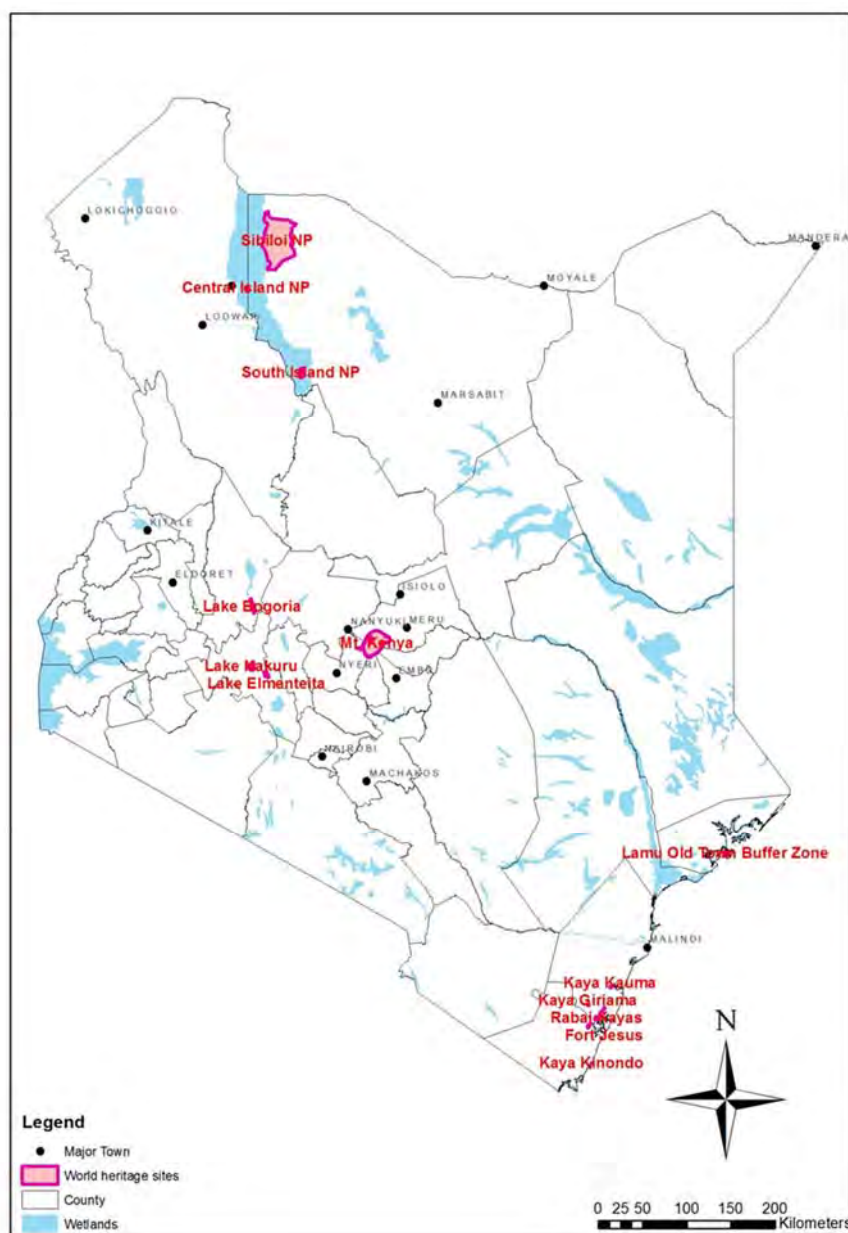
Turkana 湖国立公園は3つの公園（Sibilo National Park, South Island National Park and Central Island National Parks）からなり、全域およそ160,000ha、Turkana 湖及び周辺に位置する。

大地溝帯の中の湖水系は3つの生物学的に重要な浅い湖（Lake Bogoria, Lake Nakuru and Lake Elementaita）からなり、地球規模の絶滅危惧鳥類の主な生息域として認識されている。

表 IV -1-7 世界遺産

種類	名称	登録年
Cultural	Lamu Old Town	2001
	Sacred Mijikenda Kaya Forests	2008
	Fort Jesus, Mombasa	2011
National	Lake Turkana National Parks	1997
	Mount Kenya National Park/Natural Forest	1997
	Kenya Lake System in the Great Rift Valley	2011

出典：UNESCO



出典：UNESCO

図 IV -1-9 ケニア国の世界遺産及び湿地図

一方、世界遺産の登録申請中候補地は18ヶ所である（表IV-1-8）。

表IV-1-8 世界遺産申請中の候補地

名称	申請年
Mombasa Old Town	1997
Lake Nakuru National Park	1999
Lake Naivasha	1999
Lake Bogoria National Reserve	1999
The Historic Town of Gedi	2010
The Mfangano-Rusinga Island Complex	2010
The African Great Rift Valley –	2010
The Marakwet Escarpment Furrow Irrigation System	
The Thimlich Ohinga Cultural Landscape	2010
The African Great Rift Valley – Olorgesailie Prehistoric Site	2010
Aberdare Mountains	2010
The Eastern Arc Coastal Forests (Arabuko-Sokoke Forest and Shimba Hills National Reserve)	2010
The Kakemega Forest	2010
The Meru Conservation Area	2010
The African Great Rift Valley – Hell’s Gate National Park	2010
The African Great Rift Valley – The Maasai Mara	2010
The Tana Delta and Forests Complex	2010
Tsavo Parks and Chyulu Hills Complex	2010

出典：UNESCO

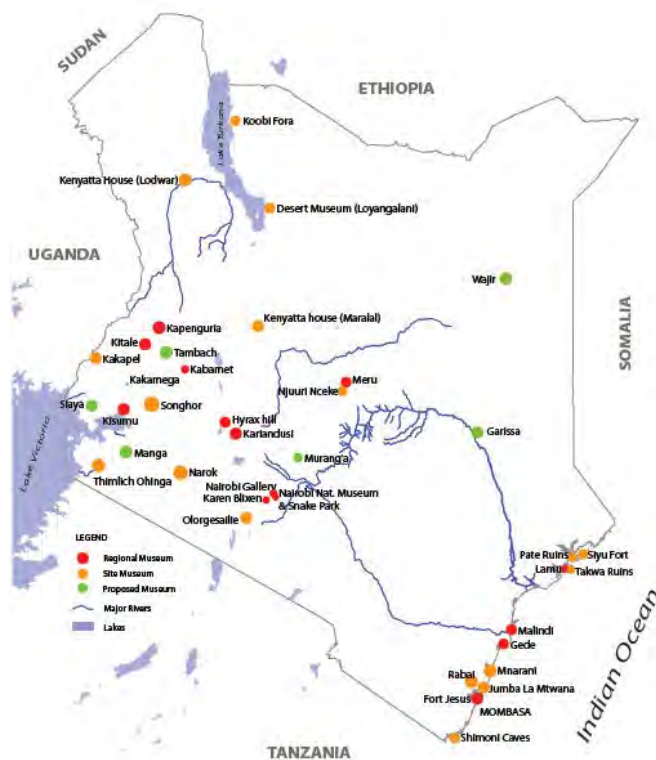
(2) 史跡及び文化遺産

National Museum and Heritage Act (2006) 及び Antiquities and Monuments Act Cap 215 により、ケニア国立博物館 (NMK) はケニアの史跡及び文化遺産を保護する義務があり、これらに関する研究及び保護活動を担当している。NMK は全国の地域ごとの博物館や数千の記念物遺跡に関するの管理等の強力なネットワークを持っている（表IV-1-9、図IV-1-10）。NMK は継続的にデータ収集をおこなっており、史跡、文化遺産に関するリストは未完成とのことであった。

表 IV -1-9 地域の博物館及び記念物遺跡

種類	名称
Regional Museum	Nairobi National Museum
	Karen Blixen Museum
	Fort Jesus Museum – Mombasa
	Lamu Museum
	Malindi Museum
	Kisumu Museum
	Kitale Museum
	Loiyangalani Museum:
	Gede Museum
	Kalenguria Museum
	Meru Museum
	Kabernet Museum
	Narok Museum
	Rabai Museum, Mombasa
Site Museum	Tom Mboya Mausoleuma at Kisumu
	Hyrax Hills National Monument at Nakuru
	Uhuru Garden at Nairobi
	Jumba la Mtwana at Mombasa
	Mnarani at Kilifi
	Siyu Fort
	Koobi Fort
	Songhor
	Takwa at Lamu:
	Thimlich Ohinga
Olorgesailie	

出典：NMK



出典：NMK

図 IV -1-10 地域の博物館及び記念物遺跡の地図

(3) 観光地

ケニアの主要な観光地として下記の5ヶ所挙げられる。

a) 大地溝帯 The Great Rift Valley

大地溝帯はケニアの唯一の地勢であり、豊富な湖や川が存在する。綺麗な光景が写真撮影や探査にお勧め。Lake Victoria が世界第二位の大きい淡水湖とされている。Lake Bogoria も有名な観光地で、温泉や間欠泉に人気である。また、大地溝帯そのものが地質学的に価値があるものであり、撮影や観光の資源となっている。

b) アフリカンサファリ及び大移動 African Safari & Great Migration

ケニアではアフリカンサファリ（特に Big 5 のゾウ、サイ、ライオン、ヒョウ、水牛の観察）が最も人気のある観光である。タンザニアの Serengeti 国立公園とケニアの Masai Mara 国立公園の間で、さまざまな動物の何万頭もの大移動が最も注目されている。

c) キリマンジャロ山、ケニア山

キリマンジャロ山はケニアとタンザニアの国境に存在するが、その大部分はタンザニアに位置する。19,000 フィート以上にそびえるキリマンジャロ山は、世界で4番目に高く、アフリカで最も高い山であり、登山などのアウトドア活動の機会を提供している。ケニア山はアフリカで2番目に高く、ケニアで最も高い山である。

d) 国立公園と保護区

ケニアの多くの野生生物は、国立の野生動物公園や保護区で観察することができる。国立公園、保護区では、観光客がライオン、チーター、サルなどのような多くの固有動物を観察することを可能にしており、国立公園や保護区を通じた野生生物の観光収入は、国家収入の大部分を占めている。

e) ケニアの沿岸水域 Coastal Region of Kenya

ケニアの主要な観光地の一つは浜辺である。地域には Watamu ビーチ及び Tiwi ビーチを含む美しい浜辺が並び、Lamu ビーチのような孤立した浜辺も存在する。美しいサンゴ礁のある Watamu ビーチではダイビングやスノクリング等の活動を提供される。その他、ヒンドゥー教寺院、Malindi の Gede 遺跡、Fort Jesus、観光地の多い Lamu 郡が有名である。

IV -1.5 環境基準及び許容値に関する情報

(1) 水

環境管理・調整（水質）規則（2006）により様々な水利用目的（例：家庭内、工業、農業、娯楽）にて水質基準が定められ、排水のガイドライン及び基準が指定されている。

地熱発電所においては、表 IV -1-10 に表示される項目により排水のモニタリングをしなければならない。各ケースによって NEMA が別の項目を追加する可能性がある。

表 IV -1-10 蒸気発電設備における排出基準

項目	最大許容限界*1
全浮遊物質	30mg/L
pH	5.0-9.0 (marine), 6.5-8.5 (non-marine)
糞便性大腸菌	30/100mL
油・グリース	Nil
温度	±3°C
色	15HU
全リン	2mg/L *2
流量	最大許容限界の定めなし*3
クロム(IV) (Cr +4)	0.05mg/L
銅 (Cu)	1.0mg/L
亜鉛 (Zn)	0.5mg/L
残留塩素	0.10mg/L
錫 (Sn)	最大許容限界の定めなし*3

Source: Water Quality Regulations (2006)

*1: 基準値は毎日・月平均の排水値

*2: この値は 2008 年 3 月発行の Guidelines on drinking water quality and effluent monitoring で定められている。

*3: 流量及び錫は水質の確認のためモニタリングすることが定められているが、最大許容限界値は法令内では定められていない。

家庭用水における水質の最大許容値を表 IV -1-11 に示す。地熱発電所から発生する熱や他の副産物の直接利用に際しては、この基準を準拠する必要がある。

表 IV -1-11 家庭用水における水質基準

項目	基準 (最大許容)
pH	6.5 - 8.5
浮遊物質 (SS)	30 mg/L
硝酸 (NO3)	10 mg/L
アンモニア (NH3)	0.5 mg/L
亜硝酸 (NO2)	3 mg/L
全蒸発残留物 (TDS)	1200 mg/L
大腸菌 (E. Coli)*	検出限界以下/100mL
フッ化物	1.5 mg/L
フェノール*	検出限界以下 mg/L
ヒ素 (As)	0.1 mg/L
カドミウム (Cd)	0.1 mg/L
鉛 (Pb)	0.05 mg/L
セレン (Sn)	0.01 mg/L
銅 (Cu)	0.05 mg/L
亜鉛 (Zn)	1.5 mg/L
アルキル・ベンゼン・スルホン酸塩 (ABS)	0.5 mg/L
COD (酸性高温過マンガン酸法)	1.0 mg/L

備考: *NEMA が規定したサンプリング・分析方法や装置に従う。

出典: Water Quality Regulations (2006)

(2) 大気

環境管理規制（大気質）は2014年4月に発行され、大気汚染の防止、緩和、抑制、管理することを目標としている。この規制により、様々な発生源（管理区域、固定汚染源、移動発生源、その他）にて大気汚染物質の許容限度のガイドラインが指定されている。その他の発生源は材料取り扱い、解体、蓄積、廃棄物焼却炉、open burning、越境大気汚染が挙げられる。

この規制は、測定、分析、検査、モニタリング、報告の方法を具体的に説明し、許可要件や手続きを提示する。規制の第1表には以下のエリアにおける大気質許容限度（12種の大気汚染物質が対象）が表示される。

- 工業地域
- 住宅地区、農村地域、その他エリア
- 管理区域

規制の第4表には地熱発電所（固定汚染源として）に対するモニタリング項目の中、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、炭化水素(HC)、硫化水素(H₂S)を含む。地熱発電所にて排出限度の詳細は表 IV -1-12 に示す。

表 IV -1-12 地熱発電所における排出抑制

大気汚染物質	制限(mg/Nm ³)
硫黄酸化物 (SO _x) (mg/Nm ³) – non-degraded area	1.5-3.0% – only justified by project specific considerations (i.e. add secondary treatment to meet levels of 1.5% Sulphur)
窒素酸化物 (NO _x) (mg/Nm ³) – non-degraded area	
硫化水素 (H ₂ S) (mg/Nm ³)	

Source: Air Quality Regulation (2014) Third Schedule

(3) 騒音

環境管理規制（騒音及び過度振動）(2009)は、ケニア国における許容騒音レベルを規定する。様々なゾーン（礼拝所、住宅地域、商業用住宅用地域、商業地）に対する許容騒音レベルを表 IV -1-13 に示す。

表 IV -1-13 許容雑音レベル

ゾーン	騒音許容制限(dBA)		騒音評価レベル(NR)	
	昼間	夜間	昼間	夜間
A 沈黙野	40	35	30	25
B 礼拝所	40	35	30	25
C 住宅地域:	屋内	35	30	25
	屋外	50	35	40
D 商業用住宅用地域	55	35	50	25
E 商業地	60	35	55	25

Source: Noise and Excessive Vibration Pollution Control (2009)

昼間は6～20時で、夜間は20～6時

建設サイトに対して、施設により最大許容騒音レベルが異なる。詳細は表 IV -1-14 に示す。測定は施設内で行うものとされている。

表 IV -1-14 建設サイトでの許容騒音レベル

施設		最大許容騒音レベル	
		昼間	夜間
(i)	医療施設、教育機関、身体障害者ホーム、等	60	35
(ii)	住宅	60	35
(iii)	(i)と(ii)の他	75	60

Source: Noise and Excessive Vibration Pollution Control (2009)

IV -1.6 調査対象範囲内で過去に実施されている EIA 情報

アルス、バリngo等の調査対象地で過去に実施されている EIA レポート等の収集を行い、対象サイト、実施時期等を以下の表 IV -1-15 にまとめた。

表 IV -1-15 環境社会影響調査報告書

レポート名	実施時期	対象地	実施者
(1) Proposed Paka-Silale Block Geothermal Exploration Drilling Works Environmental and Social Impact Assessment	February 2012	Paka, Silale	Geothermal Development Company
(2) Arus-Korosi-Chepchuk Geothermal Drilling Project, Baringo County Environmental and Social Impact Assessment Study Report	February 2012	Arus-Bogoria area, Lake Baringo area, Korossi-Chepchuk area	Geothermal Development Company
(3) Olkaria Geothermal Project Ranking of the Geothermal Prospects in the Kenya Rift Valley		Lake Magadi, Suswa Caldera, Badlands, Menengai Caldera, Arus and L. Bogoria, Korosi Volcano, Chepchuk, Paka Volcano, Silali Caldera, Emurangogolak Caldera, Namarunu, Barrier Volcanic Complex	KenGen
(4) Project Report for the Proposed Water Abstraction for Geothermal Development at Lake Baringo, Baringo County	February 2014	Lake Baringo	Geothermal Development Company

(5) Project Report for the 20-30 MWeSTEAM Gathering System and Power Plant, Baringo County Environmental and Social Impact Assessment Study Report	February 2015	North and South Districts, Baringo County	Geothermal Development Company
(6) Project Report for the 40-60 Korossi Gathering System and Power Plant for Geothermal Development at East Pokot District, Baringo County Environmental and Social Impact Assessment Study Report	February 2015	East Pokot District, Baringo County	Geothermal Development Company
(7) Project Report for the 60-80 mw Paka geothermal power plant project, Baringo County Environmental and Social Impact Assessment Study Report	March 2015	Paka Geothermal Area, Baringo County	Geothermal Development Company
(8) Project Report for the proposed 80-100 mw Silali geothermal power plant project, Baringo and Turkana Counties Environmental and Social Impact Assessment Study Report	March 2015	Silali Geothermal Field, Baringo and Turkana Counties	Geothermal Development Company

各レポート内で環境及び社会影響やその緩和策等の概要を、以下に抽出した。

(1) Proposed Paka-Silale Block Geothermal Exploration Drilling Works, Environmental and Social Impact Assessment

本EIA報告書において、パカ、シラリ地域での地熱調査ボーリングによる環境面や社会面への負の影響としては H₂S/CO₂ ガスの排出、植生への影響、文化的保護サイトや放牧地の喪失、粉塵の排出、文化の変化、HIV や AIDS といった健康上の影響が上げられていた。

また、一方で主として社会面、経済面での好ましい影響として、道路/水供給/医療施設や電力といったインフラの整備、教育施設の整備による地域コミュニティーの教育水準の向上、地域コミュニティーの雇用創出、商業機械の向上と収入の増加が上げられていた。

総括として負の影響よりも正の影響の方が大きく、調査ボーリングの実施は対象地域の環境、社会面での向上につながるものとして結論付けられていた。なお、環境への負荷の低減策として、開発地域で伐採した森林と同レベルの植林を代替地域で行うことなどが推奨されていた。

(2) Arus-Korossi-Chepchuk Geothermal Drilling Project, Baringo County Environmental and Social Impact Assessment Study Report

本EIA報告書において、アルスーボゴリア地域、バリング湖地域及びコロシーチェプチャク地域で行われる地熱調査ボーリングによる環境面や社会面への影響が検討されている。本調査では広範囲を対象としているが、特にバリング湖地域周辺は特に生物多様性に富んでおり、文化的にも考慮すべき地域であることが述べられている。また、全体として水資源が乏しい地域

であるため、調査ボーリング用水に関して配慮が必要であることが述べられている。

複数の正負の影響が検討されているが、特に地域コミュニティの関心事としては、土地や放牧地、水資源、社会的排斥に対する恐れ及び、ボゴリア湖等周辺での温泉の枯渇が上げられていた。ただし、総括としては約 95%のコミュニティからの参加者や主たるステークホルダーは地熱調査ボーリングが好ましい影響を対象地域にもたらし、現在の社会/経済面での問題を低減するものとして判断したとのことが述べられていた。

(3) Project Report for the Proposed Water Abstraction for Geothermal Development at Lake Baringo, Baringo County

本 EIA 報告書において、バリngo湖地域で行われる地熱開発に用いる水利用による環境面や社会面への影響が検討されている。主な環境面等への影響としては、地表面のかく乱、表層水の採取によるバリngo湖水の減少、土地やその他資源利用の変化、水生/陸生の動植物への影響、騒音の発生、社会システムやコミュニティへの干渉及び、現場作業員の健康や安全が上げられていた。

環境影響への緩和策としては、植生に配慮した土木工事、乾季での土木工事の実施、表層水への排水や化学物質の排出抑制とモニタリング、廃棄物管理、植生等を考慮したパイプラインの設置等があげられていた。

総括としては、環境等への負の影響よりも、社会面、経済面での好ましい影響の方が大きく本プロジェクトは好ましいものとして結論付けられている。

(4) Project report for the 20-30 MWeSTEAM Gathering System and Power Plant in Baringo County

本 EIA 報告書において、バリngo湖地域で行われる 20-30 MW 規模の地熱発電設備設置による環境面や社会面への影響が検討されている。主な環境面等への影響としては、騒音、化石燃料の使用に伴う温室効果ガス (CO₂, CO, SO₂, NO₂) や H₂S、その他のガス排出、粉塵、公衆衛生、景観の破壊が上げられた。また、周辺住民から提起された点としては、地表面のかく乱、水資源への影響、ミツバチの消失などが報告されている。

一方で、環境、社会的にポジティブな影響として、いくつか挙げられており、電気関係インフラの整備、ケニア経済への大きな貢献、地元コミュニティへの雇用創出、ケニア全域への電力供給が上げられていた。

総括としては、環境等への負の影響は容易に緩和でき、社会面、経済面での好ましい影響の方が大きく本プロジェクトは好ましいものとして結論付けられていた。

(5) Project report for the 40-60 Korossi Gathering System and Power Plant in Baringo County

本 EIA 報告書において、コロシ地域で行われる 40-60 MW 規模の地熱発電設備設置による環境面や社会面への影響が検討されている。主な環境面等へのネガティブ、ポジティブな影響については上記(4)のバリngo湖周辺におけるレポートと同様の内容であった。

(6) Project report for the proposed 60-80 MW Paka geothermal power plant project, Baringo County environmental and social impact assessment study report

本EIA報告書において、パカ地域で行われる60-80 MW規模の地熱発電設備設置による環境面や社会面への影響が検討されている。主な環境面等への影響としては、騒音、化石燃料の使用に伴う温室効果ガス(CO₂, CO, SO₂, NO₂)やH₂S、その他のガス排出、粉塵、公衆衛生、景観の破壊が上げられた。特に、クーリングタワーを経由してのH₂Sの排出が環境及び公衆へ特に影響が大きいとされている。

一方で、環境、社会的にポジティブな影響として、いくつか挙げられており、道路/衛生設備/電気関係のインフラの向上、コミュニティーの教育、周辺住民の雇用、ビジネス機会及び収入の向上が上げられている。ネガティブな影響としては、ガス(H₂S及びCO₂)の排出、開発地域内の植生の減少、粉塵の排出、HIV/AIDSを含む公衆衛生への影響、文化的価値観への影響などが挙げられている。また、カルデラ内の地表面のかく乱に対する対応は自治体、コミュニティー、関係省庁と協力していく必要があるとまとめられている。

(7) Project report for the proposed the proposed 80-100 MW Silali geothermal power plant project, Baringo and Turkana Counties environmental and social impact assessment study report

本EIA報告書において、バリngo、トゥルカナ郡のシラリ地域で行われる80-100 MW規模の地熱発電設備設置による環境面や社会面への影響が検討されている。主な環境、社会面の影響については上記(6)のパカ地域における調査報告書と同様であった。

また、その他特筆事項としては、シラリ地域はより部族間の争いが頻発しており、開発にあたってはセキュリティ面での配慮が必要であると述べられていた。

IV -1.7 調査対象範囲内で得られている許認可

IV- 1.6にまとめたとおり、対象地域内では試験井戸ボーリング、小規模電力プラントの設置工事に関してのEIAが行われ、NEMAより工事等実施のためのライセンスが得られている。また、バリngo、パカ、コロシ、チェプチャク地域でおこなうボーリングのために使用する水をバリngo湖から取水する計画となっている。取水にあたっては、WRMAより日量1,440 m³/dayの取水計画量で許可を得ている。なお、第4次現地調査を行なった2016年7月の時点では、GDCは井戸設置ボーリングを着手する前までに、Air emission、排水の排出、廃棄物の処分に関するライセンスを取得する予定とのことであった。

取水を行うバリngo湖の面積31,469 ha (314,690,000 m²)、平均水深2.5 mから算出される水量は786,725,000 m³である。仮に最大取水計画量1,440 m³/dayを1年間連続でくみ上げたとして算出した量(525,600 m³)よりも十分大きいと、著しい影響はないものと考えられるが、バリngo湖はラムサール条約湿地でもあるため、取水期間中は定期的に水位等をモニタリングすることが望ましいと考えられる。

IV -2 地熱直接利用に関する初期検討と周辺住民へのインタビュー結果

現在のエネルギーや水の利用状況、そして、今後の地熱の直接利用についての可能性を確認するため、プロジェクトサイト5箇所の周辺住民へインタビューを実施した。また、GDCがメネンガイにおいて実施している地熱直接利用に関する試験状況の情報収集を行なった。これらの結果をふまえ、各対象地域で比較的、実現可能性の高い地熱の直接利用方法をまとめた。

IV -2.1 直接利用

直接利用は、地熱の利用及び地熱発電中に生成される副次的な生産物である。生産物としては、地熱エネルギー、食塩水、復水、CO₂、H₂S、硫黄及び貴金属が含まれる。

GDCは、エネルギー利用の効率を高めるために、発電と共に直接利用する方法の開発を推進している。これは、日本を含む世界各地で行われていることではあるが、ケニアでは比較的新しい概念である。直接利用は、新しいインフラを提供することにより、地域社会に貢献することができる。例えば、一次産物に付加価値をつけたり、またその生産に関する就業の機会を提供することなどができる。GDCとしてはただ単にエネルギーを売るだけでなく、従来捨てられていた熱エネルギーを利用することにより新たな利益を獲得することを目指している。

直接利用の例は表IV -2-1のとおり。

表IV -2-1 直接利用の例

熱	<ul style="list-style-type: none"> • 農業利用：湿度を調整する為に温室の温度を上げる • 水産養殖利用：池の温度を上げる（成長促進、大型化） • 乾燥：作物、魚 • 暖房：乳製品、発酵、蜂蜜、木材パルプ • 蒸発：乳製品、蒸留 • 冷凍及び冷蔵：牛乳、肉 • 殺菌：病院、缶詰 • 化学反応：レザートリートメント • 水泳及び水浴 • 家庭内水暖房
塩水	<ul style="list-style-type: none"> • 灌漑 • 農業 • 水泳及び水浴
コンデンセート (蒸気凝縮水)	<ul style="list-style-type: none"> • 灌漑 • 水産養殖 • 水泳及び水浴 • セメント練和 • 補助の冷却 • 飲料水
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 温室 • 瓶詰め • 冷蔵
H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> • 反応させてH₂SO₄としての利用 • 酸素によるパイプ腐食の防止

IV -2.2 GDCにおける直接利用の検討状況

GDCが実施しているメネンガイにおけるパイロットプロジェクトでは、4つの検討を実施し

ている。

1. 地熱により加熱した温室栽培
2. 地熱により加熱した魚の養殖池
3. 地熱による牛乳の殺菌処理
4. 地熱による洗濯、乾燥

JICA 調査団は 2016 年 7 月にパイロットプラントを現地調査した (図 IV-2-1、図 IV-2-2)。これまでに確認されている直接利用の効果等について以下にまとめた。

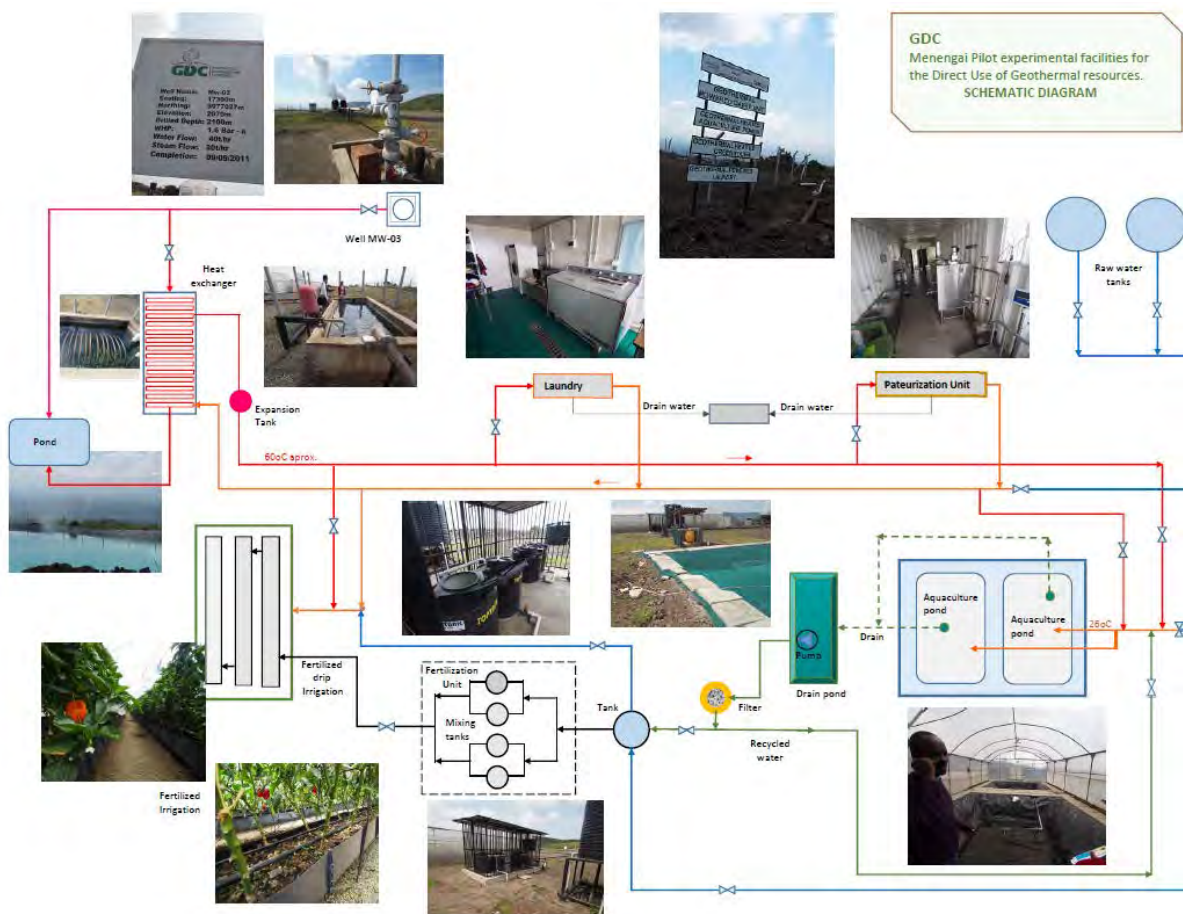


図 IV -2-1 メネンガイにおけるパイロットテスト設備配置図

メネンガイでは、掘削された井戸のうち、蒸気量が比較的少なく、発電に供用できそうにない井戸 (MW-3) において直接利用のパイロット試験が行われている。MW-3 は掘削深度 2,100 m、熱水量 40 t/h、蒸気量 20 t/h であり、回収される熱水と蒸気のうち、熱水のみを直接利用に用いている。回収される熱水を貯留した熱交換槽で、浅層地下より揚水した水を加熱し、直接利用の各試験設備に送水している。発生している蒸気及び熱交換槽内の温水からの硫黄臭はあまり強くなかった。熱水 (Brine) は井戸近傍に設置されたため池 (樹脂製のシートで底部の浸水防止がなされている) に放流され、貯められている。大部分は蒸発しており、現状ではため池からの排水の予定はない。

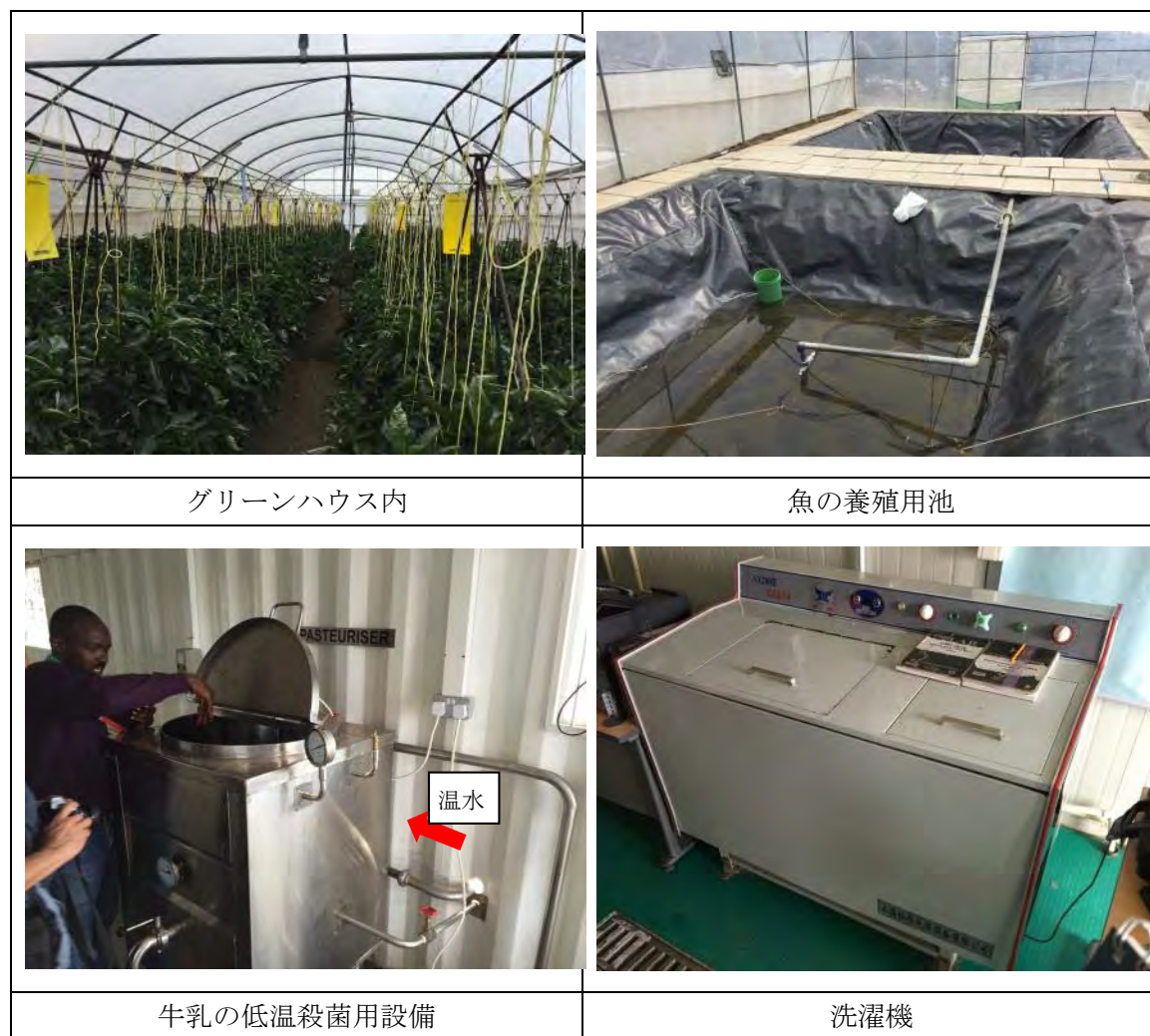


図 IV -22-2 メネンガイにおけるパイロットテスト実施状況

グリーンハウス（サイズ 8m×24m）ではパプリカを温室栽培しており、前回は 3 ヶ月で収穫までいった。日中は加温は不要であるが、夜間の外気温が下がる時間帯に温水でハウス内を加温している。加温に用いる温水の温度は 60～75℃程度とのこと。涵養に用いる水は浅層井戸から揚水した地下水を同じ敷地内で魚の養殖に使った後、一時的に貯留し、それに対して肥料を添加したものであり、効率的に水を利用している。地熱を用いた温室栽培により、通年での栽培が可能であり、地熱直接利用の効果が確認できている。次回はトマトに挑戦するとのことであった。

魚の養殖はこれまで 1 回試験し、2 回目の試験は訪問した翌日に稚魚を放流して開始する予定とのことであった。温室内に 2 つの池（サイズ 5m×5m 程度、掘削された開孔部に樹脂製のシートが設置されている構造）があり、各池に 500 匹、合計 1,000 匹のティラピアの養殖を行う。前回は 400～500 g/匹×1,000 匹≒450 kg の漁獲高が得られた。水温は成長促進上最適温度の 26～29℃に維持するようにコントロールし、通常 6～8 ヶ月かかる成長を前回の試験では 6 ヶ月で終わることができ、成長までの期間を短縮できていることが確認できたとのことであった。

牛乳の殺菌に関する試験は、メネンガイ近隣の牛から得られた牛乳を用いて行っている。地

熱で温められた温水を用いた低温殺菌は約 65°C で 30 分間おこない、その後、チラーにより冷却をしている。殺菌後の牛乳は GDC 社員に販売したとのことであった。

熱交換後の温水による衣服の洗濯と乾燥を行っている。現在、メネンガイで井戸掘削等で働いている作業員の衣服の洗濯、乾燥をここで行っているとのことであった。

現在実施している試験は概ね良い結果が得られているとのことであった。深刻な技術的課題は確認されなかったが、温水の利用/停止にともない加温/冷却が発生することにより、配管が繰り返し膨張/収縮をするため、配管破損がたびたび発生しているとのことであった。ただし、これは配管素材選定等により解決できるものと考えられる。今後の大きな課題としては、試験の成果を発表し、メネンガイ地点に建設予定の工業地域に地熱利用する企業をどのように誘致するか、それら企業との協力関係をどのように構築するか、また、最適な熱水の送水/設備配置/利用方法の検討をどのように行うかにあるとのことであった。

IV -2.3 インタビューの実施方法、住民の反応

各対象地域の生計手段、エネルギー源といった生活状況や課題、地熱の直接利用に対する意見の収集のために、各地域を対象に住民インタビューを行った。生活圈や部族などを考慮し、インタビューのための集会は 2 回に分けて実施された。各回の対象地域、参加人数は表 IV -2-2 のとおりである。GDC による直接利用や地域利用可能な方法を提示し、その後、質問状を用いて、個別または、グループでインタビューが GDC により実施された。インタビューの対象として、影響力のある首長だけでなく、社会的弱者とされる女性や若者、そして、直接利用を利用する可能性が高いと思われる農家を含めることとした。また、インタビューは女性のみ実施するなど、地域毎に発言がしやすい環境を作る配慮がなされた。

直接利用は地熱による発電とは違い地元住民の人々にとって新しいコンセプトだった。そのため、説明（約 3 時間）やインタビュー（1 グループ約 3 時間）に時間を要したが、関心が得られ、質問もたくさん出たとのことである。

地元の人々はこうした意思決定に参加できることを非常に喜んでおり、次はいつ来るのか、と聞かれたとのことである。また、メネンガイで実際に直接利用をおこなっている現場を見に行きたいとの要望もあった。

表 IV -2-2 インタビューの実施内容

場所	プロジェクトサイト	参加人数 (GDC 含む)
バリngo 中部の集会 (Baringo)	アルス、バリngo	17 名
バリngo 北部の集会 (Loruk)	コロシ、チャプチャク、 パカ	13 名

IV -2.4 現在の生計手段

現在は、放牧、農業、養蜂を主な収入源としている人が多い。地域の生産される主な商品として、とうもろこし、牛・ヤギ・ラクダなどの家畜、蜂蜜があげられる。学校の先生など、職についているのは首長など地域毎に数名である（表 IV-2-3、表 IV-2-4）。

現在の生活からの改善すべき点として、加工施設がないこと、灌漑用水がないこと等が挙げられた(表 IV-2-5)。以前はKampi ya samaki という場所に魚加工場があったようであったが、現在は操業されていない。

表 IV -2-3 現在の生計手段

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
家畜の飼育 小規模農業 自給自足農業 養蜂	家畜の飼育 養蜂 養魚 穀物農業 家禽	家畜の飼育 農業 養蜂 家畜取引	家畜の飼育 農業 養蜂 家畜取引	家畜の飼育 穀物農業 養蜂 ビジネス 採石場の採掘

表 IV -2-4 主な生産品

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
トウモロコシ 魚 スイカ トマト パパイヤ	ハチミツ トウモロコシ 家畜、牛、ヤギ、 ヒツジ 牛乳 サカナ スイカ 卵 獣皮	ハチミツ トウモロコシ 家畜、牛、ヤギ、 ヒツジ	ハチミツ トウモロコシ 家畜、ウシ、ヤギ、 穀類	ハチミツ 穀類 肉類 牛乳

表 IV -2-5 改善すべき点

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
加工施設の不足	加工施設の不足 水不足 生活等の不安定 さ 魚網の不足	育種 家畜の病気予防 灌漑 市場	市場の提供 灌漑 近代的な養蜂業 能力開発	特になし

IV -2.5 現在のエネルギー源及び水源

現在は山から採取する薪が主なエネルギー源である。南部は灯油や木炭を利用している地域もあるが、Baringo 湖より北は薪のみを利用している(表 IV -2-6)。

各地域には流失した雨水を集め利用する water pan が多用されている(表 IV -2-7 及び図 V -2-1 参照)。Baringo 湖の西では湖の水を利用している(図 V -2-2 参照)。

以上のことからインタビューを実施した地域は自然に依存した生活をしているといえる。

表 IV -2-6 現在のエネルギー源

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
薪 灯油 石炭 太陽エネルギー	薪 灯油 石炭 太陽エネルギー 電力	薪 太陽エネルギー	薪	薪

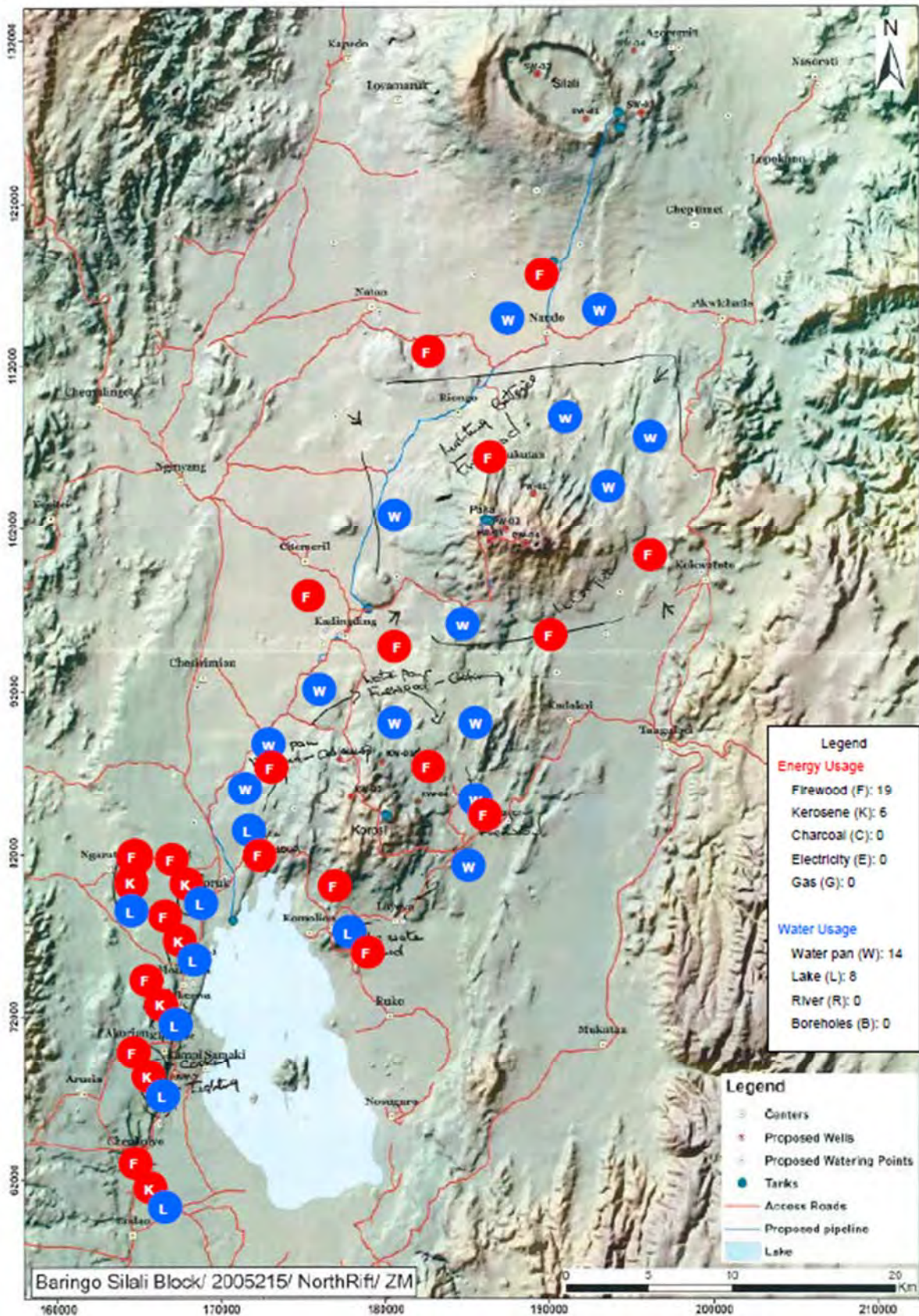
表 IV -2-7 現在の水源

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
バリngo湖 モロ川 ペッケラ川	バリngo湖 Water pan 掘削孔 雨どい	Water pan	Water pan 湖	Nginyang 川 Water pan



Source: SearNet

図 IV -2-3 WATER PAN



出典：GDC

図 IV -2-4 現在の各コミュニティのエネルギー源及び水源

周辺のインフラについては、南側のサイトを中心に道路や電気があるところもあるが、コロシ、チェプチャクのようにインフラがない所があり（表 IV -2-8）、これが北部で灯油や木炭を利用してない一因であると考えられる。

表 IV -2-8 現在のインフラ

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
道路	道路	無	無	連絡道路 (Loruk から Paka まで)
電気	水道 電気			

IV -2.6 現在の水及びエネルギーの利用先

現在、エネルギーは調理、牛乳の加工 (milk processing) や電気として利用されている。水は飲料水、洗濯や家畜への水やりに利用されている。

北部の Tugen 族は移動をする部族であるが、GDC としては家畜の水源を提供したり、新たな生活手段として養魚などを提供することで定住をするのではないかと考えている。

IV -2.7 直接利用に関する住民の希望

対象地域は、Baringo 湖を除き、水源がない。また、道路が整備されていないせいか、北部は薪がエネルギー源となっている。

インタビューの結果（表 IV -2-9 参照）から、直接利用への関心が高いことがわかった。そして、灌漑や養魚への利用も関心が高かった。また、肉の加工への利用（現在の生肉よりも商品価値の高いものを販売すること）についても関心が得られた。

表 IV -2-9 直接利用 希望順位

	アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
1	温室、灌漑	温室	灌漑	灌漑	温室
2		食肉加工	ハチミツ加工	温室	ハチミツ加工
3	食肉加工	ハチミツ加工	食肉加工	ハチミツ加工	食肉加工
4	皮革加工	養魚	皮革加工	食肉格好	養魚
5	養魚	孵化場	市場	皮革加工	酪農業
6	乳加工	皮革加工	養魚	養魚	皮革加工
7	孵化場	採石作業		アロエ	孵化場
8		灌漑		市場	アロエ
9		アロエ			作物乾燥
10		れんが製造			

IV -2.8 直接利用における注意点

リフトバレーは半乾燥地帯であり、年間の多くは季節的な水源がなくなってしまう。地域の人々は水を汲むために長距離を移動している。また、ナクルやバリngoは地下水やBaringo湖のフッ素の値が高いとの報告もある¹。現地調査の際にも Baringo 湖もフッ素の値が高いとの情報が GDC からあった。

そのため、地熱の熱水及び蒸気の凝縮水は灌漑用水や飲料水としての利用が多く希望されているが、熱水は一般的に重金属濃度が高いこと²、また、熱水は将来の地熱利用のために地下還元が計画されていることから、熱水を水として利用することは現実的ではないと考えられる。一方、蒸気の凝縮水は比較的重金属濃度が低く、灌漑用水や飲料水として比較的利用しやすい可能性が考えられる。しかし、H₂S に対する人の嗅覚が非常に敏感であり、H₂S 濃度としては WHO 等の基準を満たしても、臭気として問題が発生する可能性が考えられたため、現実的には飲用水としての利用をするためには専用の水処理設備が必要となるなど、費用対効果の点で課題があるものと考えられる。

水利用をするにあたっては水質を事前に確認し、NEMA（表 IV -1-8）や WHO の基準を満たしていることを確認する必要がある。GDC の直接利用の担当者によるとすべてのサイトで最適な利用方法を確認するために水質検査を行う予定とのことである。

なお、Direct-Use Guidebook でも直接利用の際の水質は温度と同じように重要であるとされている。これは、腐食やスケーリングが機器に影響を与える可能性があるためである。その場合には、直接にラインや凝縮水を利用せず、熱交換器などを導入し、熱を利用するのがよいとしている。

IV -2.9 直接利用に関する提案

今回調査の対象となっている5つの地域はおかれている周辺環境（自然環境、インフラ、生活文化）が異なっており、それぞれの特徴にあった直接利用の方法を検討することが必要である。今回の調査で得られた情報を元に、各地域での実現可能性に関して主として利用者のアクセス及び直接利用方法の観点でまとめた（表 IV-2-10）。また、前項で直接利用に際しての注意点をまとめたとおり、住民インタビューでは各地域共に灌漑用水としての利用の希望が高かったものの、水質が未確認であるため、ここでは熱としての利用を主として考えた。

今回調査対象となっている地域のうち、南部のアルス及びバリngo地域は主として Tugen 族が都市、集落に集まって定住型の生活を営んでおり、北部のパカ、コロシ、チェプチャク地域では主として Pokot 族が遊牧型の生活を営んでいる。北部も南部も共に家畜の飼育が第一の生計手段ではあるものの、南部の方が農業や魚の養殖などもより多く行われている。

南部のアルス、バリngo地域はナクルを含む比較的大きな都市や集落から比較的アクセスがしやすいことから、定期的に作業することが必要な直接利用方法が採用しやすいと考えられる。

¹ Jorgen Nasllund, Lulea University of Technology, GIS-mapping of Fluoride Contaminated Groudwater in Nakuru & Baringo district, Kenya,
Source: gis_fluoride_contaminated_groundwater_in_nakuru_and_baringo_districts_kenya.pdf

² Ayça ÇAKIN, Environmental Effects of Geothermal Applications. Case Study: Balçova Geothermal Field, İzmir Institute of Technology

また、生活様式として現在も行われている農業や漁業も考慮すると、温室栽培や温室内での魚の養殖が現在の周辺住民の生活向上につながる有力な候補と考えられる。

一方で北部のコロシ、パカ、チェプチャクでは温室や養魚といった労働力集約型の地熱の直接利用方法の採用には生活様式の変化が必要となり、ハードルが高いものと考えられる。そこで、発電プラントの近傍に直接利用設備を設置し、必要なときだけ遊牧生活をしている住民が来て、使用できるようなタイプの利用方法が地域の住民の生活向上に寄与できる可能性が高いと考えられる。その例としては蜂蜜加工や、皮革の加工（乾燥や化学処理）、食肉加工（乾燥）が挙げられる。

この他にもオルカリアなどで行われているような温泉や温水プールとしての利用といった案も考えられるが、今回の調査対象地はどれも大都市からのアクセスはあまり良くなく、また、近辺に景勝地もあまりないため、現時点では得られるメリットは低いものと考えられる。

表 IV -2-10 実現可能性が比較的高い地熱の直接利用方法（熱利用）

アルス	バリngo	チャプチャク	コロシ	パカ
温室	温室	蜂蜜加工	蜂蜜加工	蜂蜜加工
養魚	養魚	皮革加工（乾燥、 化学処理の加温） 食肉加工（乾燥）	皮革加工（乾燥、 化学処理の加温） 食肉加工（乾燥）	皮革加工（乾燥、 化学処理の加温） 食肉加工（乾燥）

IV -3 環境社会配慮初期調査結果

IV -3.1 初期環境影響調査概要

初期環境影響調査として、自然環境及び社会環境に関する項目の調査をアルス、バリngo、コロシ、チェプチャク、パカ地域において行なった。また、今回の調査にあわせてシラリ地域についての情報も補足的に収集した。

その結果概要（抜粋）を以下の表に示す。なお、全ての個別項目の調査結果は巻末資料を参照。

(1) 全地域共通結果概要

表 IV -3-1 全地域共通の調査結果概要

	項目	説明
自然環境	位置	ケニア西部のリフトバレー南部に位置する。
	大気質	硫化水素濃度レベルは、一部の測定地点を除き、全測定地点で0.0 ppmであった。掘削、井戸排出テスト、及びプロジェクトオペレーションの際、硫化水素濃度レベルは1.0ppmを上回ると予想されるが、その値は世界保健機関（WHO）が規定した暴露限度値の10 ppmから大きく下回っている。受容体のいる場所（receptor sites）における現在の硫化水素バックグラウンド濃度は0.0 ppmである（検出限界以下）。
	地形・地質	地熱利用可能性の指標と考えられるさまざまな地質学的な特徴を有している。地域にはいくつかの火山地帯が存在している。
	土壌	全体として、火山岩由来の土壌が存在する。場所によっては火山岩と沖積堆積物から成り、多くの地域の岩盤の構成は玄武岩である。これらが乾燥気候により風化したことによって、砂質ローム土壌のような性状となった土壌が存在するが、その深度は概ね浅い。保水能力が中程度あるいは低い。石が多く、礫混じりの粘性ローム土壌である。
	植物相	植物相：概ね植生は常緑の灌木である。藪に覆われている範囲が多い。
社会環境	人口分布	大きな都市はなく、全体として人口密度は低い。
	教育	教育水準は、特に中心都市から離れている場所では低い。若年での結婚、牧歌的なライフスタイル、重度の貧困といった社会的背景が就学率の低い原因の一つである。
	言語	ケニアでは英語が公用語、スワヒリ語が国語である。方言として、Turgen, Pokot, Ilchamus/Njemps における方言がある。
	宗教	バリngo郡では主にキリスト教徒が占めるが、イスラム教、伝統的信仰のような他の宗教の人々も存在する。
	地域特性	住民の多くは伝統的な小屋に住み、伝統的な衣装を着ている。例えば、男性はシュカを腰にまとい、女性は伝統的なビーズを首に巻いている。このような慣行はケニアの多くの地域ではなくなっている。地域はさまざまな社会的・文化的な問題に直面しており、主な問題は異なる部族間の紛争による不安定である。Pokots, Turkana, Samburu（まれに Turgens 及び Marakwets を含む）の間に引き起される窃盗罪や境界線紛争等の事件があげられる。財産

項目	説明
	及び文化的背景以外に、牛窃盗罪の主な原因は、新郎から新婦一家への贈り物が高いからだといわれる。干ばつの時期には資源紛争が増加する。これは、近年住民が軽火器を入手することによって悪化している。
所得、生計及び土地利用	主な経済活動は、養蜂及び蜂蜜収穫、畜産である。数名での小規模な農業も営む。都市での自営業には、マーケットセンターにおける小規模事業（卸売業、小売業、民宿）や非公認の事業（溶接、木工など）が含まれる。一般的に、プロジェクトで雇用する労働力の大部分は特殊な能力がないか、少ないかである。
貧困	地域の約50%以上が貧困レベルに達していると考えられる。
土地利用	大部分は藪であり、放牧地及び小規模な農地が存在する。
土地所有者	プロジェクトエリアの大部分は共有地（コミュニティとして所有、管理する土地）となっている。
インフラ（下水道、道路、電気、病院）	道路網は脆弱である。プロジェクトエリアの数少ない場所のみに電気が通り、これらは主に送電網沿いに接続されている交易の中心地となっている。また、プロジェクトエリアは水不足である。
文化遺産	プロジェクトエリアには国の文化遺産は存在しない。過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考慮されていたが、現在主流となっているキリスト教徒としては信仰活動のための重要な場所としてのみ考慮されている。プロジェクト進捗時には、地域住民との協議で確認するのが望ましい（重要な風景保全の観点より）。
温室効果ガス	著しい温室効果ガスの排出源は確認されていない。
関係者	NEMA、KWS、KFS、農業省、公衆衛生省、水資源管理局、水資源利用者協会、教育機関、郡政府（知事、青少年及び女性や職員の代表）、郡政委員、郡議会のメンバー、地域社会の行政指導者（チーフ及びアシスタントチーフ）、地域社会組織、NGO、国会議員、牧場関係

(2) アルス地域

表 IV -3-2 アルス地域の調査結果特記事項

項目	説明	
自然環境	位置	Arus-Bogoria 開発地域は、北側にバリング湖、南側に Menengai 地熱区の間位置する。
	水環境及び保護区	ボゴリア湖とその集水域の一部がボゴリア湖国立保護区 (LBNR) として保護されている。動物相が豊富で、107 平方キロメートルの面積をカバーする。これは、1973 年に指定され、現在はバリング及び Koibatek 郡評議会によって管理されている。近年、LBNR はナクル湖とナイバシヤに続く第 3 のラムサールサイトと指定された。湖は塩湖で、34 km ² をカバーし、小型のフラミンゴ類 (<i>Phoeniconaias minor</i>) の世界生息数の約半分が生息しており、生物多様性に富んでいる。また、大型のフラミンゴ類 (<i>Phoeniconaias rubber</i>)、ハジロカイツブリ (<i>Podiceps nigricollis</i>)、ダチョウ、魚食性のワシ類、渡り

項目	説明	
	鳥を含む他の鳥種にとっても生息地となっている。また、鳥類相の豊かさのため、重要な鳥エリア (IBA) に指定されている。LBNR における哺乳類動物は、シマウマ、ガゼル、バッファロー、その他霊長類と比較的アクセス容易なクーズーの群れがあげられる。また、ボゴリア湖は、豊かな生物多様性に加えて、数多くの温泉がある。	
植物相及び動物相	植物相 : Arus 丘陵の植生は常緑の灌木である。高地には <i>Euclea divinorum</i> 、低地はアカシア植林地が優占する。低地の植生は主にアカシア類 (<i>Acacia</i>)、ハマビシ科の植物 (<i>Balanites</i>) 及びカンラン科の多肉植物 (<i>Commiphora</i>) のようなイバラの低木林が存在し、所々に <i>Ficus capensis</i> 、 <i>Acacia xanthophloea</i> 、及び <i>Acacia tortilis</i> を含む河岸性植生 (森林) が見られる。Siricho 崖の斜面下側はシクンジ属 (<i>Combretum</i>) 及びウオトリギ属 (<i>Grewia</i>) の藪が優占する。 動物相 : 地域のコミュニティーによれば、プロジェクトエリアで生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどが存在する。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ (例: ロックパイソン、パファダー、ブラックマンバ) が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、トンボ類とチョウ類が目立つ。	
希少種	コイ科の魚類である <i>Barbus intermedius</i> と <i>Labeo cylindricus</i> が生息している。	
社会環境	人口分布	Arus 近郊で比較的大きなコミュニティー (Division) として、Emining 及び Mochongoi が上げられる。2009 年の KNBS の統計データによると、それぞれ人口は 16,067 人、25,737 人である。
	景観	バリngo湖及びボゴリア湖は景観上重要である。
	部族	Tugens 族
	少数民族及び先住民族	少数民族や社会的弱者は存在しない。

(3) バリngo地域

表 IV -3-3 バリngo地域特有の調査結果概要

項目	説明	
自然環境	位置	バリngoは、リフトバレー地区と Turkana と Samburu の境界北側に位置する (経度 35° 30' E と 36° 30' E の間、緯度 0° 10' N and 1° 40' N の間)。
	保護区	バリngo湖はラムサール条約の指定湿地として 2002 年 1 月に定められている。約 500 種の鳥類が生息している。また、バリngo湖は淡水湖であり、淡水魚、カバ、クロコダイルが生息する。
	植物相及び動物相	バリngo湖は淡水であり、7 種の魚類にとって重要な生息環境となっている。魚類は、ティラピア (<i>Tilapia Oreochromis niloticu</i>)、プロトプテルス (<i>Protopterus aethiopicus</i> 、 <i>Clarias gariepinus</i> 、 <i>Barbus intermedius</i>)、 <i>Labeo cylindricus</i> が含まれる。バリngo湖は、約 500 種の鳥類のための

項目		説明
		重要な生息地や避難場所を提供しており、地域及び世界の保全地として重要である。サイトは、カバやクロコダイル、哺乳類、両生類、爬虫類や無脊椎動物群といった多くの動物の生息地である。西側の岸辺周辺はアカシア類 (<i>Acacia tortilis</i>) の主な生育地となっており、小さな藪に覆われた丘、崖地、溪谷にり森林が形成されている。イチジク類の数種 (<i>Ficus spp.</i>) は崖面に植生する。北側と東側には密な藪があり、南に向かって疎になっている。
	希少種	<i>Barbus intermedius</i> 及び <i>Labeo cylindricus</i> , The tilapia <i>Oreochromis niloticus baringoensis</i> がバリンゴ湖の絶滅危惧種である。
社会環境	人口分布	2009年のバリンゴ県の人口は、ケニアの人口の1.4%にあたる555,561名であり、うち、50.2%は男性、49.8%は女性であった。人口密度は282人/km ² である。バリンゴ県にはTiaty (East Pokot)、Baringo South (Marigat)、Mogotio、Eldama Ravine (Koibatek)、Baringo Central and Baringo Northの6つの選挙区がある。Kabarnetはバリンゴ県人口の5%を占める都会の人口の中心であり、Eldama Ravineが3%、Marigat、Maji Mazuri、Mogotio、Timboroaがそれぞれ1%を占める。
	景観	バリンゴ湖及びボゴリア湖は景観上重要である。
	部族	Tugen族、Pokots族、Ilchamus族
	少数民族及び先住民族	Ilchamusは社会的弱者として考慮されている。ケニアの憲法は、国内の少数民族及び社会的弱者を認識しているが、特定のプロジェクトの影響を受けた場合の取るべき対策は明記されていない。
	関係者	バリンゴ湖管理組合、漁業関係者、議会の漁業関係メンバー

(4) コロシ地域

表 IV -3-4 コロシ地域特有の調査結果概要

項目		説明
自然環境	位置	コロシ地熱区は、ナイロビから約300km離れている活断層であるケニア地溝帯の北側に位置する (0°45' N, 36° 05' E.)。Korosi山の周囲には南側にバリンゴ湖、北側にPaka山が位置する。
	植物相及び動物相	<p>Away湖の岸辺から地上にかけての植生は、主に藪で占められる。高地には <i>Euclea divinorum</i>、低地にはアカシア植林地が優占する。低地の植生は主に <i>Acacia</i>, <i>Balanites</i> 及び <i>Commiphora</i> のようなイバラの低木林が存在し、所々に <i>Ficus capensis</i>, <i>Acacia xanthophloea</i>, 及び <i>Acacia tortilis</i> を含む川沿いの森林が見られる。Siricho崖の斜面下側は <i>Combretum</i> 及び <i>Grewia</i> の藪が優占する。</p> <p>動物相：地域のコミュニティによれば、プロジェクトエリアに生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどが存在する。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ (例：ロックパイソン、パファダー、ブラックマンバ) が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、トンボ類とチョウ類が目立つ。</p>
	部族	Pokots族

(5) チェプチャク地域

表 IV -3-5 チェプチャク地域特有の調査結果概要

項目		説明
自然環境	位置	チェプチャクは北から南に走る尾根の最高地点（1,380m）の名称である。尾根は平原から高さ 220m であり、コロシの北東からパカの南東に位置する。
	植物相及び動物相	チェプチャクの植生ではアカシア類の藪が優占する。下層植生は一年生植物であり、そのほとんどが主に草本で構成される。 動物相：地域のコミュニティによれば、プロジェクトエリアで生息する動物は、ガゼル、ヒヒ、サル、ディクディク、ウサギ、ハイエナ、リス、サソリなどである。また、鳥類では、サギ、ダチョウ、ハト、ハタオリドリ、サイチョウがプロジェクトエリア内で確認された。爬虫類は、オオトカゲ、ヤモリ、カメ、ヘビ（例：ロックパイソン、パファアダー、ブラックマンバ）が存在すると考えられる。昆虫は、プロジェクトエリア内で多数のが確認され、なかでもトンボ類とチョウ類が目立つ。
社会環境	人口分布	チェプチャク近郊で比較的大きなコミュニティ（Division）として、Tangulbei が上げられる。2009 年の KNBS の統計データによると、人口は 17,251 人である。
	部族	Pokots 族

(6) パカ地域

表 IV -3-6 パカ地域特有の調査結果概要

項目		説明
自然環境	位置	Paka 山は、Baringo 湖の北部から約 25km に位置する (00° 50' N and 36° 12' E)。
	保護区	開発地域内には保護区は確認されていない。
	植物相及び動物相	植物相：プロジェクトエリアは、ケニアの乾燥地域及び半乾燥地域の中間的な植物多様性を持っている。アカシア類 (<i>Acacia raficiens</i>) が優占種である。一般的な植物は、 <i>Acacia melifera</i> , <i>Salvadora persica</i> , <i>Boscia coriacea</i> 。 動物相：Paka-Silale エリアで、既存の自然の生息地にこれは、動物の多様性の面で豊富であると考えられている。確認された動物として、サイチョウ、ハタオリドリ、トカゲ、シロアリが挙げられる。コミュニティに滞在するヤギは、プロジェクトエリアで一般的にみられる。エリア内の野生動物にはデュークデュークが含まれる。
	希少種	アカシア類の樹木の 3 種 (<i>Acacia xanthopholea</i> , <i>Acacia abyssinica</i> , <i>Acacia drepanolobium</i>)、ホウオウボク (<i>Delonix elata</i>)、woolly caper bush (<i>Capparis tomentosa</i>) が挙げられる。

項目		説明
社会環境	人口分布	パカ周辺の人口構成としては、女性が 39,122 人、男性が 39,324 人となっている。 パカ近郊で比較的大きなコミュニティー (Division) として、Nginyang が上げられる。2009年のKNBSの統計データによると、それぞれ人口は20,7587人である。
	教育	エリアの現在の識字レベルは 5%以下である。地区には 60 の ECD センター、34 の小学校、3 つの高校、1 つの大学がある。東 Turkana 地区の Kapedo にて全地域として公立小学校が 3 つあるのみである。
	部族	Pokots 族

(7) シラリ地域

表 IV -3-7 シラリ地域特有の調査結果概要

項目		説明
自然環境	位置	Silali 火山は、Baringo 湖の北部から約 50km に位置する (01° 10' N and 36° 12' E)。
	保護区	開発地域内には保護区は確認されていない。
	植物相及び動物相	植物相：シラリ地域には 86 の属、39 の科に分類される 115 の種が分布している。この地域はケニアの乾燥/半乾燥地域としては中程度の植物種の多様性をもっている。優先種はサボテン種 (Xerophyte)、Aristidakenniensis やアマランス (Digeramuricata) の一種が上げられる。これら 3 種が地域の固有主としてみられている。 動物相：パカ-シラリ地域は現在ある生息地により動物相としては多様性に富んでいると考えられる。動物相としては、35 の科に属する 70 種の鳥類、12 種の哺乳類、8 種の爬虫類が確認された。また、この地域ではヤギや牛が経済上の主たる動物となっている。
	希少種	貴重種としては鳥類 (the Somali Bee-eater bird (Meropsrevoilii), the Uniform-scaled Gecko (Hemidactylusisolepis や2種の渡り鳥 (Pygmy long-tailed sunbird (Anthreptesplatura) や Beautiful sunbird (Nectariniapulchella)) がこの地域で確認されている。
社会環境	人口分布	パカ-シラリ地域の男女比はほぼ同じであり、男性が 39,122 人、女性が 39,224 人である。
	教育	パカ-シラリ地域の現在の識字レベルは 5%以下である。地区には 60 の ECD センター、34 の小学校、3 つの高校、1 つの大学がある。東 Turkana 地区の Kapedo にて全地域として公立小学校が 3 つあるのみである。
	部族	ポコ族、トゥルカナ族、サンプル族が主たる部族であり、さらに Tugens や Marakwets という小規模の部族が生活している。

IV -3.2 環境影響評価項目の抽出

地熱開発プロジェクトにおいては、調査・工事期間、供用期間にそれぞれ何らかの環境・社会面での影響を及ぼす可能性が考えられる。本調査で対象としている各開発計画区域に対して、これまでの初期環境社会影響評価結果を元に、影響を及ぼしそうな環境影響評価項目の抽出を行った。なお、いくつかの開発計画区域においては現時点で具体的な井戸や設備設置計画が進んでいない部分もあるため、現時点で想定できる範囲内で、安全サイドにたつて、より深刻な影響が生じる可能性について検討をおこなった。抽出結果は表 IV -3-8 の通りである。全体として概ね共通の評定結果となったが、地域ごとに異なった評定となった項目については、地域名を示している。地域ごとの詳細評価は巻末資料参照。

表 IV -3-8 環境社会影響評価項目の抽出結果

項目	評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)	
	調査/ 建設期間	供用期間		
自然環境	非自発的住民 移転	C	D	<ul style="list-style-type: none"> ・現在計画されている地熱開発区域の大部分は、固定の住居はなく、周辺に放牧民等が利用していると考えられる土地が散在する程度であり、住民移転の可能性は低いものと考えられる。 ・アルス、バリngoの地熱開発区域では道路も整備されているため、調査工事等のために新たな移転を伴う可能性は比較的低いものと考えられる。それ以外の地域はアクセス道路が未整備である。全ての地域において人口密度は低く、地熱開発による住民移転の可能性は低いと考えられるが、住民移転の有無は開発の詳細計画によって異なるため、現段階では不明である。
	雇用や生計手 段等の地域経 済	B	B	<ul style="list-style-type: none"> ・調査/工事期間、供用期間を通じて、雇用機会の増加、資材/機材の地元調達、開発を通じてのインフラの整備、地熱の直接利用などにより地域経済や住民の暮らしについては正の影響が期待される。 ・発電施設の建設予定地周辺の放牧地の使用制限、土地収用等による放牧地の減少により、地域の住民の生活、経済に一定の影響が生じる可能性がある。その場合、住民生活への影響は、施設供用後も継続する。
	土地利用や 地域資源利用	B	B	<ul style="list-style-type: none"> ・調査、建設のための基地設置による土地利用や地域資源の利用が予想される。 ・発電所施設等による土地利用や地域資源の利用が予想される。

項目	評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)
	調査/ 建設期間	供用期間	
社会関係資本 や地域の意思 決定機関等の 社会組織	C	C	地方には、行政機関（地方自治体、部族のコミュニティ）、社会（教育機関）、各グループ（女性や若者のグループ）、宗教組織（キリスト教等）、NGO、コミュニティコンサーバンシー等多くの組織があり、これらの組織のコンセンスを得る必要がある。現段階で各プロジェクトにおける影響の有無は不明であるが、本調査でおこなった直接利用に関するインタビューの中では地熱開発に関しては好意的な意見が多く聞かれ、正の影響が想定されている。
既存の社会インフラや社会サービス	C	D	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間における道路や水供給設備等のインフラの建設、整備等により社会インフラの改善が期待できる。一方、建設機械や資材の輸送により既存道路のダメージ等、負の影響が想定されるが、現段階では影響は不明である。 発電所施設等の存在による道路の整備、維持管理や、住民への電気供給等の正の影響が予想される。
貧困層・先住民 民族・少数民族	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 開発地域周辺の住民の約50%程度が貧困レベルに達している。発電施設等の建設に伴い、経済的には正の影響が期待されている。 バリngoを除き、開発地域周辺には少数民族などの社会的弱者は存在しないと考えられている。バリngoではバリngo湖を挟んで東側の地域に少数民族の Ilchamus が生活をしているが、距離的に離れているため、影響は大きくないものと考えられる。地域で最も多い、放牧を主とする生活基盤への影響は一定程度あるものと考えられるが、現段階では不明である。
被害と便宜の 偏り	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 発電所施設の立地・設計によっては、特定の地区への汚染の集中等、被害の偏りや不平等が生じる可能性はあり、また、利益を得られる地区や特定の集団、個人が生じる可能性は否定できない。 これらの影響の有無及び程度は、開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。
文化遺産	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 開発計画地域内には国の文化遺産は存在しない。一方で、過去には温泉がコミュニティの神聖な場所として考えられ、現在も宗教上の重要な場所として利用されている。開発の詳細計画作成時にコミュニティと協議し、十分配慮する必要がある。 これらの影響の有無及び程度は開発の詳細計画次第であるため、現段階では不明である。

項目	評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)
	調査/ 建設期間	供用期間	
地域内の利害 対立	C	C	地域内でプロジェクトに対する賛成と反対のグループの対立が起こる可能性も考えられるが、現段階では不明である。
水利用、水利 権、入会権	B	B	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中、坑井掘削工事用水の取水により、河川流量、湖水位に影響を及ぼす可能性が想定される。周辺は乾燥地域であるため、河川からの取水の場合、時期によっては比較的大きな影響が出る可能性が考えられる。湖水からの取水の場合、量も少ないため、影響は小さいと考えられる。このため、F/S 段階では、取水量及び水域の利用状況や水利権を確認する必要がある。 取水については WRMA の許可を得る必要がある。
公衆衛生	C	D	調査、建設期間では、衛生施設の未設置や不足及び処理能力不足等により、公衆衛生が悪化する可能性が考えられる。これは開発計画次第であり、現段階では影響は不明である。
災害、 HIV/AIDS 等 の感染症	C	D	<ul style="list-style-type: none"> 発電施設の建設期間中は、多くの外部建設労働者が従事することから、HIV/AIDS 感染、蔓延の危険性が考えられる。一方で、開発地域は人口密度が低く、放牧等で定住せずに生活している放牧民が多いため、現段階では影響の有無は不明である。 供用時には外部からの労働者従事はほとんどなく、産業員数も少ないために影響は想定されない。
地形・地質	A (Korosi, Chepchuk, Paka) B (Arus, Baringo)	D	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中は工事等による土地の形状の変更が予想される。特にコロシ、チェプチャク、パカについてはアクセス道路や建設用水のパイプライン等のインフラが未整備であるため、これらの建設の範囲は広範囲に及ぶ可能性が高い。 供用時における地形、地質への影響は想定されない。
土壌浸食	A	D	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中は掘削坑井基地、敷地造成やアクセス道路の建設に伴い、裸地が発生し、降雨時に裸地の土壌浸食が想定される。 供用時には大規模土木工事等はないため、土壌浸食の影響は想定されない。

項目		評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)
		調査/ 建設期間	供用期間	
	温泉	B	A	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中は調査時や建設時の坑井掘削等において、発電所周辺の温泉等に一時的な影響を及ぼす可能性が想定される。 供用時には深部地熱流体の採取、熱水の地下深部への還元を継続して行うことにより、発電所周辺の温泉等に影響を及ぼす可能性が想定される。
	地下水	D	D	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の取水は想定されない。また、地熱発電所の実績より坑井掘削時などにより地下水位、水量への影響は想定し難い。
	河川・湖沼・湿地状況	B (Arus) C(Baringo, Korosi, Chepchuk, Paka)	C	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中においては、河川・湖沼・湿地の形態を大きく変更するような工事は想定されないが、アルスの計画地域では付近のMolo川より取水される予定であるため、計画次第で影響する可能性がある。ただし、現時点では影響の程度は不明である。その他の地域はBaringo湖からの取水が計画されているが、量的には少ないものと考えられ、現段階での影響は不明である。 供用時においては、発電所用水取水により、河川流量、湖水位への影響が予想されるが、取水量は少ないため、量の面での影響は小さいと考えられる。発電時のブラインを排水する場合には、塩濃度が高い可能性も考えられる。河川の流量自体が少ないため、排水量が多い場合、水質への影響が考えられる。ただし、具体的には開発の詳細計画次第であるため、影響の程度は現時点では不明である。
	動植物、生物多様性	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中は植物除去や土地の改変による一時的な影響が考えられるが、乾燥地域であり植生密度も高くないため、影響の程度はあまり大きくないものと考えられるが、現時点では不明である。 供用時においては、動植物、生物多様性への影響はあまりないものと考えられるが、現時点では不明である。
	景観	B	B	<ul style="list-style-type: none"> 発電所の立地によっては、発電所及び周辺施設の建設やアクセス道路の建設により、地域の自然景観及び眺望景観への影響の可能性が想定される。Arus近郊のBogoria湖やBaringo湖は景観上重要な場所である。 発電所の立地によっては、施設の存在、発電所からの白煙(蒸気)により地域景観への影響が想定される。

項目		評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)
		調査/ 建設期間	供用期間	
	地球温暖化	D	D	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中の工事用建設機械の稼働、資材の搬出入において発生する温室効果ガスは少なく、影響は一過性で軽微であると想定される。 また、供用期間中にはCO₂の排出が想定されるが、他の発電方法と比較して温室効果ガスの排出はきわめて少ない技術であるため、多大な正の影響が予想されている。
	大気汚染	H ₂ S B	A	<ul style="list-style-type: none"> 地熱貯留層評価を行うために実施する噴出試験に伴い、H₂Sを含むガスが発生し、近傍地域における一時的な影響が想定される。 H₂Sを含む地熱流体を発電用蒸気として利用することにより、H₂Sが水蒸気とともに冷却塔から排出され、発電所近傍における環境影響が想定されている。
		粉塵 B	D	<ul style="list-style-type: none"> 工事中の資材等の搬出入に使用する車両から、土砂粉じんの巻き上げ等が発生するが、その影響は道路近傍に限られると考えられる。アクセス道路の近傍に民家等がある場合は、影響が想定される。 供用時における車両の通行台数は少ないため、影響は想定されない。
	水質汚濁	A	A	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中、削孔工事等に伴う泥水や建設時の一般排水の発生による影響が想定される。 また、敷地造成時の裸地発生により、降雨時の土砂の流出による地表水の濁りが考えられる。 供用時に発生する排水による周辺の水環境への影響が想定される。
	土壌汚染	B	C	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中、掘削汚泥、熱水の一時貯留時の漏洩による周辺土壌の汚染の可能性が想定される。 地上設備建設時には、土壌汚染を生じさせるような物質を取り扱うことは想定されない。 供用時は、一般的に土壌が汚染されるような物質の取り扱うことは想定されない。一方で、地熱の直接利用として、蒸気やブラインの水利用がなされる場合は、水中に含まれる重金属等により、汚染の可能性が考えられるが、現段階では影響は不明である。
	廃棄物	A	A	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中に産業廃棄物（掘削汚泥、廃材）の発生が想定される。 供用時に産業廃棄物（汚泥、廃油等）の発生が想定される。

項目	評定		説明 (抽出した理由、しなかった理由)
	調査/ 建設期間	供用期間	
騒音・振動	B	A	<ul style="list-style-type: none"> 調査時において、地熱流体の噴出時に発生する騒音や建設機械の稼働により発生する建設作業騒音及び振動が想定されるが、一時的なものであるため、環境への影響は小さいと考えられる。 供用時の影響については、冷却塔、蒸気タービン、発電機等からの騒音・振動が想定され、近傍における環境への影響が想定される。
地盤沈下	D	A	<ul style="list-style-type: none"> 調査/建設期間中は地熱流体の噴出は短期間であるため、影響は想定されない。 供用期間中は深部地熱流体を採取することから、発電所近傍における地盤沈下の可能性が想定される。
悪臭	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 噴出試験で発生する H₂S による悪臭が、近傍地域における一時的な影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。 供用時に発生する H₂S による悪臭が、発電所近傍に影響を及ぼす可能性が想定されるが、周辺の人口密度が低いという地域特性もあり、現時点では影響の程度は不明である。
事故	C	C	<ul style="list-style-type: none"> 調査時の地熱流体の噴出や H₂S ガスによる事故は、確率は低いが否定できない。 建設時の工事にとまなう事故や作業中の H₂S ガスの漏洩による事故の可能性も想定される。

評価；

A：深刻な負の影響が予想される。

B：いくつかの負の影響が予想される。

C：影響の程度は不明。

D：影響は予想されない。IEE/EIA は必要ない。

V 地熱開発マスタープラン更新への提言

V-1 開発優先度の検討

V-1.1 過去の優先度評価

ケニア国内のリフトバレー沿いの地熱地帯に関する開発の有望性に関する比較評価は、これまでもBGS (1993) 及びKenGen (2002) により行われている。BGS (1993) では、地質・地化学調査の結果に基づき、リフトバレー北部の9地点の評価が行われた(表V-1-1)。KenGen (2002) では、さらに物理探査の結果も考慮して、オルカリアを除くリフトバレー全域の12地点の評価が行われている(表V-1-2)。

地熱資源探査の初期段階においては、資源の有望性の評価では、主に熱源のポテンシャルや規模、地下に存在する地熱流体の推定温度が重要な要素となる。したがって、それらを比較する指標としては、火山活動の時期や地表地熱徴候の広がり(面積)、地化学温度などが利用されている。なお、KenGen (2002) による評価では、地化学温度はBGS (1993) による計算値がそのまま利用されている。

表 V-1-1 BGS(1993)による地熱地点評価表

Locality	Relative strength and style of activity	Area of activity (km ²)	Max surface Temp (°C)	Geothermometry (°C)		Age of last trachytic activity
				range	average	
North Is.	Vigorous fumaroles, solfataras and hot ground	0.5	96.3	241-244	243	-
Central Is.	Vigorous fumaroles, solfataras and hot springs	0.5	97.4	251-253	252	-
Kakorinya	Fumaroles of moderate strength and hot steaming ground	20	98.6	189-314	263	58 ± 4 ka
Em'gogolak	Moderately strong fumaroles and hot steaming ground	8	96.0	310-343	327	c.100 yr
Silali	Moderately strong fumaroles and hot steaming ground	20	96.8	261-335	304	4 ± 2 ka
Paka	Moderately strong fumaroles and hot steaming ground	32	97.8	256-329	303	11 ± 3 ka
Chepchuk	Weak fumaroles and hot, altered ground	2.5	96.1	202-261	231	1.13 Ma
Korosi	Weak fumaroles and hot, altered ground	33	95.7	197-203	200	104 ± 2 ka
OI Kokwe Is.	Moderately strong fumaroles hot springs and solfataras.	<0.5	97.2	-	170	?300 ka

注) 地化学温度 (Geothermometry) は噴気ガスのメタン/エタン温度計による。ただし、OI Kokwe については温泉水のカルセドニー温度計による。

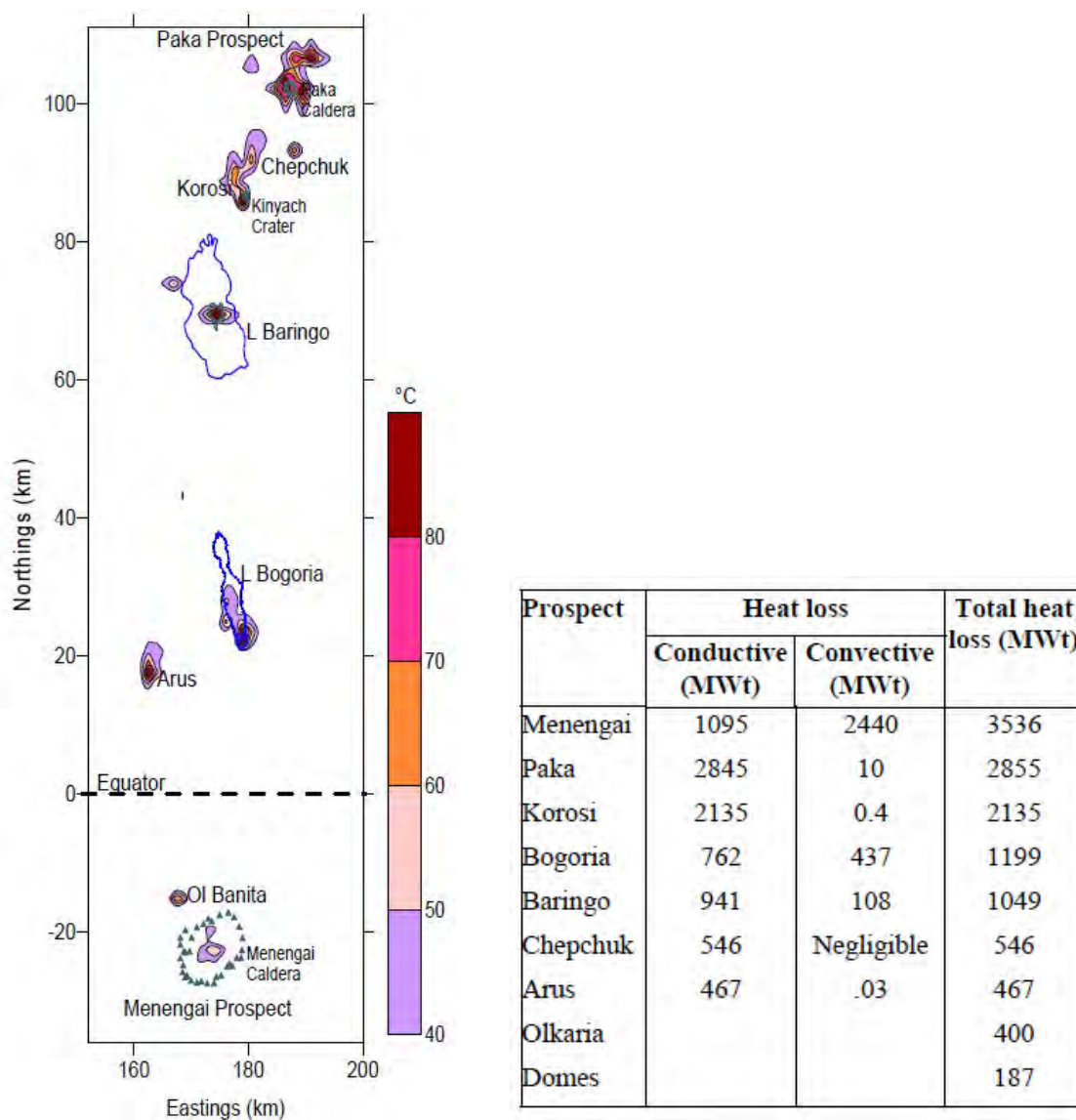
出典 : BGS (1993)

表 V -1-2 KenGen(2002)による地熱地点評価表

	Name of Prospect	Geological Setting	Age of last volcanism		Nature of Geothermal Activity	Area of activity (km ²)	Max. measure surface T (°C)	Geothermometry (°C)		Heat Source	Geophysical Indications
			Bas	Trach				Range	Ave.		
3	Silali	Caldera volcano that was active between 224Ka to 200 yrs BP. NNE structures abundant and last activity was basaltic	200-300 yr BP	4±2 ka	Moderately strong fumaroles and hot steaming grounds. Large (Kapedo) spring discharge (100MW) to River Suguta in the west of volcano.	20	98.8	261-335	304	Large, shallow, and associated with caldera	Positive magnetic anomaly and high seismicity within the caldera. No resistivity data available.
4	Emurangogolak	Caldera volcano that commenced activity at 900ka and continued to recent times. NNE tectonic structures dominant	250 yr BP	100 yr BP	Moderately strong fumaroles and hot steaming grounds	8	98.0	310-343	327	Large, shallow, and associated with caldera	High gravity anomaly and positive magnetic anomaly
1	Suswa	Central volcano with two calderas and N-S trending fissure zone. Volcano active between 400ka – Recent and dominated by phonolite.		0.24Ma -200 yr BP (est)	Fumaroles, steaming and altered grounds. Deposits of sulphur occur within the annular trench. Altered lithics (T>250°C) common.	3	93	230-310	285	Large magma chamber at shallow depth immediately below Caldera II.	High gravity in the south of caldera which is also the most seismically active. Strong magnetic anomaly. Reservoir is at >1000 masl -Resist
2	Menengai	Nested calderas of Menengai, Olrongai, and Olbanita. Menengai is the most prominent while the others are completely covered by younger pyroclastics from Menengai. The volcanoes have been active since 0.2 Ma to present.		1.4ka 0.7-0.3Ma	Medium strength fumaroles, steaming, and altered grounds. Scarce manifestations within Menengai caldera Olbanita: Boreholes in the immediate neighbourhood discharge steam and warm water.	<2	90 87	170-220 170-220	200 200	The main heat source is associated with the magma chamber under Menengai. Older heat sources are associated with Olbanita and Olrongai ring structures.	Resistivity lows occur to the NE & SW of caldera. Olbanita area has high resistivity, and may, thus, be of lower potential than Menengai caldera.
10	Badlands	Located on the low-lying grounds north of Eburru volcanic massif. Volcanoes of basalt to intermed comp occur along active NNE trending faults.	200-300 yr BP	Upper Pleist	Med strength fumaroles are associated with the volcanic centers (T=40-93°C). Boreholes having warm water (T>35°C) common.	<2	93	-	-	Heat source are possibly discrete & due to medium depth, intermed comp intrusions under the small volcanoes	Low resistivity anomalies cover 25km ² suggesting T>200°C at 1000 masl.
9	Chepchuk	Ass with an old ring (caldera?) structure to the far southern slopes of Paka volcano. Area is intensely faulted (NNE). Activity is long lived from about 1.3Ma.	100 ka	1.13Ma	Weak fumaroles; hot, steaming, and altered grounds. Dating of silica sinter indicates that geothermal activity has been active since 430ka	2.5	98.1	202-261	231	Magmatic and associated with the inferred old caldera. Some heat could also be due to the more Recent Paka volcano just to the north.	Area located to the east boundary of the axial gravity high and within a positive magnetic anomaly. Insufficient data to rank.
8	Korosi	Multi vent complex, which has been active from about 380Ka to Recent, NNE faults abundant and along some occurs pyroclastic cones. The fault zone extends under Lake Baringo.	200-300 yr BP	104±2 ka	Weak fumaroles and hot altered grounds with T=40-95°C. Most of the manifestations are restricted along fault zones. Most active zones located in the north and NE of massif.	33	95.7	197-203	200	The heat source in the prospect is associated with magmatic body under the volcano. Satellite volcanoes that extend to island in Lake Baringo have added discrete heat sources.	Positive magnetic anomaly present. Seismic activities higher under Lake Baringo than under Korosi. No clear gravity anomaly exists.
5	Paka	Shield volcano with craters and a small caldera at the top. The volcano has been active from 390ka to Recent. Resurgence activity (trachyte) followed caldera collapse. NNE faults traverse the summit.	200-300 yr BP	10±3 ka	Moderately strong fumaroles and hot steaming grounds occur within the summit and within the craters and caldera. Most activity manifested along fault zones. Temps lower in the south.	32	97.8	256-329	303	Medium size trachytic body that is associated with the caldera. Depth to intrusion (heat source) is about 5km	Ass with high gravity and positive magnetic anomaly. High seismic activity trending NNE occurs at shallow depths (2,5-5km).
7	L. Bogoria and Arus	No clear magmatic and volcanic association noted. However, the Plio-Pleistocene lavas that cover the area are extensively faulted (NE).		<1.6Ma	Hot springs, geysers, and steamjets common and occur along fault zones. The springs discharge at low temperatures. CO ₂ gas emissions common.	2	42	145-270	180	No magmatic body anticipated. Probably associated with frictional heat along the major rift faults. Dykes might inflate the local geotherm.	High gravity and positive magnetic anomaly. Intense, deep (>15km) seismicity on the east along Marmanet fault. Low resistivity occurs to the east of Lake Bogoria
11	Namarunu	Is a bas-trach volcanic complex active since about 4 Ma. The old eruptive centers are buried. There occur younger basaltic cones (1.8Ka) within the complex and within the rift trough and constrained by NNE structures.	500 ±3ka	509 ±5ka	Mostly very weak and characterized by altered grounds and hot springs in valley. Most manifestations occur along inner rift edges within fault lines.	<2	100	78-112	85	Dykes and small magmatic intrusives at shallow depth. Minor discrete heat sources associated with basaltic cones	Large positive magnetic anomaly occurs that may indicate a heat source.
6	Barrier (Kakorinya)	Consists of a volcanic complex of three major volcanoes of bas to sili comp. Kakorinya caldera is in the centre of the complex. The complex has been active since 0.7Ma to 100 yrs BP. NNE faults abundant.	100 yrs	58- 4ka	Fumaroles of moderate strength and hot steaming grounds common. Hot springs, sinters, and altered grounds occur. Sulphur deposits on Teleki's volcano.	20	98.8	189-314	263	Associated with caldera and satellite volcanoes. Heat source is shallow and is of intermed comp. Whole region has high heat flow but highest potential is associated with Kakorinya.	Prospect is within a high gravity anomaly.
12	Lake Magadi	The prospect is within a Pleistocene volcanic field that is heavily faulted by NE faults. The alkaline. Flood trachytes (faulted) dominate the area. Nearest volcanoes are the late Pleistocene Olorgesalle and Shompole. Pyroclastics in the region are highly alkaline.		Pleist	Geothermal activity is concentrated along the margins of Lake Magadi. The hottest springs are in the north adjacent to Little Magadi. Hot spring temperatures are generally low (30-80°C). Reservoir fluid is likely to have high TDS	<2	88	140	140	The heat source could be a combination of high heat flow within the rift and dyke intrusions along the rift floor faults. Shallow magma bodies are unlikely.	Positive magnetic anomaly and large low resistivity (MT) anomaly present. High seismic activity to the NE of Little Magadi.

出典：KenGen(2002)

近年のGDCによる調査では、1m深地温調査や浅部ボーリング孔の温度測定データを用いて、高温域の広がりや地表への放熱量について各地点ごとにまとめられている。Mwawongo (2013) による地表付近の温度分布と放熱量を図V-1-1に示す。これによれば、本プロジェクト対象地点の総放熱量が多い順位は、パカ、コロシ、バリngo、チェプチャク、アルスとなっている。



出典：Mwawongo (2013)

図 V -1-1 地熱地点の地表付近の温度分布と放熱量

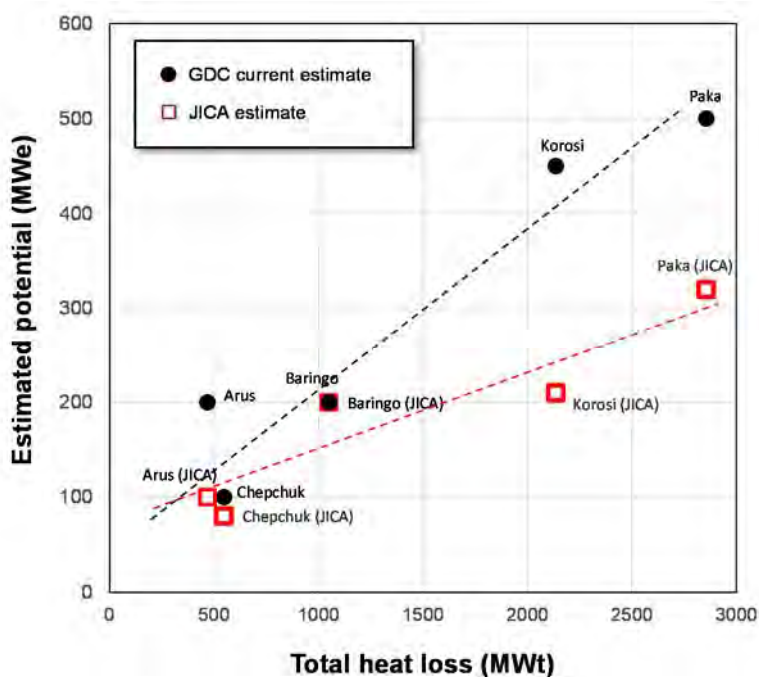
V -1.2 本プロジェクト対象地点の優先度評価

本プロジェクトの対象地熱地点に関する資源ポテンシャル試算の結果を表V-1-3に示す。バリngoを除く他の4地点については、GDCによる2013年時点の試算結果を下回るものとなっているが、II-5節で述べたとおり、本プロジェクトでの資源量試算はGDCよりも精緻な手法を用いているため、その推定確度は向上したものと考えられる。なお、本プロジェクトでの推定資源量は各地点での放熱量に比例しており、推定の妥当性が高いものであることを示している(図V-1-2)。

表 V -1-3 地熱資源ポテンシャル試算結果のまとめ

地点名	GDC (2013.4)			JICA調査 (2016)				提案される発電開発計画		
	資源量	発電計画		資源量						
	現状の推定値 (MW)	早期小規模発電	大規模発電出力 (MW)	資源密度法 (MW)	容積法 (P90) (MW)	容積法 (P50) (MW)	容積法 (P10) (MW)	初期段階 (MW-gross)	拡張段階 (MW-gross)	合計出力 (MW-gross)
アルス	200	Yes	2 X 100?	94 - 360	57.5	121.1	236.6	50	50	100
バリンゴ	200	Yes	2 X 100?	105 - 408	48.4	103.4	204.1	50	50	100
				99 - 334	39.0	90.9	197.7	-	2 x 50	100
				204 - 742	87.4	194.3	401.8	50	150 (3 X 50)	200
コロシ	450	Yes (A few 5-10MW units)	3 X 150	161 - 686	134.4	227.2	364.6	70	2 x 70	210
チェプチャク	100	Yes (A few 5-10MW units)	1 X 100	68 - 287	46.0	86.9	155.8	40	40	80
パカ	500	Yes (A few 5-10MW units)	5 X 100	203 - 979	185.6	327.7	556.1	70	3 x 70 + 40	320
シラリ	800	Yes (10 units 5-10MW each)	8 X 100							

JICA 調査団作成



JICA 調査団作成

図 V -1-2 各地点の放熱量と推定資源量の関係

本プロジェクトの対象地熱地点に関する開発コスト及び経済性評価の結果を表 V-1-4 にまとめた。また、発電所建設単価及び発電単価の比較を図 V-1-3 及び図 V-1-4 に示した。この結果に基づけば、開発に必要な発電量当たりのコストが低い順序は、コロシ、パカ、アルス、バリngo北、バリngo南、チェプチャクの順となる。

表 V -1-4 対象 5 地点での開発コスト・経済性評価のまとめ

	アルス	バリngo 南	バリngo 北	コロシ	チェプチャク	パカ
Development						
Output [MW]	100	100	100	210	80	320
Unit-1 [MW]	50	50	50	70	40	70
Development period [years]	7	7	7	7	8	7
Unit-2 [MW]	50	50	50	140	40	250
Dev. period after Unit-1 [years]	+2	+2	+2	+3	+2	+3
Construction cost						
Construction cost (with IDC) [M-US\$]	368	437	376	602	317	918
Unit const. cost (with IDC) [US\$/kW]	3,670	4,370	3,760	2,870	3,970	2,870
Generation cost (IPP model)						
Steam cost [US¢/kWh]	4.7	5.9	4.8	3.2	5.1	3.0
Conversion cost [US¢/kWh]	5.7	5.7	5.8	5.5	7.3	5.8
Generation cost (total) [US¢/kWh]	10.3	11.5	10.5	8.7	12.4	8.8
Economic IRR						
EIRR (against Coal-fired PP)	15.6%	12.0%	15.1%	22.7%	12.2%	23.5%
EIRR (against LNG-fired PP)	18.8%	16.2%	18.4%	23.3%	15.7%	23.8%
EIRR (against Diesel PP)	31.6%	29.1%	31.2%	36.7%	26.4%	37.5%

(Generation cost には還元井掘削費を含むすべての開発コストが含まれる。)

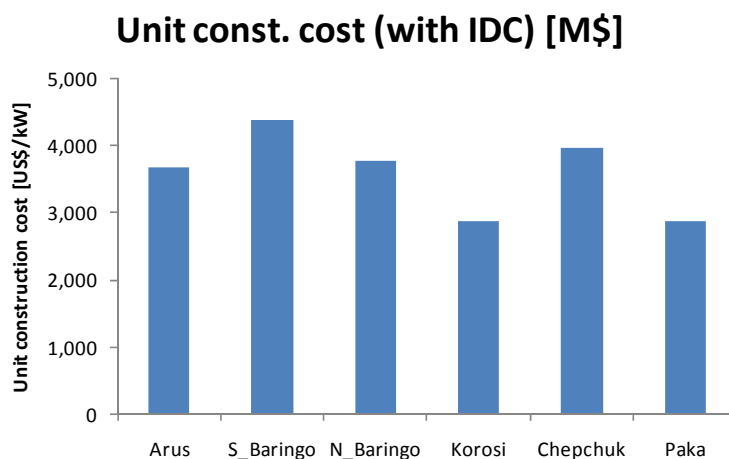


図 V -1-3 発電所建設単価の比較

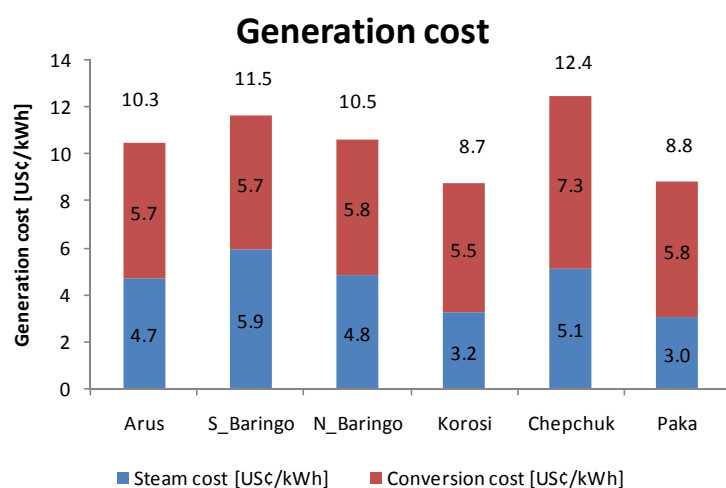


図 V -1-4 発電単価の比較

本プロジェクト対象地点 5 地点の開発優先度の評価に当たっては、推定資源量や開発コストだけでなく、地熱発電開発に関連する各種の要素を考慮するために、要素ごとの評価に基づき総合的に判定することができるスコア法を採用した。スコア法において評価に加味した要素とその重みは以下のとおりとした。

- 資源存在の確度（資源調査の進捗）： 10%
- 資源の温度（推定貯留層温度）： 15%
- 開発可能な資源量（提案される発電開発規模）： 20%
- インフラ／アクセス： 5%
- 地形（地上設備設置の容易さ）： 5%
- 自然・社会環境状況： 10%
- 地熱直接利用の可能性： 5%
- 発電コスト： 30%

各要素の評価基準を表 V-1-5 に、その評価基準に基づく評価結果を表 V-1-6 に示す。

表 V -1-5 スコア評価における各要素の評価基準

資源存在の確度(資源調査の進捗)(重み:10%)

点数	分類	評価基準
100	確認	開発可能な資源が井戸掘削(水井戸含む)により確認されている。
75	高度に有望	開発可能な資源の存在が、地質・地化学調査及び詳細物理探査から推定される。
50	有望	開発可能な資源の存在が、地質・地化学調査及び広域物理探査から推定される。
25	探査はまだ不十分	開発可能な資源の存在が、地質・地化学調査のみから推定される。

資源の温度(推定貯留層温度)(重み:15%)

点数	分類	評価基準
100	非常に高温	推定される平均的な貯留層温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$
75	高温	推定される平均的な貯留層温度 $270-300^{\circ}\text{C}$
50	中程度	推定される平均的な貯留層温度 $240-270^{\circ}\text{C}$
25	やや低温	推定される平均的な貯留層温度 $< 240^{\circ}\text{C}$

開発可能な資源量(提案される発電開発規模)(重み:20%)

点数	分類	評価基準
100	特大	提案される発電規模 $\geq 300\text{MW}$
75	大	提案される発電規模 $200-300\text{MW}$
50	中	提案される発電規模 $100-200\text{MW}$
25	小	提案される発電規模 $< 100\text{MW}$

インフラ/アクセス(重み:5%)

点数	分類	評価基準
100	非常に良好	幹線道路及び給水地から数km以内に位置する。
75	良好	既設道路及び給水地から数km以内に位置する。
50	やや難あり	既設道路または給水地から数km以上の距離がある。
25	難あり	既設道路及び給水地から数km以上の距離がある。

地形(地上設備設置の容易さ)(重み:5%)

点数	分類	評価基準
100	平坦地が多い	斜度5%未満の緩傾斜地である。
75	緩傾斜地	斜度10%未満の比較的緩傾斜地である。
50	急傾斜地	斜度10%以上の比較的急傾斜地である。
25	著しい急傾斜地	斜度15%以上の急傾斜地である。

自然・社会環境状況(重み:10%)

点数	分類	評価基準
100	深刻な負の影響は予想されない	全ての評価項目に関して深刻な負の影響は予想されない。
75	いくつかの負の影響が予想される	住民移転、文化遺産、生態系(国立公園や保護区など)といった特に重要な評価項目に関して深刻な負の影響が予想されないが、その他の項目で負の影響が予想される。また、安全上の問題は比較的軽微。
50	いくつかの負の影響が予想され、また、安全上の問題が懸念される	住民移転、文化遺産、生態系(国立公園や保護区など)といった特に重要な評価項目に関して深刻な負の影響が予想されないが、その他の項目で負の影響が予想される。また、安全上の問題が懸念される。
25	深刻な負の影響が予想される	住民移転、文化遺産、生態系(国立公園や保護区など)といった特に重要な評価項目に関して深刻な負の影響が予想される。

地熱直接利用の可能性(重み:5%)

点数	分類	評価基準
100	非常に有望	人口の多い都市、集落に近く、開発予定サイト近傍で利用機会が多いか、現実的な利用可能方法が多岐にわたる。
75	有望	比較的人口の多い都市、集落に比較的近く、開発予定サイト近傍で利用機会が比較的多いか、現実的な利用可能方法が示されている。
50	利用には困難あり	比較的人口の多い都市、集落から遠いが、実現可能性のある地熱の直接利用の方法が考えられる。
25	利用は限定的	周辺住民からのアクセスが悪く、また、現実的な利用方法も限られる。

発電コスト(重み:30%)

点数	分類	評価基準
100	—	< 8 US-cent/kWh
75	—	$8-9$ US-cent/kWh
50	—	$9-11$ US-cent/kWh
25	—	> 11 US-cent/kWh

表 V -1-6 スコア評価による対象5地点の開発優先度評価結果

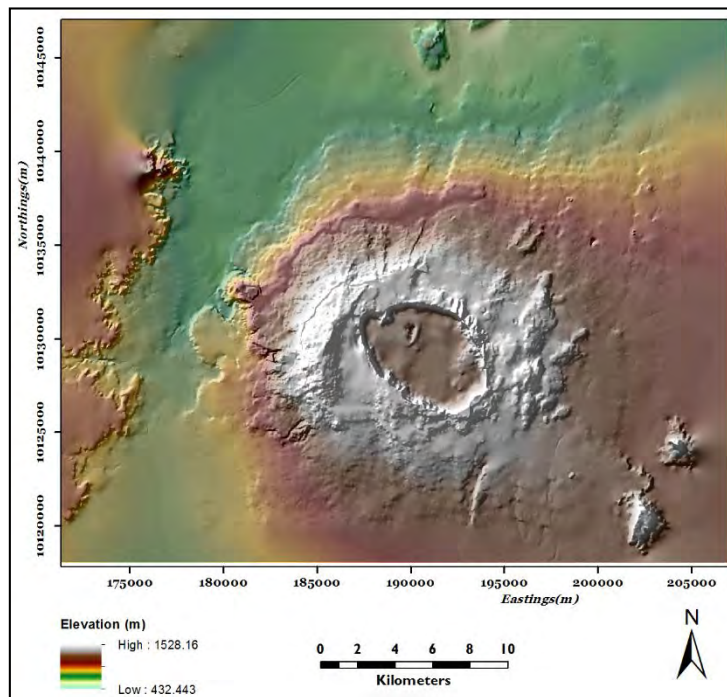
要素	重み	アルス	バリngo南	バリngo北	コロシ	チェプチャク	パカ
資源存在の確度(資源調査の進捗)	10%	50	100	50	75	75	75
資源の温度(推定貯留層温度)	15%	50	25	50	75	50	100
開発可能な資源量 (提案される発電開発規模)	20%	50	50	50	75	25	100
インフラ/アクセス	5%	75	100	100	50	25	50
地形(地上設備設置の容易さ)	5%	75	100	100	50	50	25
自然・社会環境状況	10%	75	75	75	50	50	50
地熱直接利用の可能性	5%	75	75	75	50	50	50
発電コスト	30%	50	25	50	75	25	75
合計点	100%	56.3	52.5	58.8	68.8	38.8	76.3
ランク		4	5	3	2	6	1

評価結果により開発優先度の順位が1位・2位とされたパカ地点とコロシ地点では、GDCにより既に地熱井掘削基地(各々3カ所)が建設されており、期待される開発規模も大きいことから、早期の調査井掘削が望まれる。また、順位が3位・5位と評価されたバリngo地点の北部・南部は、アクセス・給水が容易であることに加え、南部では水井戸により高温熱水層の存在が確認されており、GDCにより既に坑井掘削基地(1カ所)が建設されていることから、やはり早期の調査井掘削が望まれる。ただし、バリngo地点では詳細な物理探査がまだ行われていないことから、調査井掘削前に物理探査の実施による精緻な掘削ターゲット選定を行なうことが望ましい。4位と評価されたアルス地点のSteam Jets付近については、大規模な開発は期待できないかもしれないが、有望な地熱資源の存在が推定されるため、詳細な物理探査による精緻な資源評価を早期に実施することが望まれる。アルス地点は、アクセスも良く、5地点の中では最も南側に位置するため、南側からの延伸が予定される送電線建設の観点からは有利であり、物理探査及び調査井の掘削により開発可能な地熱貯留層の存在が確認できれば、早期の開発の対象となることも考えられる。6位のチェプチャク地点については、期待される開発規模が比較的小さく、現状ではアクセスも良くないため、近隣のコロシ地点・パカ地点での開発がある程度進んだ段階で、調査井掘削により開発可能な資源の存在を確認することが望まれる。

以上に述べた対象5地点の開発優先順位については、地表調査段階での予備的なものであるため、今後進められる各地点での調査井掘削やその他の探査の結果に基づき、随時見直し・更新されることが望ましい。

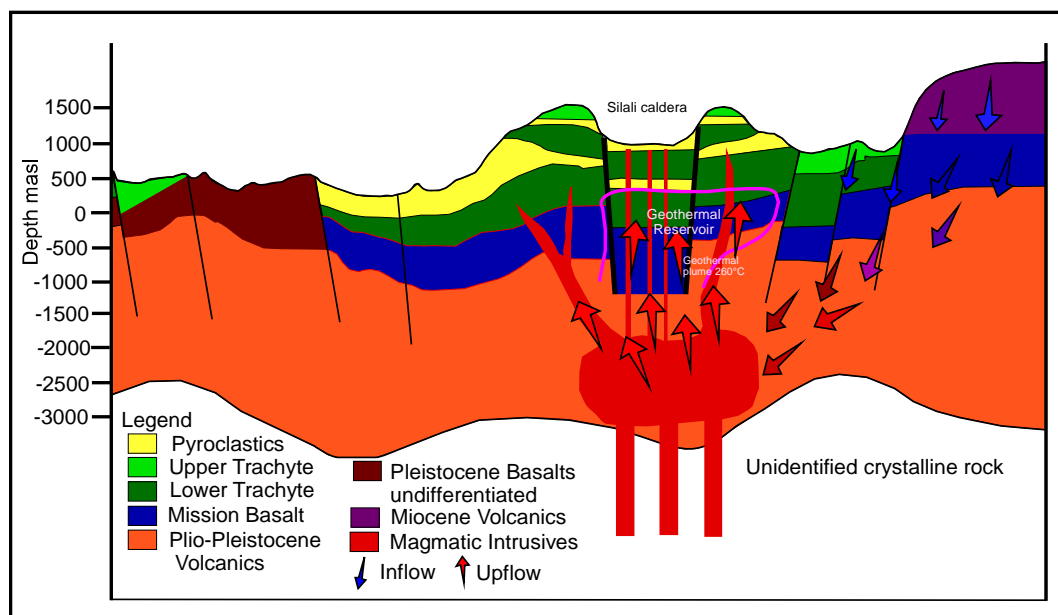
一方、対象5地点のさらに北方にはシラリ地点があり、有望な地熱資源の存在が推定されている。現在実施されつつある、GDCによるバリngo湖以北の地熱地点への道路・給水システムの設定

プロジェクトでは、シラリ地点も対象とされている。また、GDC と独 BGR との共同による資源調査も近年進められている。GDC によるシラリ地点の資源調査報告書 (2011) によれば、同地点では各種の地表資源探査が実施されており、MT/TEM 探査も実施済みである。シラリ地点の地形図と地熱系概念モデルを図 V-1-5 及び図 V-1-6 に示す。



出典：GDC 内部資料 (2011)

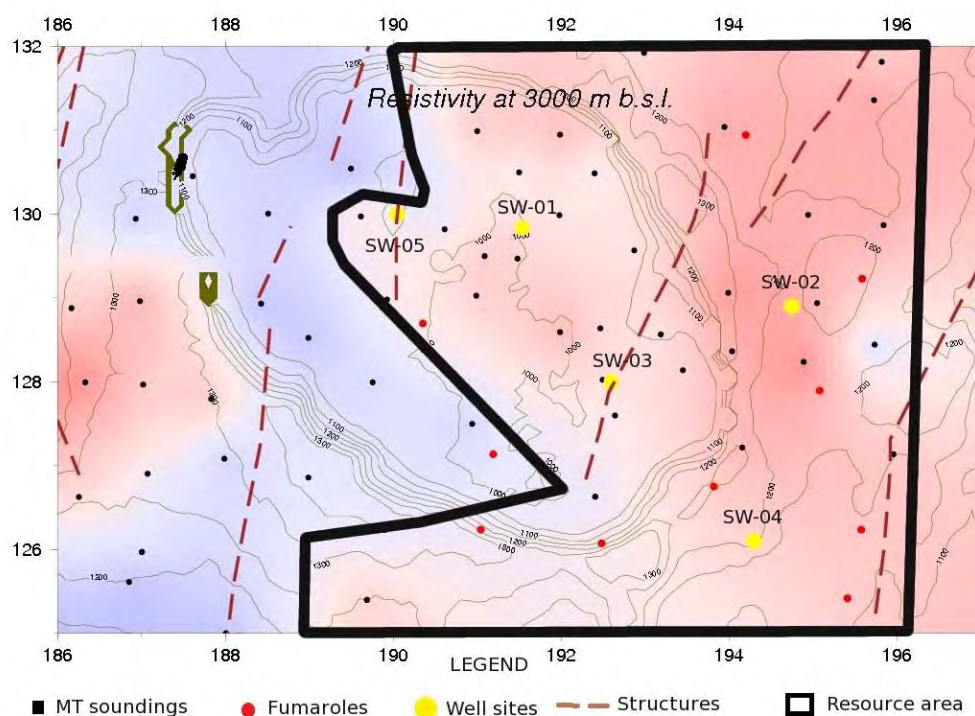
図 V -1-5 シラリ地点の地形図



出典：GDC 内部資料 (2011)

図 V -1-6 シラリ地点の地熱系概念モデル (東西断面)

シラリ地点には巨大なカルデラが存在し、有望な地熱資源はそのカルデラの東部付近に存在すると推定されている。噴気ガスの地化学温度から、深部貯留層の温度は260℃以上と推定されている。物理探査結果に基づく開発可能な貯留層の存在範囲は約54km²と推定されている(図V-1-7)。開発可能な資源量としては、その貯留層範囲の面積に資源密度(15MW/km²)を乗じたものとして810MWが試算されている。



出典：GDC 内部資料（2011）

図 V -1-7 シラリ地点の推定貯留層範囲（図中の色は標高-3.000mの比抵抗分布）

シラリ地点の自然環境については、本プロジェクト対象5地点とほぼ同様で乾燥/半乾燥地域に分類され、この地点では保護地域、貴重種は確認されていない。また、社会面ではコロシ、チェプチャク、パカ地点とほぼ同様に放牧を主体として生活をしている部族が生活を営んでいることが確認され、地熱開発にともなう住民移転の問題が発生する可能性は低いものと考えられる。シラリ地域で主に生活している部族は主としてポコ族、トゥルカナ族、サンプル族であるが、ポコ族・トゥルカナ族間の紛争が数多く報告されている。

シラリ地点と本プロジェクトの対象5地点との開発優先度の関係については、より詳細な資源評価の検討を進めた上で評価することが望まれる。また、シラリ地点ではアクセス道路・給水システムの設置に加え、掘削基地も建設されつつあることから、調査井掘削の結果に基づき開発優先度を検討することも考慮すべきである。ただし、シラリ地点での発電開発に係る地熱資源以外の条件としては、以下のことを十分に考慮することが望まれる。

- パカ地点の北方 30km に位置しており、アクセス・給水・送電に係る余分なコスト・困難が予想される。
- シラリ地点はバリング郡とティルカナ郡の境界付近に位置しており、民族間の紛争が頻発していることから、開発工事での治安の確保や発電所建設での地元住民の理解を得ることに困難が予想される。

なお、その他の地熱開発有望地点としては、ナイロビの北西約 50km に位置するススワ (Suswa) があり、既にかなり詳細な地表探査の実施により、資源量は約 750MW と推定されている。同地点の資源開発については、一時民間との共同による実施が計画されていたが、諸事情によりやはり GDC 単独での開発が検討されている。5 地点やシラリ地点との相対的な開発優先度は本プロジェクトでは判定不可能であるが、早期の調査井掘削により資源が確認されることが望まれる。

V -2 地熱発電の経済性の特徴と GDC の役割の重要性

地熱発電は資源開発リスクがある、発電開始まで長期を要し、その間の初期投資負担が大きい、という特徴がある。これが一方で、多くの事業者が地熱事業に参入することの障害となっている。この節ではこのうちの初期投資負担が地熱発電事業の経済性にどのような影響を与えているか見たいうで、それを踏まえ GDC の役割について検討する。

V -2.1 地熱発電事業の経済性

(1) 地熱発電所の諸元

地熱発電は開発地域に賦存する地下資源である地熱エネルギーを利用するものである。したがって、賦存資源量に応じた発電規模が検討されるべきである。また、その経済性も一概に論じられる性格のものではない。したがって、ここでは一つのモデルケースを仮定して検討を行う。発電規模をケニアの今後の開発の標準的な出力となる 70MW とする。

ケニアにおける地熱発電のモデルケースを構築するに当たり、GDC が開発を手掛けてきたメネンガイ地域でこれまでに得られたデータをもとに、主要パラメータを表 V -2-1 の通り想定した。

表 V -2-1 蒸気フィールドのモデル諸元

項目	値
出力	70 MW
生産井 1 本当たり平均出力	8.75 MW/本
熱水/蒸気比	0.357
還元井能力	200 (ton/h)/本
タービン発電効率	7.0 (ton/h)/MW
設備利用率	90%
蒸気生産能力減衰率	3%/年
還元井能力減衰率	3%/年

(2) 地熱発電の開発手順

地熱開発は次のような行程で行われると仮定した。

a) 地上調査

地上から、地質、地化学、物理探査などの調査を行う。運転開始前第 7 年度 (-7 年度) に 1 年程度で実施する。年度後半には調査井掘削位置を決め、アクセス道路整備も行う。

b) 資源探査

地上調査結果に基づき、蒸気存在を確認するため調査井を掘削する (-6 年度～-5 年度)。ここでは調査井 2 本を掘削し、うち 1 本が蒸気噴出に成功し、蒸気存在が確認されるものとした。成功した調査井からは 70 MW の発電に必要な蒸気量の 10%相当の蒸気量が得られるものとした。この調査井はのちに生産井として利用される。

c) 資源量評価調査

蒸気貯留層の大きさを評価するため、さらに調査井の掘削を継続する（-5年度～-4年度）。ここでは、さらに調査井5本を掘削し、うち3本が蒸気噴出に成功すると仮定した。資源存在確認調査で得られた井戸と併せて4本の成功井で貯留層評価を行い、具体的な地熱発電所のFSを実施するとした。

d) 建設

地熱発電所のFSが完成すると建設計画が具体化し、開発に向けて資金調達が進められる。一般には自己資金に加え、銀行融資を得て建設が行われる。ここでは、建設段階で残る生産井5本が掘削され、うち4本が成功するものとした。また、蒸気パイプライン設置、発電設備設置、発電所建設などが並行して進められる。建設は3年間（-3年度～-1年度）に行われるとした。

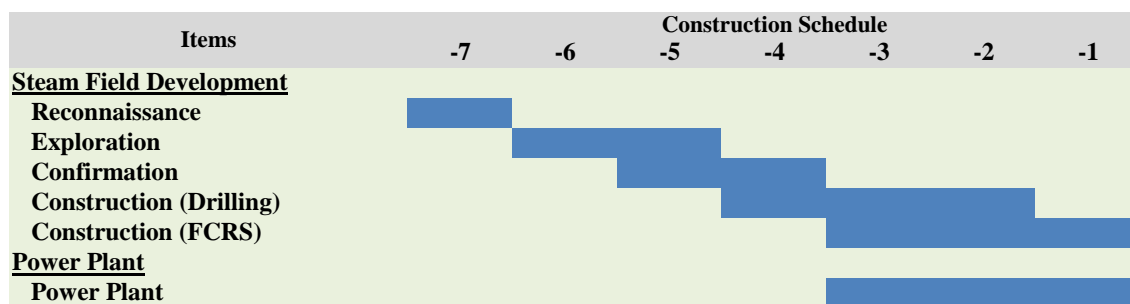
e) 運転

運転は30年間行われるとした。

以上、7年間で開発が行われるものとした（表V-2-2、図V-2-1、図V-2-2）。

表V-2-2 蒸気フィールド開発活動

項目	地表調査	資源探査	資源量 評価調査	建設	合計
活動期間	-7年度	-7～-6年度	-5～-4年度	-3～-1年度	7年
目標蒸気量	-	10%	40%	50%+ α	100%+ α (α :初年度減衰分)
生産井掘削本数(本)	-	2	5	5	12
うち成功生産井(本)	-	1	3	4	8
成功率	-	67%	67%	80%	-
還元井掘削本数(本)	-	-	-	3	3
うち成功還元井(本)	-	-	-	2	2
成功率	-	-	-	90%	-



図V-2-1 開発活動スケジュールの想定

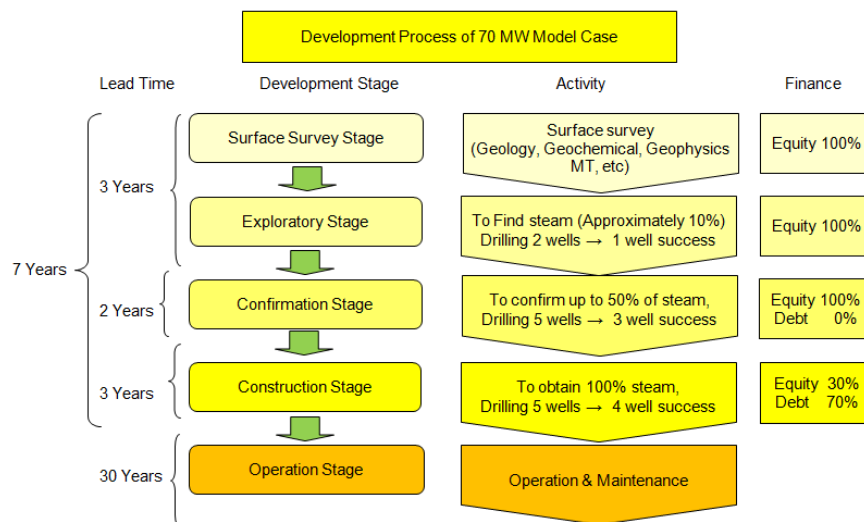


図 V -2-2 70 MW モデル地熱発電所の開発手順

(3) 財務条件

地熱開発は、地上調査、資源探査、資源量評価調査の段階はリスクが大きいため、市中銀行からの融資を得ることは困難である。このため、この段階は蒸気開発者の自己資金（エクイティ）にて行わなければならない。開発が進み、地下の状況がある程度明らかになった段階から援助機関や市中銀行からの融資を求め、建設段階に移行することができる。この建設段階では、自己資金（Equity）に加え、建設費の70%は外部からの融資（Debt）が得られるものとした。融資金利は8.0%と仮定した。また、税率は30%とし、売上高の1%のロイヤルティを政府に納入する必要があるものとした。減価償却期間は25年間、減価償却は定額方式とした。なお、インフレは考慮せず、2015年価格で評価した。

表 V -2-3 財務条件の想定

項目	地表調査	資源探査	資源量 評価調査	蒸気供給 設備建設	発電所 建設
自己資金比率	100%	100%	100%	30%	30%
借入比率	-	-	-	70%	70%
自己資金期待収益率	DGC 10% IPP 20%	DGC 10% IPP 20%	DGC 10% IPP 20%	DGC 10% IPP 20%	DGC 10% IPP 20%
借入金					
借入金利	-	-	-	8%	8%
据置期間（年）	-	-	-	3	3
返済期間（年）	-	-	-	10	10
運転期間	30年間				
法人税率	30%				
ロイヤルティ	売上高の1%				
減価償却期間	25年間				
減価償却方法	定額法				

(4) 建設費想定

この70MWのモデル地熱発電所の建設費推計を表V-2-4に示す。調査井、生産井の掘削費に関しては深度を2,000mと仮定し、掘削単価をUS\$ 4 millionと推計した。これは現在のGDCの掘削能力を基に推計した単価である。還元井の掘削単価は生産井の約8割と仮定した。また、発電所の建設単価は1,550 US\$/kWと推定した。これは60MWに換算すると1,600 US\$/kWに相当する。

この推計によると建設費総額はUS\$ 254 million（建中金利除き）となり、建設単価は3,630 US\$/kWとなった。このうち、蒸気開発部門の建設費はUS\$ 135 million、発電部門の建設費はUS\$ 118 millionで、蒸気部門：発電部門の比率は53%：47%となった。また、調査井、生産井、還元井に係る坑井掘削費は合計でUS\$ 58 millionとなり総建設費の22%を占める（図V-2-3）。

3年間の建設期間中に発生する建中金利は合計でUS\$ 27 millionとなり、建中金利込みの建設費総額はUS\$ 280 millionと推計された。建設単価は4,000 US\$/kWとなった。

表 V -2-4 70MW モデル地熱発電所の建設費内訳

段階	内容	費用 (m\$)
1. 地上調査	広域調査、詳細調査	2
2. 資源探査	調査井掘削 2 本（成功率 67%）	10
3. 資源量評価調査	調査井掘削 5 本（成功率 67%）	26
4. 建設		
4.1 蒸気フィールド	生産井掘削 5 本（成功率 80%）、パイプライン建設他	98
4.2 発電所建設	発電所、開閉所他	118
小 計		254
建中利子	8.00%	27
合 計	建設単価（建中金利含まず） 建設単価（建中金利含む）	280 3,630 (\$/kW) 4,000 (\$/kW)

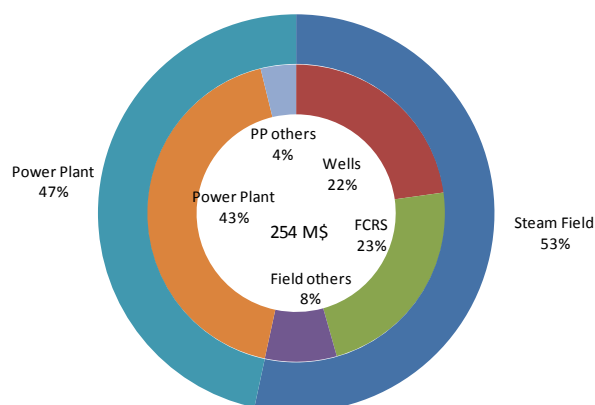


図 V -2-3 モデル地熱発電所の建設費構成

(5) 蒸気コスト・発電コスト

以上の建設費を投じて開発した地熱発電所から得られる蒸気コストや発電コストはどの様になるであろうか。ところで蒸気コストや発電コストは絶対的な値ではなく、建設費が同じでも事業者によって異なった値になることに注意する必要がある。これは事業者が自身の投資に関していくらの利益を期待するかによって蒸気コストや発電コストが変わるからである。投資に対して多くのリターンを期待すれば蒸気コストや発電コストは高くなり、少ないリターンを期待する場合は安価ですむ。

まず、事業者が KenGen や GDC といった国営企業が蒸気開発から発電事業まで一貫開発した場合を想定する。国営企業の期待収益率を 10%と想定すると、このモデル地熱発電所の投資から 10%の自己資本収益率 (Equity IRR)を得ることのできる発電コストは 9.2 US¢/kWh、うち蒸気コストは 5.3 US¢/kWh と試算される。発電コスト 9.2 US¢/kWh の内訳は、資本費 (建設費減価償却費及び投資収益) 5.9 US¢/kWh、補充井減価償却費 0.3 US¢/kWh、維持管理費 1.1 US¢/kWh、ロイヤルティ 0.1 US¢/kWh、法人所得税 1.8 US¢/kWh である (表 V -2-5、図 V -2-4)。

表 V -2-5 モデル地熱発電所の発電コスト構成 (国営企業による一貫開発の場合)

Item	Cost (US¢/kWh)	(%)
Initial investment	5.9	64.3%
Makeup wells	0.3	3.5%
O&M cost	1.1	11.6%
Royalty	0.1	0.9%
Income tax	1.8	19.7%
Total	9.2	100%

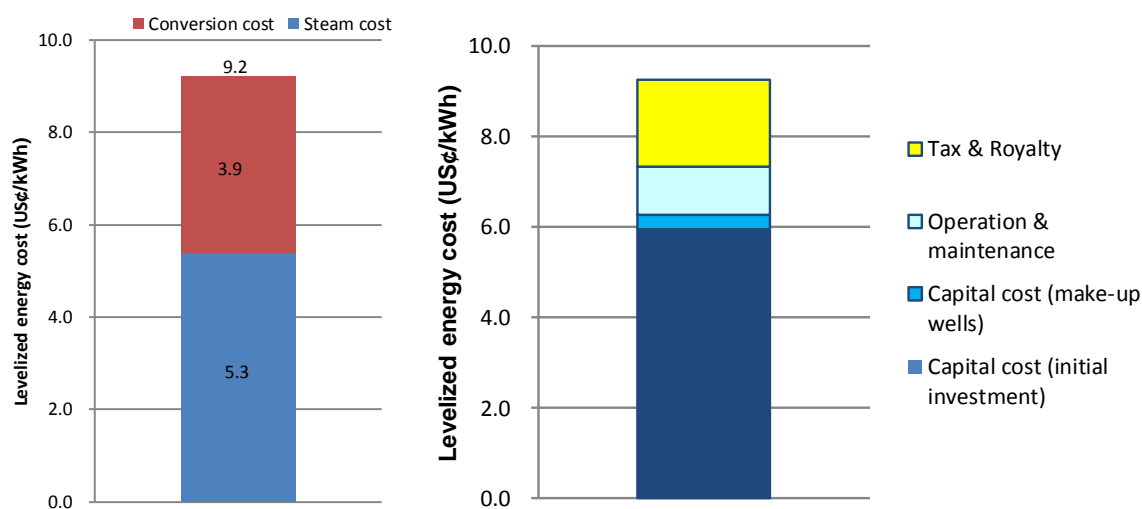
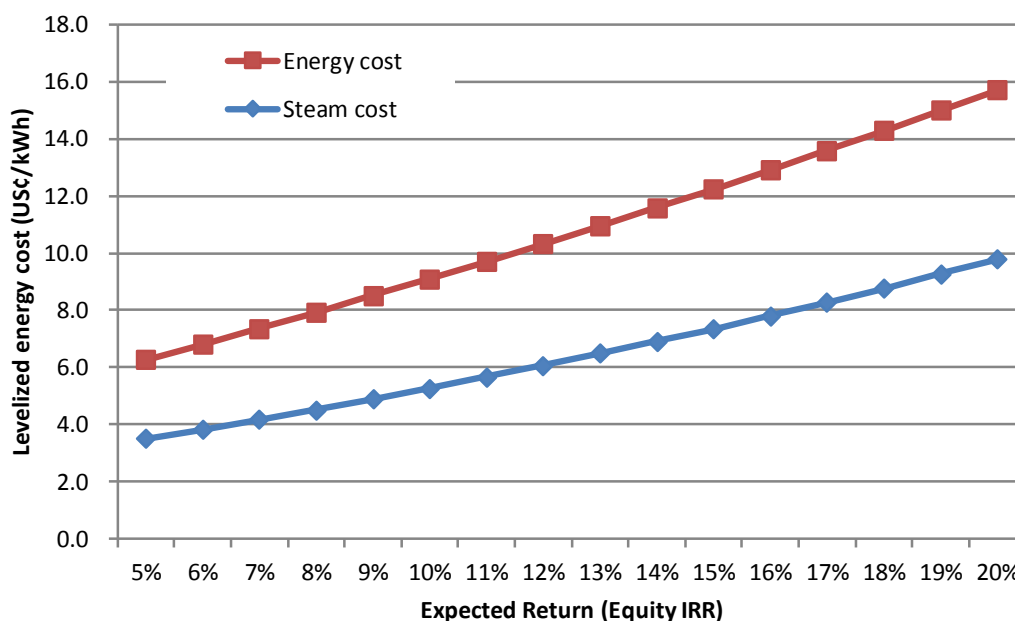


図 V -2-4 モデル地熱発電所の発電コスト構成 (国営企業による一貫開発の場合)

次に、この期待収益率と発電コストの関係を横軸に期待収益率、縦軸に発電コストをとり、両者の関係を示すグラフを描く。これを「期待収益率・発電コスト特性曲線」と呼ぼう。70 MWモデル地熱発電所の場合の期待収益率・発電コスト特性曲線を図V-2-5に示す。また、表V-2-6に示す仕様の石炭火力発電と天然ガス複合発電の期待収益率・発電コスト特性曲線と比較したものを図V-2-6に示す。



図V-2-5 地熱発電の期待収益率・発電コスト特性曲線

表V-2-6 石炭火力、天然ガス複合火力発電の仕様

項目	石炭火力	天然ガス複合火力発電
出力	300 MW	300 MW
建設単価（建中金利除き）	2,000 US\$/kW	2,160 US\$/kW
建設期間	4年	3年
燃料	石炭	LNG
燃料発熱量	6,000 kcal/kg	1,027 BTU/cubic feet
燃料価格	115 US\$/ton	12 US\$/million BTU
発電所熱効率	35%	45%

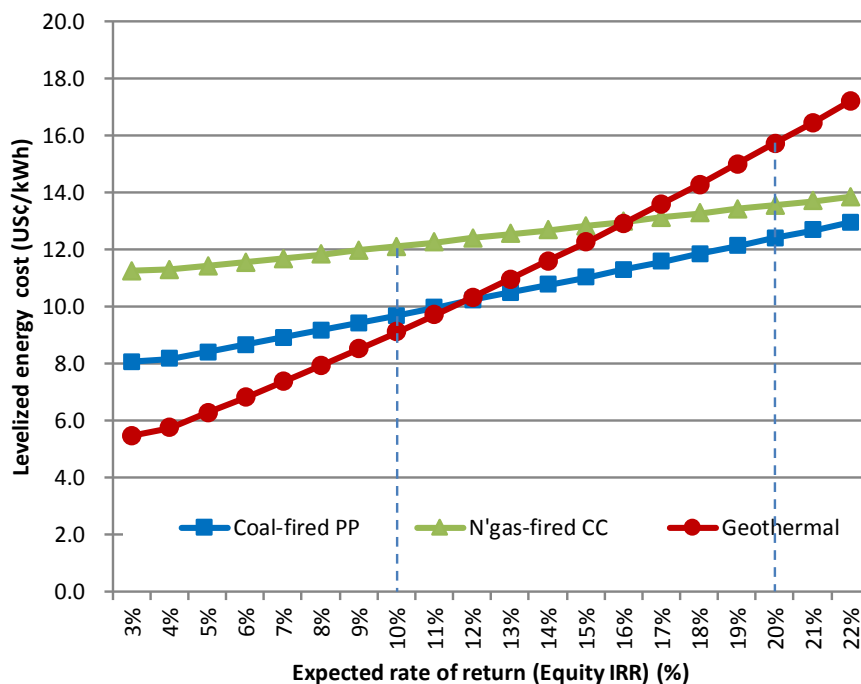


図 V -2-6 地熱発電と火力発電の期待収益率・発電コスト特性曲線の比較

表 V -2-7 各種発電の期待収益率と発電コストとの関係 (US¢/kWh)

事業主体の期待収益率	地熱	石炭火力	天然ガス複合火力発電
10%	9.2	9.7	12.1
20%	15.9	12.4	13.6

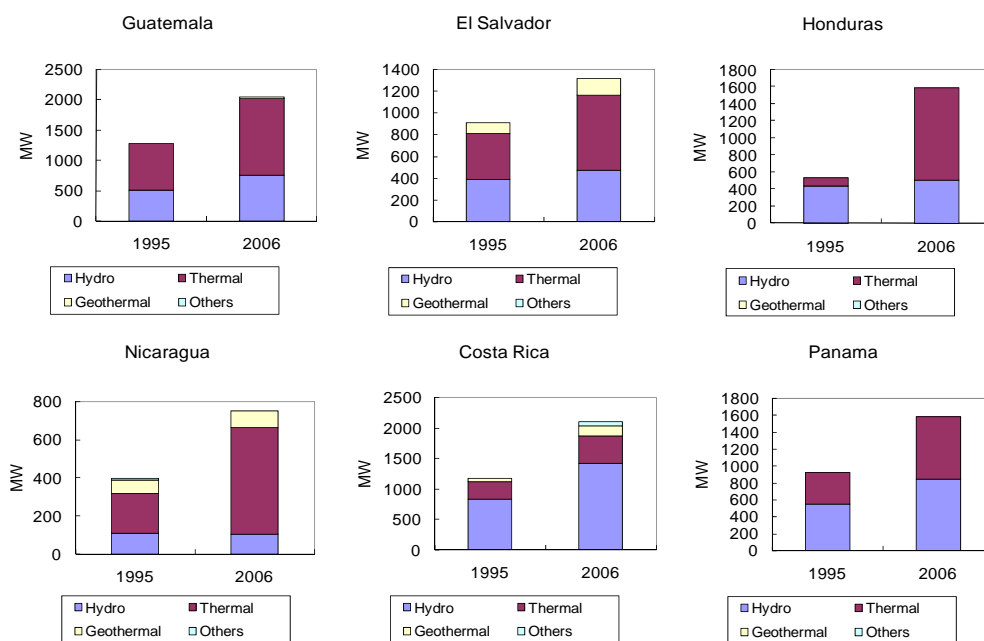
いかなる発電事業においても、期待収益率が高まれば発電コストも高くなるから、期待収益率・発電コスト特性曲線は基本的に右上がりになる。しかし、図 V -2-6 から分かる通り、地熱発電は勾配の大きい曲線となり、火力発電は勾配が緩い曲線となる。これは地熱発電の初期投資額が非常に大きいため、その投資から大きな収益を得ようとするためである。逆に、火力発電は初期投資額は小さく、費用の大部分は毎年の燃料費である。このため、初期投資額に対する期待収益率と発電コストとの関係は希薄なものになり、勾配は小さいものになる。

この関係は、電源開発計画を検討したり、地熱推進政策を検討したり際に非常に重要な事項である。すなわち、発電事業の主体にはいろいろな主体があり、その事業主体ごとに発電コストが異なることを意味するからである。例えばケニアの国営企業の場合は期待収益率は 10%程度でも構わないであろう。他方、海外の民間企業がケニアに投資する場合はおそらく最低で期待収益率 20%程度は要求するであろう。したがって、期待収益率 10%の国営地熱開発会社が地熱発電を行えば 9.2 US ¢/kWh の発電コストで事業が行え、また、国営電力会社が石炭火力を行えば 9.7 US ¢/kWh、天然ガス複合発電であれば 12.1 US ¢/kWh の発電コストで事業が行えることを意味する。このように国営企業が発電を行う場合、地熱が一番安価な電源である。一方、

期待収益率 20%の民間企業が地熱発電を行う場合は、発電コストが 15.9 US¢/kWh になるから売電価格もその値でようやく事業が行えることになる。また、同じ民間企業が石炭火力を行う場合は 12.4 US US¢/kWh の発電コストで事業が行え、天然ガス複合発電の場合は 13.6 US¢/kWh の発電コストで事業が行える（図 V -2-6、表 V -2-7）。このように民間企業が主体になった場合は、地熱が一番高い電源となり、事情は大きく異なってくる。

図 V -2-6 は、国営企業の目には地熱発電は火力発電に対し競争力を有するが、民間企業の目には地熱発電は火力発電に対し競争力がないことを示している。このことは我々の経験とも一致する。図 V -2-7 は中米 6 カ国（グアテマラ、エルサルバドル、ホンジュラス、ニカラグア、コスタリカ、パナマ）の 1990 年代と 2000 年代の電源構成の変化を示している。下中央のコスタリカを除く 5 カ国は 1990 年代に電力セクターの民営化政策を採用し、それまで電気事業の中心だった国営電力会社を分割民営化した。そして、発電事業には民間の独立発電事業者（IPP）の参加を招いた。その結果はどうであったか。図 V -2-7 が示す通り、この 5 カ国ではその後約 10 年間に火力発電の比重が急速に高まった。これは図 V -2-6 で見たとおり、火力発電は事業費の大半が燃料費であるため、発電コストは初期投資からの期待収益率には大きくは依存しない、すなわち、民間企業にとっても比較的安い発電コストで事業が成立するためである。このため、民間企業は地熱や水力といった初期投資の大きい電源は敬遠し、火力発電という初期投資の小さい電源を選好する。この結果、5 カ国では火力発電が大きく進展したわけである。

これに対し、コスタリカだけは Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) という国営電力会社による垂直一貫事業体制を維持した。この結果、コスタリカでは水力、地熱、風力といった電源開発も進み、電源多様化が進展していることが観測される。このように、初期投資の大きい地熱発電は民間企業に任せているだけでは進展しにくいことが分かる。



（社）海外電力調査会（2010）などから JICA 調査団作成

図 V -2-7 電力自由化による中米 6 カ国の電源構成の変化

図 V-2-8 に、(i) 国営企業（期待収益率 10%）が地熱を一貫開発した場合、(ii) 民間企業（期待収益率 20%）が一貫開発した場合、その中間として、(iii) 蒸気開発を国営企業が行い発電事業を民間企業が行う共同開発の場合の 3 ケースの発電コスト及び蒸気コストを示す。国営企業が地熱を一貫開発した場合は発電コスト 9.2 US¢/kWh（うち蒸気コスト 5.3 US¢/kWh）となり、民間企業が一貫開発した場合は発電コスト 15.9 US¢/kWh（うち蒸気コスト 10.0 US¢/kWh）、その中間として国営企業による蒸気開発と民間企業による発電事業の共同開発の場合は発電コストは 11.4 US¢/kWh（うち蒸気コスト 5.4 US¢/kWh）と、事業主体の違いによりそれぞれの発電コスト／蒸気コストは大きく異なることが分かる。エネルギー源の多様化のため地熱開発を進めるといふ命題と安価な電力を提供するといふ命題の二つの命題に応えるためには国営企業の果たすべき役割の重要性がうかがえる。

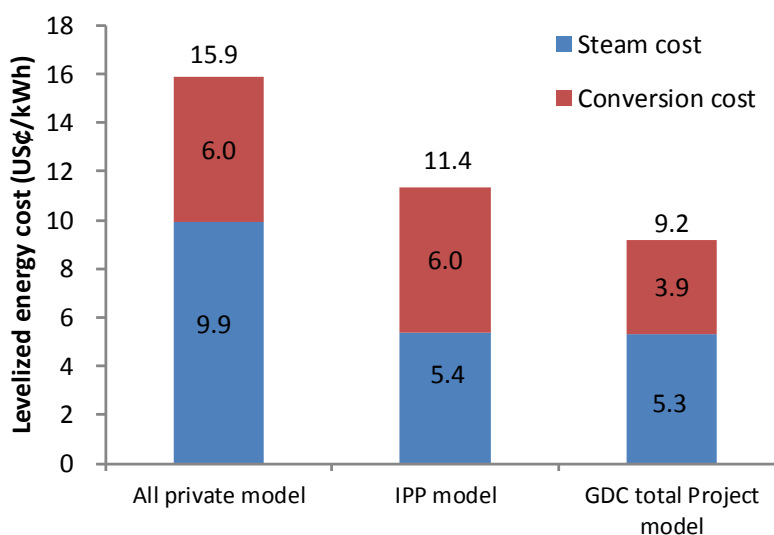


図 V-2-8 事業主体による地熱発電の発電コスト・蒸気コストの違い

地熱発電コストに占める資本費の割合が大きいことは、発電コストと資金コストとの間にも強い関係を生じる。図 V-2-9 は 70MW のモデル地熱発電所の発電コストと建設段階における借入金の金利との関係を示したものである。(i) 国営企業による一環開発の場合、(ii) 国営蒸気開発会社と民間発電事業者による場合（IPP モデル）、民間企業による一環開発の場合、の 3 つの開発形態の場合を示しているが、いずれの場合も、借入金利の高低が発電コストや蒸気コストに大きく影響することがわかる。

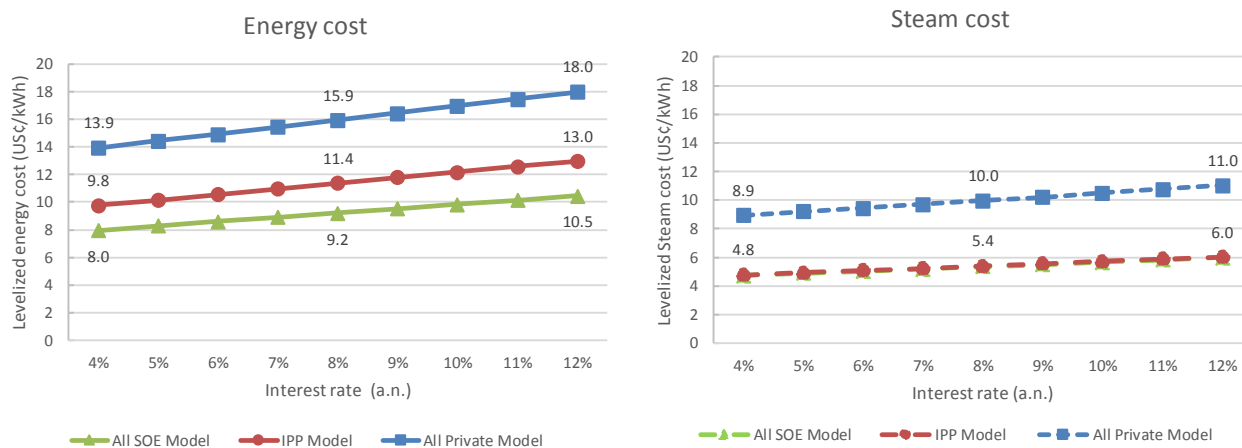


図 V -2-9 借入金利が発電コスト/蒸気コストに及ぼす影響

V -2.2 掘削能力を有する機関育成の重要性

前項で、地熱開発推進と電気料金低減という二つの命題に応えるためには、国営地熱開発会社である GDC の役割が重要になると述べた。これは「国営企業の資金調達コストが低く、このため国営企業の期待収益率が小さくてすみ、発電コスト/蒸気コストの低減効果が大きい」という特性に注目したものである。本節ではもう 1 つの「掘削能力を有する国内企業の育成」との観点から GDC の役割の重要性を検討する。

現在、ケニア国内で地熱井の掘削能力を有する企業は KenGen しかおらず、その能力はケニアの拡大する掘削需要に応えるには十分なものではない。このため、KenGen も GDC も地熱開発を進めるため、これまでは外国企業から掘削サービスを調達してきた。この掘削サービスの調達コストは現在、2,000m 坑井 1 本掘削当たり US\$ 6 million 程度にまで上昇している。しかしながら、地熱発電所の建設費において、坑井掘削費用は非常に大きな割合を占める。したがって、この掘削費を低減することができれば地熱発電の発電コストは大きく低減すると期待できる。このため、GDC は坑井掘削コストの低減を図るため、掘削リグを調達し、GDC 自身による掘削を試みてきている。これにより掘削経験を重ね、また、日本政府の技術協力による技術者の掘削能力向上も図りつつ、ケニア国内で掘削能力を有する一大機関へと成長し、掘削費の大幅な低減を図ることを目指している。

これまで GDC はメネンガイ地区で 20 本の坑井を掘削してきている（2014 年 12 月現在）（表 V -2-8）。現在の GDC の坑井掘削速度は図 V -2-10 に示す様に、13~28m/day 程度の幅があり、平均で約 20m/day 程度といえる。この速度であれば、2,000m の坑井は概ね 100 日程度での掘削が期待できる。GDC はこの掘削能力を 70 日程度まで高めることを目標にしている。表 V -2-9 に示すように GDC が自身の掘削リグを保有し 100 日で 2,000m 級の坑井を掘削する場合、掘削費は US\$ 4 million/本と推計できる。また、目標の 70 日で掘削できるようになれば US\$ 3.5 million/本、さらに 60 日で掘削できるようになれば US\$ 3.4 million/本程度まで掘削費を低減できるものと推計できる。これは外部からの掘削サービスを調達した場合の US\$ 6 million に比較すると大きな低減効果である。

表 V -2-8 GDC の坑井掘削状況

No.	WELL	FIELD	ELEVATION (Masl)	TARGET	DRILLING DAYS	DEPTH (M)	RIG	Average drilling speed (m/day)	FINANCIAL YEAR
1	MW-01	Menengai	2,064	Vertical	79	2,206	RIG1	27.9	2011-2012
2	MW-02	Menengai	1,898	Vertical	125	3,200	RIG2	25.6	
3	MW-03	Menengai	2,032	Vertical	100	2,117	RIG1	21.2	
4	MW-04	Menengai	2,085	Vertical	83	2,096	RIG2	25.3	
5	MW-06	Menengai	2,095	Vertical	96	2,203	RIG2	22.9	
6	MW-07	Menengai	1,942	Vertical	120	2,118	RIG1	17.7	
7	MW-08	Menengai	2,015	Vertical	126	2,355	RIG2	18.7	
8	MW-09	Menengai	2,105	Vertical	90	2,088	RIG2	23.2	2012-2013
9	MW-10	Menengai	2,085	Vertical			RIG1		
10	MW-12	Menengai	2,106	Vertical	93	2,054	RIG4	22.1	
11	MW-11	Menengai	1,993	Vertical	135	1,842	RIG3	13.6	
12	MW-05A	Menengai	2,052	Vertical	105	2,096	RIG2	20.0	
13	MW-15	Menengai	1,959	Vertical	80	1,680	RIG3	21.0	
14	MW-13	Menengai	2,081	Vertical	159	2,012	RIG1	12.7	
15	MW-14	Menengai	2,007	Vertical			RIG4		2013-2014
16	MW-16	Menengai	1,965	Vertical	142	2,414	RIG2	17.0	
17	MW-17	Menengai	2,060	Vertical	121	2,218	RIG3	18.3	
18	MW-19	Menengai	2,085	Vertical	102	2,501	RIG4	24.5	
19	MW-18	Menengai	1,859	Vertical			RIG1		
20	MW-20	Menengai	2,105	Vertical	119	2,461	RIG2	20.7	
21	MW-21	Menengai	2,131	Vertical	Drilling Ongoing		RIG1		
22	MW-22	Menengai	2,055	Vertical	Drilling Ongoing		RIG4		
23	MW-10A	Menengai	2,085	Vertical	Drilling Ongoing		RIG3		

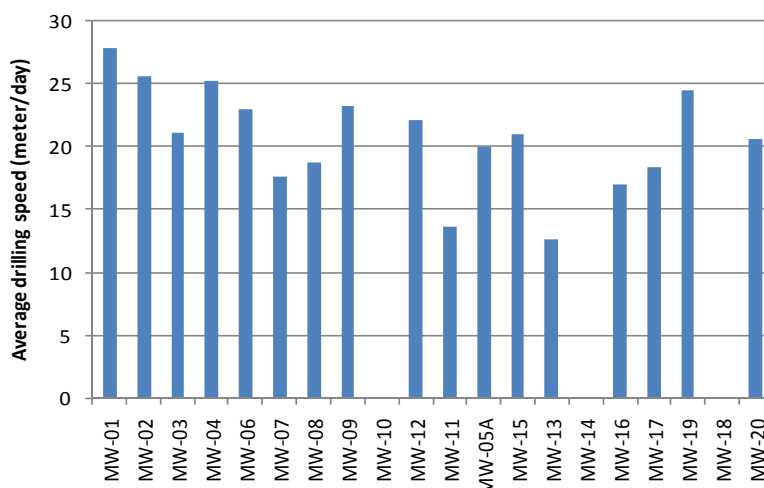


図 V -2-10 GDC の坑井掘削速度

表 V -2-9 GDC 掘削費の推計

Cases	Outsourcing		GDC [100 drilling days]		GDC [70 drilling days]		GDC [60 drilling days]	
	mil US\$	(%)	mil US\$	(%)	mil US\$	(%)	mil US\$	(%)
1 Drilling cost	3.4	(56.3%)	3.0	(74.5%)	2.8	(79.5%)	2.8	(82.4%)
2 Overseas mobilization	1.2	(19.9%)	-	(-)	-	(-)	-	(-)
3 Rig cost	1.4	(23.8%)	1.0	(25.5%)	0.7	(20.5%)	0.6	(17.6%)
Total	6.0	(100.0%)	4.0	(100.0%)	3.5	(100.0%)	3.4	(100.0%)
Note: Rig costs estimation	Drilling company: Cost Recovery Factor (20%, 10 yrs) = 0.24 30 M\$ x 0.24 = 7.2 M\$/yr							
Rig cost : 30 M\$	GDC: Cost Recovery Factor (8%, 15 yrs) = 0.12 30 M\$ x 0.12 = 3.6 M\$/yr							
Rig cost	5 wells/yr 1.4 M\$/yr		3.5 wells/yr 1.0 M\$/yr		5 wells/yr 0.7 M\$/yr		6 wells/yr 0.6 M\$/yr	

この掘削費の低減効果は地熱発電所の建設費の低減をもたらす。表 V -2-10、図 V -2-11 に示す通り、GDC が目標の掘削速度 70 日の能力を確保すれば、70MW のモデル発電所の建設費は US\$ 246 million、建設単価 US\$ 3,520/kW となり、掘削サービスを調達していた場合（掘削費 US\$ 6 million）の建設費 US\$ 284 million や現行（掘削費 US\$ 4 million）の建設費 US\$ 254 million に比較して大きく低減する。

事業形態を GDC による蒸気開発・民間（IPP）による発電の共同開発として、掘削費が発電コストや蒸気コストにどのように影響するかを図 V -2-12 に示す。GDC が外部から掘削サービスを調達した場合は発電コストは 12.6 US¢/kWh と推計され、自身の掘削リグを保有し現状の掘削能力の場合は 11.4 US¢/kWh、目標の 70 日掘削能力を確保すれば 11.1 US¢/kWh、さらに 60 日掘削能力を確保すれば 11.0 US¢/kWh まで低減させることができると推計される。このように GDC が自身で掘削リグを保有し、掘削能力を向上させる、安価な地熱エネルギーの供給に大きな効果がある。

表 V -2-10 坑井掘削費と 70MW モデル地熱発電所の建設費

70 MW GPP		Drilling costs (M\$/well)			
Construction costs (M\$)		6.0	4.0	3.5	3.4
Remarks		Outsourcing	100 drilling days	70 drilling days	60 drilling days
Steam Field	Wells	87	58	51	48
	FCRS	58	58	58	58
	Field others	21	20	19	19
Power Plant	Power Plant	109	109	109	109
	PP others	10	10	10	10
Total		284	254	246	244
Unit construction costs (\$/kW)		4,060	3,630	3,520	3,480

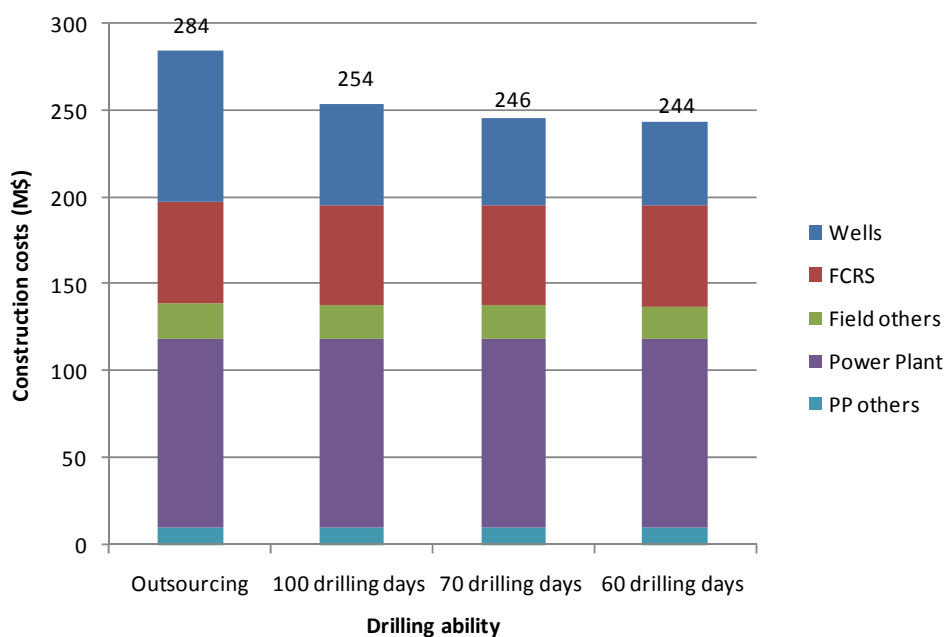


図 V -2-11 坑井掘削能力と 70MW モデル地熱発電所建設単価

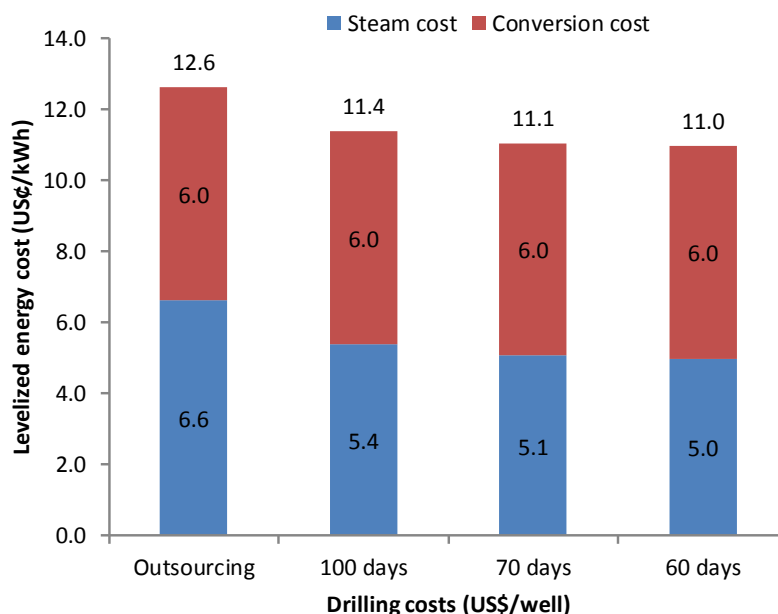


図 V -2-12 坑井掘削能力と発電コスト／蒸気コスト（GDC 蒸気開発・IPP 発電の共同開発の場合）

V -2.3 GDC のビジネスモデル

(1) 各種の官民連携形態

前項まででは、地熱開発の方式として、(i)民間企業による一貫開発、(ii)民間企業と国営企業の共同開発、(iii)国営企業による一貫開発、の3ケースを想定した。そして、国営企業(GDC)の場合、期待収益率が低いこと、自己掘削による掘削費の低減が期待できること、の2点から地熱の売電価格の低減に大きな貢献ができることを示した。

しかし、GDC の関与が大きくなるにつれて GDC の開発費が増大し、政府支援の限界を超える可能性がある。これを補うため、民間資金を地熱開発に導入することが必要となっている。このための官民連携の仕組みが必要である。本節では GDC のビジネスモデルとしての官民連携の在り方に関して検討する。

GDC が関与する官民連携の在り方には各種考えられる。GDC の関与が小さいものから大きいものへと順次並べると次のようになる。

(i) 民間企業一貫開発（参照ケース）

民間企業が、地上調査、資源探査、資源量確認調査、生産井等の掘削、蒸気供給設備建設、発電設備建設、運転のすべての段階を行う民間企業による一貫開発モデルである。このモデルの場合、GDC は何も関与しない。したがって以下の各モデルの参照ケースとして考える。

(ii) 初期調査モデル

GDC が地上調査、資源探査、資源量確認調査までの段階を実施し、その結果を民間企業に譲渡する。民間企業は、その後、生産井等の掘削、蒸気供給設備建設、発電設備建設、運転の段階を行う。GDC の役割は初期調査にとどまるモデルである。日本の NEDO が行った促進調査モデルである。

(iii) 官民 SPC モデル

GDC が地上調査、資源探査、資源量確認調査までの段階を実施する。その後の開発を担当する会社（特定目的会社：SPC）を GDC と民間企業との合弁で設立する。GDC は調査結果を SPC に譲渡する。SPC は、その後、生産井等の掘削、蒸気供給設備建設、発電設備建設、運転の段階を行う。官民共同開発モデルである。世界でまだ前例は見られないモデルである。

(iv) IPP モデル

GDC が地上調査、資源探査、資源量確認調査、生産井等の掘削、蒸気供給設備建設を行い、蒸気を民間 IPP に販売する。民間 IPP は発電設備を建設し、蒸気を購入し、運転の段階を行う。GDC がメネンガイで行っている IPP モデルであり、GDC が中心的に考えているビジネスモデルである。

(v) BOT（10年）モデル

前述の IPP モデルと類似であるが、異なる点は IPP の発電期間が有限（例えば 10 年間）である点である。その期間が終了した場合には IPP は発電設備を GDC に無償譲渡する。GDC はその後の発電を行う。一方、IPP は発電設備を無償譲渡する代わりに、運転中の蒸気を無償で提供を受ける。GDC は 10 年間は無償で蒸気を供給するが、10 年後に発電設備を無償で譲渡される。民間 IPP は 10 年間の発電事業で投資のリターンを確保する。1990 年代にフィリピンで採用されたモデルである。

(vi) GDC 一貫開発モデル

GDC が、地上調査、資源探査、資源量確認調査、生産井等の掘削、蒸気供給設備建設、発電設備建設、運転のすべての段階を行う GDC による一貫開発モデルである。官（GDC）の関与を最大としたケースである。

(2) 各種官民連携による開発事例

これらの開発体制による地熱開発の例を以下に掲げる（注：出力・運転開始年は World Geothermal Conference 2015, 各国の Country Update Report による）。

(i) 民間企業による開発

民間企業がグリーンフィールドの状態からすべての資源リスクを取り、開発するケースである。日本、インドネシアに例がみられるが、民間企業がグリーンフィールドからの資源リスクを取ることは困難であるため、事例はそれほど多くない。民間企業にとって、資源リスクを上回る好条件がそろわないと実現しにくい開発モデルである。

日本の場合、1970 年代の石油危機により輸入石油価格が上昇し、国産エネルギー開発が求められたことが大きな推進要因となった（しかし、1990 年代の石油価格の低下により日本の地熱開発はその後、停滞した）。インドネシアの場合、当時の売電価格が比較的魅力的であったことが海外企業を誘引した（しかし、1997 年のアジア通貨危機を契機に売電価格が引き下げられるとインドネシアにおける民間企業主体の地熱開発は停滞した）。

国名	日本
発電所	八丁原地熱発電所
出力	Unit-1 55 MW Unit-2 55 MW
運転開始年	1977年
開発事業者	蒸気開発から発電まで九州電力(株)による一貫開発

国名	Indonesia
発電所	Salak
出力	Unit-4~6 66.7 MW x 3 (*1)
運転開始年	1997年(Unit-4~6) (*2)
開発事業者	Union Oil Company of California Ltd. (UNOCAL) (*3) による蒸気開発から発電までの一貫開発
備考	*1: Unit-1~3 (60MWx3) は UNOCAL と PLN (国営電力会社) の共同開発 *2: Unit-1~3 は 1994 年運開 *3: 現在は Chevron Geothermal of Indonesia Ltd.

国名	Indonesia
発電所	Wayang-Windu
出力	Unit-1 110 MW Uni-2 117 MW
運転開始年	Unit-1 2000年 Unit-2 2009年
開発事業者	Magma Nusantara Ltd. Union Oil Company of California (*1) による蒸気開発から発電までの一貫開発
備考	*1: 現在は Star Energy Ltd.

なお、日本においては次のような民間企業2社による共同開発事例もある。

国名	日本
発電所	滝上地熱発電所
出力	27.5 MW
運転開始年	1996年
開発事業者	蒸気開発は出光大分地熱(株)、発電は九州電力(株)の民間2社による共同開発

国名	日本
発電所	葛根田地熱発電所
出力	Unit-1 50 MW, Unit-2 30 MW
運転開始年	Unit-1 1978年 Unit-2 1996年
開発事業者	蒸気開発は日本重化学工業㈱(*1)、発電は東北電力㈱の民間2社による共同開発
備考	*1: 現在は東北自然エネルギー㈱

(ii) 初期調査モデル

政府機関が調査井掘削を含む初期調査を行い、資源リスクを大きく減じた後、民間企業による地熱開発が進められるケースである。民間企業主体で地熱開発が行われている多くの国で採用されている官民連携モデルである。米国、トルコ、ニュージーランドに見られるように技術力のある政府の地質調査所に政府が強力な予算措置を講じて実施するケースが多い。日本は政府機関の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が中心となって初期調査を実施した。世界の事例は次のとおり。

国名	米国
発電所	ほとんどの発電所
出力	米国全体で3,477 MW
運転開始年	1960年～
開発事業者	米国のほとんどの地熱開発は民間企業により実施されている。 しかし、その基礎には1970年代の石油危機に対処するため米国地質調査所(United States Geological Survey; USGS)が実施した地熱発電のための地表調査や政府支援掘削(government-funded exploration)がある。USGSはこの結果を有名なUSGS Circular 790(1978年)として発表した。 Geysers地域では一部、すでに民間企業により地熱開発が進められていたものの、その後の多くの地熱開発はこの政府調査結果を基に進められた(GEA(2014))。

国名	日本
発電所	柳津西山地熱発電所
出力	65 MW
運転開始年	1995年
開発事業者	資源量確認調査まで新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が実施。その成果を受けて、奥会津地熱㈱が蒸気開発を実施。発電は東北電力㈱が担当。

国名	Turkey
発電所	Kizlidere-2 (*1)
出力	60 MW
運転開始年	2013 年
開発事業者	資源量確認調査まで National Geological Survey (MTA) が実施。 その成果を受けて、Zorlu 社が蒸気開発から発電まで実施。
備考	*1: Kizlidere-1 (15 MW) は 1984 年に MTA と Turkish Electricity Establishment (TEK) との官官の共同開発による。 *2: トルコにおいては Kizlidere-1 以外のほとんどの地熱発電所は、この MTA による初期調査方式で開発されている。 *3: MTA は 1962 年以降、227 の地熱地域を発見している (Dagistan(2015))。これまで MTA が全国で掘削した調査井は 578 本。総延長は 450 km に及ぶ (MTA(2015))。

国名	New Zealand
発電所	Wairakei
出力	157 MW
運転開始年	1958-1963 年
開発事業者	資源量確認調査までを Department of Science & Industrial Research (DSIR) が実施。その成果を受けて、国营電力会社である Electricity Corporation of New Zealand (ECNZ) が蒸気開発から発電までを実施した(*1)。
備考	*1: ECNZ は 1996 年に Contact Energy 社と ECNZ に分割され、Contact Energy 社は民営化された。その後、残る ECNZ も Genesis Power, Meridian Energy, Mighty River の 3 者に分割された。Wairakei は Contact Energy 社が保有した。 *2: New Zealand では政府 (DSIR) により 1960-1970 年代に積極的な調査が行われた。その結果、国内の高温地熱地域は 1980 年までに政府調査によりすべて発見されたという (NZGA (2015))。したがって、ほとんどの地熱発電所はこの DSIR による初期調査方式で開発されていることになる。

国名	Kenya
発電所	Olkaria-III
出力	100 MW
運転開始年	2000年-2014年
開発事業者	国営発電会社である KenGen が調査した地点のうち、Olkaria-III 地点について、ケニア政府は 1998 年に民間企業である Ormat 社に入札により開発権を与えた。Ormat 社は OrPower-4 社を設立し、開発を進めた。
備考	*1: Unit-1 は出力 52 MW, 2000 年運開。Unit-2 は 40 MW、2008 年運開。Unit-3 は出力 18 MW、2014 年運開。

国名	Guatemala
発電所	Amatitlan
出力	24 MW
運転開始年	2007年
開発事業者	国営電力会社 (Instituto Nacional de Electrification: INDE) が JICA 支援を得て 4 本の調査井を掘削。その後、2000 年に INDE は Ormat 社に 50 MW の開発権を認め、Ormat 社は継続開発を実施した (Asturias(2008))。

国名	Indonesia
発電所	検討中
出力	検討中
運転開始年	2012年 Fund 設立。
開発事業者	民間主体で地熱開発を進めたい政府は、政府による初期調査の重要性を認識し、政府予算により Geothermal Fund を設立した(2012年)。現在、Fund 額は US\$ 300million で、この Fund を活用して初期調査を実施することを計画中。現在は、詳細設計を行っているところ。Fund による政府調査後、入札により民間企業に開発を行わせる予定。

(iii) 官民 SPC モデル

GDC が官民連携の一つとして検討しているモデルである。政府機関が調査井掘削を含む初期調査を行い、資源リスクを低減し、その後、開発を担当する会社（特定目的会社：SPC）を政府と民間企業との合弁で設立する案であるが、今回の調査では世界でそのような事例は見当たらなかった。

なお、これに近い例としては、El Salvador の LaGeo が Berlin unit-3 (44 MW) を開発したことが挙げられるかもしれない。LaGeo は El Salvador の 100% 国営の地熱発電会社であるが、2002 年にイタリア電力会社の ENEL がその 36% の株式を取得した。この半官半民状態の LaGeo

は2006年にBerlin Unit-3を開発した(Prevost(2004))。しかし、これは国営会社の株式の一部を民間会社が取得したもので、GDCがビジネスモデルとして想定するような官民で開発のための新会社を設立したのではない。さらに、El Salvador側とENEL側の確執が表面化し、2014年にEl Salvador側はENELのすべての株式を買い戻し、半官半民状態は解消した(ENEL(2014))。

(iv) IPPモデル

政府機関が資源リスクを取って蒸気開発を行い、蒸気を民間IPPに販売する官民連携モデルである。GDCがメネンガイで実施するモデルで、現時点でGDCの主力となると考えられているモデルである。今回の調査では、当初の予想に反して意外に事例が少ないことが判明した。1つの事例がグアテマラに存在した。

国名	Guatemala
発電所	Zunil-1
出力	28 MW
運転開始年	1999年
開発事業者	国営電力会社(Instituto Nacional de Electrificación:INDE)が初期調査から蒸気開発までを行い、民間企業であるOrmat(ORZUNIL-I de Electricidad)に蒸気供給を行い、民間企業が発電を行っている。OrmatはINDEと25年間のPPA契約を結んでいる(Lima(2003))。

なお、小規模であるが、次のような事例が日本にも存在する。

国名	日本
発電所	菅原バイナリー発電所
出力	5 MW
運転開始年	2015年
開発事業者	蒸気開発は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が実施し、成功した生産井を地元自治体の九重町に譲渡した。九重町はこの生産井からの蒸気・熱水を九州電力株の子会社である九電みらいエナジー株に供給し、同社が発電を行う。

(v) BOT(10年)モデル

IPPモデルにおいて発電期間を10年間とし、その期間が終了した場合にはIPPは発電設備を蒸気供給会社は無償譲渡する方式はBOTモデルと呼ばれる。BOTモデルは1990年代にフィリピンで考案された。後述するように、このモデルは1990年代のフィリピンの地熱開発の非常に大きな推進力となった。その後、コスタリカもMiravalles-IIIで15年のBOTモデルを採用した。

国名	Philippines
発電所	Tongonan-II, Tongonan-III (*1)
出力	Tongonan-II 220 MW, Tongonan-III 391 MW
運転開始年	Tongonan-II 1997年 Tongonan-III 1997年
開発事業者	蒸気開発は国営会社である Philippine National Oil Company-Energy Development Corporation (PNOC-EDC)が実施。 発電は民間企業である California Energy が10年間のBOT方式で実施。
備考	*1: Tongonan-I はPNOC-EDC とNPC (国営電力会社) との官官共同開発で1983年に運開。113MW。 *2: 10年のBOT期間が過ぎたため、現在は発電部門はPNOC-EDCが所有。

国名	Philippines
発電所	Mindanao
出力	54 MW × 2 unit
運転開始年	Unit 1 1997年 Unit-2 1999年
開発事業者	蒸気開発は国営会社である Philippine National Oil Company-Energy Development Corporation (PNOC-EDC)が実施。 発電は民間企業である Oxbow 社 (米国) と丸紅㈱が共同で10年間のBOT方式で実施。
備考	*1: 10年のBOT期間が過ぎたため、現在は発電部門はPNOC-EDCが所有。

国名	Costa Rica
発電所	Miravalles-III
出力	27.5 MW
運転開始年	2000年
開発事業者	蒸気開発は国営会社である Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)が実施。 発電は民間企業である Oxbow 社 (米国) と丸紅㈱が共同で設立した GeoEnergia of Guanacaste Ltd. が15年間のBOT方式で実施 (Laprensalibre(2015))。
備考	*1: ラテンアメリカで初のBOT方式。 *2: 2015年3月、15年のBOT期間の終了により、発電部門はICEに移管された (Laprensalibre(2015))。

(vi) 国営企業による開発モデル

国営企業がグリーンフィールドの状態からすべての資源リスクを取り、開発するモデルであ

る。ケニア、イタリア、メキシコ、コスタリカ、アイスランド、エルサルバドルなど地熱開発の進んでいる国でこのモデルがみられる。地熱開発は資源リスクが大きいことから国営地熱開発会社の役割が大きいことを示す証左といえよう。国営企業1社による蒸気開発から発電までの一貫開発した事例は次の通り。

国名	Kenya
発電所	Olkaria-I、Olkaria-II、Olkaria-IV
出力	Olkaria-I 185 MW、Olkaria-II 105 MW、Olkaria-IV 140 MW
運転開始年	Olkaria-I 1981-2014年、Olkaria-II 2003-2010年、Olkaria-IV 2014年
開発事業者	国営発電会社(国70%、民間30%)であるKenGenによる蒸気開発から発電までの一貫開発。

国名	Italy
発電所	Larderello、Travale-Radicondoli、Mt. Amiata
出力	Larderello (595 MW)、Travale-Radicondoli (200 MW)、Mt. Amiata (81 MW)
運転開始年	Larderello (1991年-2009年)、Travale-Radicondoli (1986年-2010年)、Mt. Amiata (1991年-2013年)
開発事業者	国有電力会社であるENEL (Ente Nazionale per l' Energia Elettrica) による蒸気開発から発電までの一貫開発。
備考	*1: 運転開始年は現在稼働中のunitに関するもの。 *2: ENELは1962年に国有電力会社として設立された。1992年に100%政府所有の株式会社となった。1999年から株式の民間放出が行われ、2005年には政府株式は21%となった。 *3 この電力自由化の一環で、すべての地熱発電所は2008年に設立されたENEL子会社のENEL Green Power社に移管された。このため、現時点では民間開発となるが、ほとんどは国営企業の時代に開発されているため、この範疇に整理した。

国名	Mexico
発電所	Cerro Prieto、Los Azfures など
出力	Cerro Prieto 720 MW、Los Azfures 188 MW
運転開始年	Cerro Prieto 1973-2000年、Los Azfures 1982年
開発事業者	国営電力会社であるCFE (Commission Federal of Electricity)による蒸気開発から発電までの一貫開発。

国名	Cost Rica
発電所	Miravalles、Las Pailas
出力	Miravalles 136 MW、Las Pailas 43 MW
運転開始年	Miravalles 1994年～、Las Pailas 2011年～
開発事業者	国営発電会社である Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)による蒸気開発から発電までの一貫開発。

国名	Iceland
発電所	Krafla, Bjarnarflag
出力	Krafla 30 MW x 2 unit, Bjarnarflag 3 MW
運転開始年	Krafla 1978年(unit-1), 1998年(unit-2), Bjarnarflag 1969年
開発事業者	国営電力会社である Landsvirkjun による蒸気開発から発電までの一貫開発。

国名	Iceland
発電所	Nesjavellir, Hellisheiði
出力	Nesjavellir 30 MW x 3 unit, Hellisheiði 45 MW×3 unit, 33 MW ×1 unit
運転開始年	Nesjavellir 1998年-2005年, Hellisheiði Krafla 2006年-2010年
開発事業者	国がほぼ100%所有する国営会社である Reykjavik Energy 社による蒸気開発から発電までの一貫開発。

国名	El Salvador
発電所	Ahuachapan、Berlin (Unit-1&2)
出力	Ahuachapan 95 MW、Berlin(Unit-1&2) 56 MW
運転開始年	Ahuachapan 1975年-1981年、Berlin (Unit-1&2) 1999年
開発事業者	国営電力会社（レンパ川水力開発委員会 Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)）が世界銀行等の支援を受け、地熱一貫開発を実施（Prevost(2004)）。 1999年、国営エネルギー会社（INE）の出資により設立された地熱発電会社である LaGeo が CEL から両発電所の所有権・開発権を取得し、運営管理、継続開発を行っている。
備考	LaGeo には 2002 年から ENEL（イタリア電力会社）が 36%の株式を保有し経営参加したが、ENEL は 2014 年にこの株式のすべてを INE に売却し、LaGeo は 100%国有会社に戻った（ENEL（2014））。

国名	日本
発電所	鬼首地熱発電所
出力	15 MW
運転開始年	1975年
開発事業者	国営発電会社(国100%所有(当時))である電源開発(株)による蒸気開発から発電までの一貫開発。

また、国営企業2社による蒸気開発と発電の共同開発事例もある。

国名	Philippines
発電所	Palenpinon, Bac-Man
出力	Palenpinon 193 MW, Bac-Man 150 MW
運転開始年	Palenpinon 1983年-1995年, Bac-Man 1993年-1995年
開発事業者	蒸気開発は国営会社である Philippine National Oil Company-Energy Development Corporation (PNOC-EDC)が実施。 発電は国営電力会社である National Power Company (NPC)が実施(*1)。
備考	*1: 発電施設はNPCの民営化に伴い、2009年、EDCの子会社である Green Core Geothermal Inc. (GCGI)に売却された。

国名	Indonesia
発電所	Kamojang (Unit-1~Unit-3), Lahendong
出力	Kamojang 140 MW (Unit-1~Unit-3), Lahendong 60 MW
運転開始年	Kamojang 1983年-1988年, Lahendong 2001年-2009年
開発事業者	蒸気開発は国営会社である Pertamina Geothermal Energy (PGE)が実施。発電は国営電力会社である PT. PLN が実施。

それぞれの事例を図V-2-14に整理する。

(3) 各種官民連携による発電コスト／蒸気コスト

これらの各種GDCのビジネスモデルを前述の70MWモデル地熱発電所に適用した場合の発電コストや蒸気コストがどの程度になるかを検討する。検討に当たっては、次のような前提を置いた。

<期待収益率>

GDCは10%、民間企業は20%、GDCと民間企業の合弁で設立するSPCは15%。

<掘削費>

GDC、民間企業、SPCのいずれの場合もUS\$ 4.0 million/本と仮定した。これは、民間企業もSPCもGDCから掘削サービスを調達する可能性を考慮したものである。

<初期調査成果の譲渡価格>

(ii)の初期調査モデル及び(iii)の官民共同開発モデルにおいて、GDCが実施する初期調査は表V -2-11のよう想定した。この調査費の総額はUS\$ 38 millionであるが、民間へ売却する価格はUS\$ 42 millionとした。これはGDCの期待収益率相当の金利10%を加味した価格である。譲渡は初期調査終了時点で行われ、支払は一時金で行われるものとした。

表V -2-11 GDCの初期調査内容と移転価格((ii)初期調査モデル・(iii)共同SPCモデルの場合)

段階	内容	費用 (m\$)	実施時期
1. 地上調査	広域調査、詳細調査	2	-7年度
2. 資源探査	調査井掘削2本	10	-6年度～-5年度
3. 資源量評価調査	調査井掘削5本	23	-5年度～-4年度
	坑井試験等	3	-4年度
小計		38	
マージン	金利10%	4	
合計		42	-4年度末に売却

以上のGDCの各種ビジネスモデルとその経済性検討の前提を表V -2-12、図V -2-13に示す。

表V -2-12 GDCの各種ビジネスモデルの内容と売電価格の算出前提

GDCビジネスモデル	内容	前提
民間企業一貫開発 (参照ケース)	民間企業による一貫開発 (GDCは無関与)	民間企業期待収益率20% 民間企業掘削費4.0M\$/本
初期調査モデル	GDCが蒸気確認段階まで実施(7本掘削) 成果を42M\$で民間企業に売却 以降を民間企業が開発	GDC期待収益率10% GDC掘削費4.0M\$/本 民間企業期待収益率20% 民間企業掘削費4.0M\$/本
官民SPCモデル	GDCが蒸気確認段階まで実施(7本掘削) 成果を42M\$でGDC・民間共同SPCに売却。 以降をSPCが開発	GDC期待収益率10% GDC掘削費4.0M\$/本 SPC期待収益率15% SPC掘削費4.0M\$/本
IPPモデル	GDCが蒸気開発を行い蒸気を有料でIPPに 供給。 IPPは発電事業を実施。	GDC期待収益率10% GDC掘削費4.0M\$/本 IPP期待収益率20%
BOT(10年)モデル	GDCが蒸気開発を行い蒸気を無償でIPPに 供給。IPPは10年間、発電事業を実施。 IPPは10年後に発電設備をGDCの無償提 供。以降はGDCが発電を実施。	GDC期待収益率10% GDC掘削費4.0M\$/本 IPP期待収益率20%
GDC一貫開発モデル	GDCによる一貫開発	GDC期待収益率10% GDC掘削費4.0M\$/本

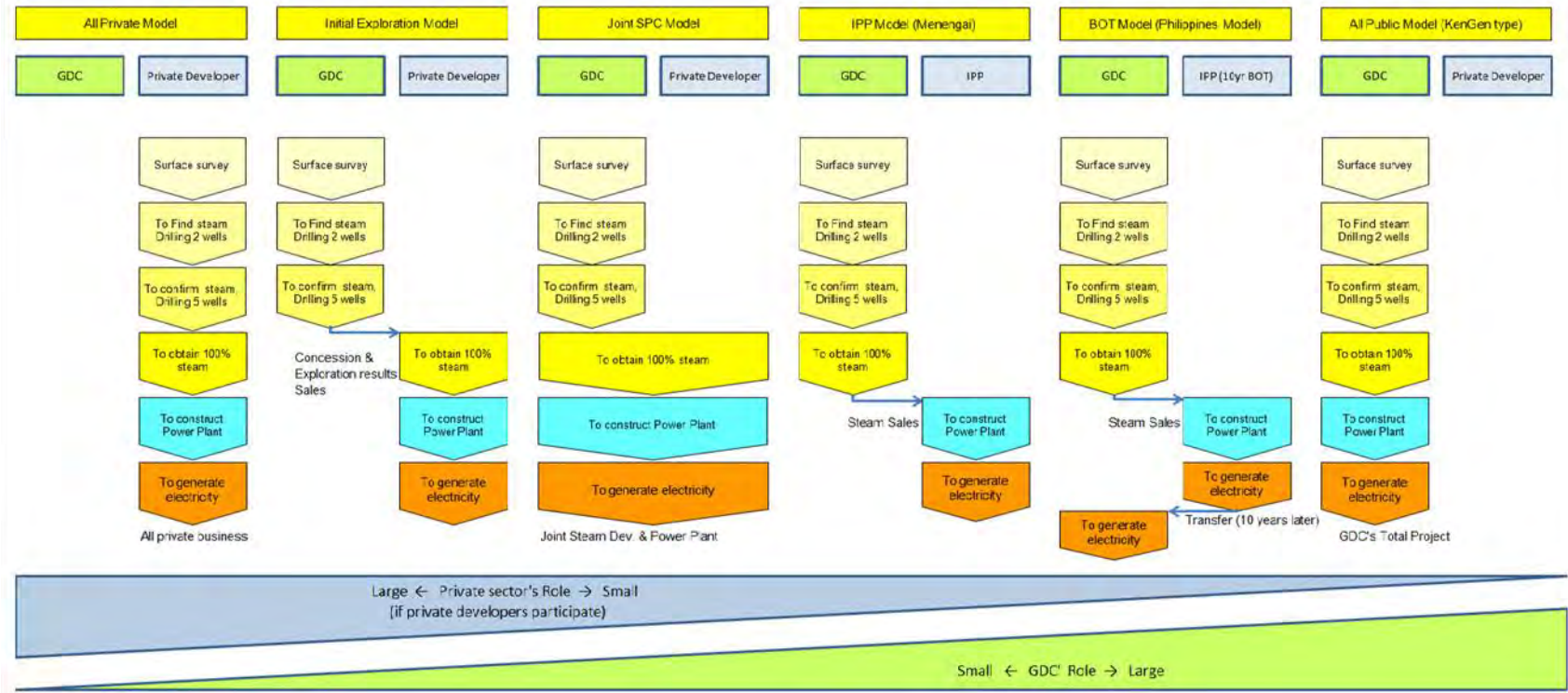


図 V -2-13 GDC の各種ビジネスモデル

(JICA 調査団作成)

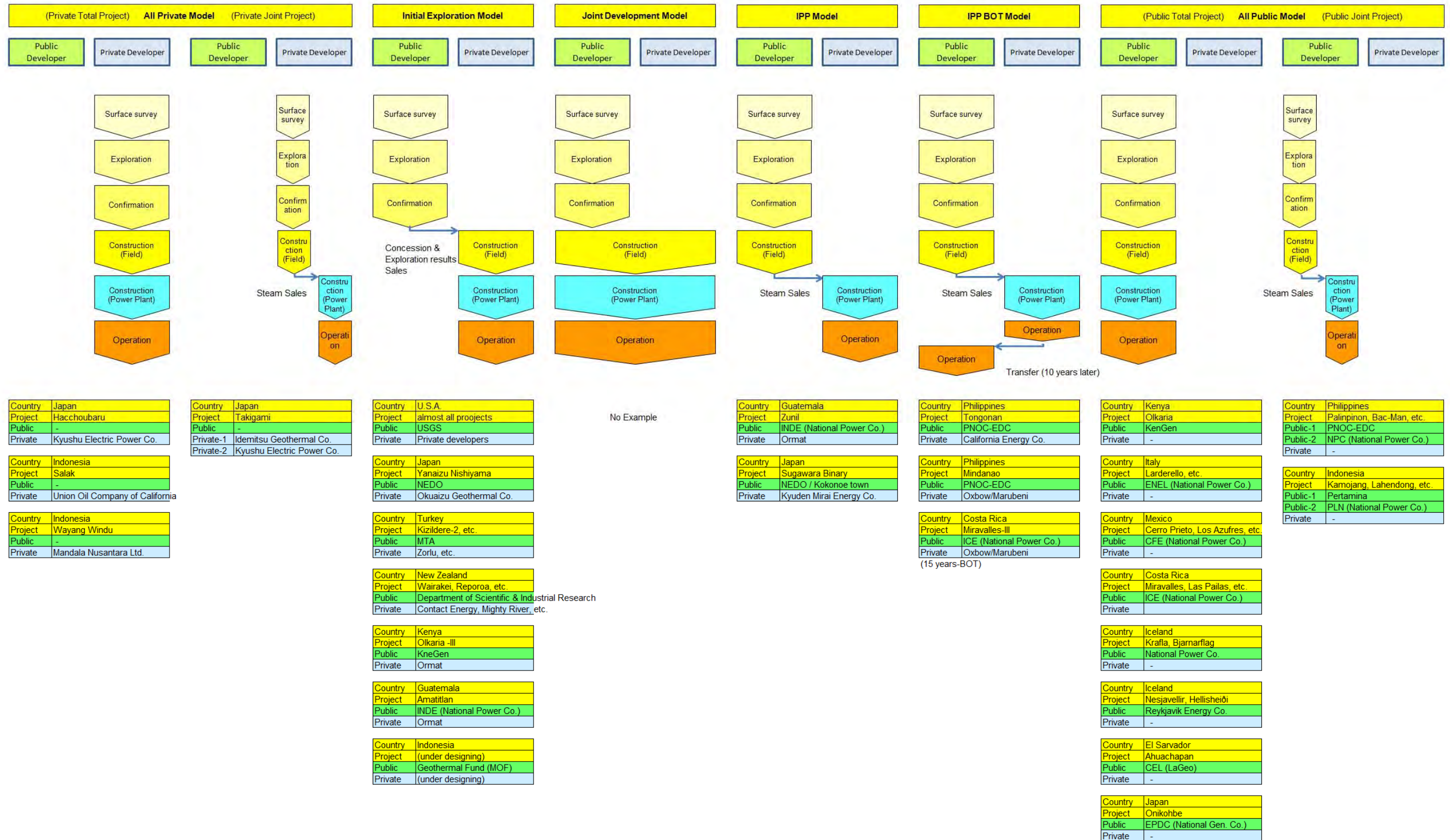


図 V -2-14 各種ビジネスモデルの事例

この条件で 70MW モデル地熱発電所の発電コスト／蒸気コストを算出した結果を図 V -2-15 に示す。GDC の関与が高まるにつれて発電コストが安価になることが分かる。官民連携における官の主たる役割は資源リスクの低減であるが、官の役割が大きくなるにしたがって発電コスト／蒸気コストを低下させる効果もある。資金コストが安価であるという国営会社の利点を生かして安価なエネルギーを提供するとの国営地熱会社の存在意義が再確認できる。

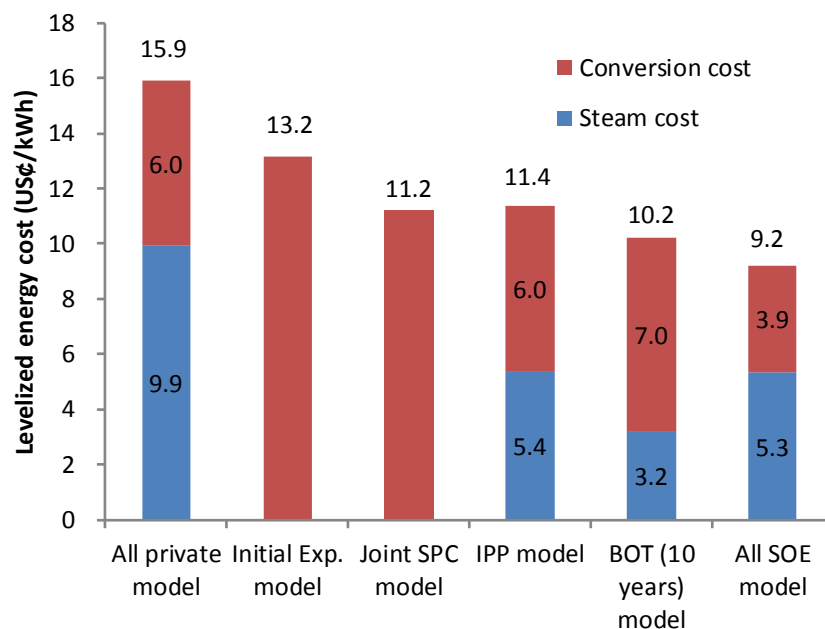


図 V -2-15 GDC の各種ビジネスモデルの発電コスト／蒸気コスト

(4) BOT モデル

本節では BOT モデルについてももう少し説明と考察を加える。BOT モデルとは、GDC が蒸気開発を行い民間 IPP に蒸気販売を行う。民間 IPP は発電所を建設し、GDC から蒸気を購入し、発電を行い、電力会社 (Kenya Power) に売電する。ここまでは IPP モデルと同じであるが、BOT モデルでは IPP による発電期間が限られており (例えば 10 年間)、所定の期間後に発電設備は無償で GDC に譲渡される。譲渡を受けた GDC は 11 年目から蒸気生産から発電事業までを行い電力会社への売電を行う。この場合、GDC は発電設備を無償で取得するが、同時に IPP が保有していた借入金返済の義務も負う。発電設備が IPP により建設され (Build)、運転され (Operate)、その後移転される (Transfer) ことから BOT モデルと呼ばれる。民間 IPP にとってはプロジェクト参加期間が 10 年と限られるが、地熱プロジェクトに資源開発リスクを負担することなく参入でき、10 年間に投資に対する所定のリターンが得られさえすれば GDC と win-win の関係になる。このため、IPP として参加する企業数は多数あると考えられる。地熱分野の BOT モデルは、前述のとおり 1990 年代にフィリピンで考案された。1980 年代後半から 90 年代前半にかけてフィリピンは深刻な電力危機に見舞われた。これに対処するため、発電事業への民間企業の参加 (BOT) が認められ (1989 年 BOT 法 (法 No. 6957)、1993 年拡大 BOT 法 (法 No. 7718))、電力危機に対処するためガスタービン発電所などが BOT により建設された。また、地熱も BOT により民間企業が国営電力会社 (NPC) に代わって発電所建設に参加する道が開かれた。図 V -

2-16 が示す様にこの方式の導入により 1990 年代のフィリピンの地熱開発は急速に進んだ。

しかし、火力分野で積極的に行われた BOT の導入は、電力危機の解消には役立ったが、他方で、ガスタービンなどの資本費が安く燃料費が高い電源の割合を高め、電力価格を上昇させ、また、NPC の財務状況を悪化させることともなった。このため、政府は電力セクター改革法 (EPIRA) を 2001 年に制定し、電気事業のアンバンドリングを行い、NPC の分割民営化を進めることとした。また、PNOC-EDC も株式の民間への放出が行われた。このような状況の中で、地熱分野での民間企業による新規投資もほとんど行われなくなった。民間企業だけでは地熱開発が思うように進まないとの事例をここでも見ることができる。

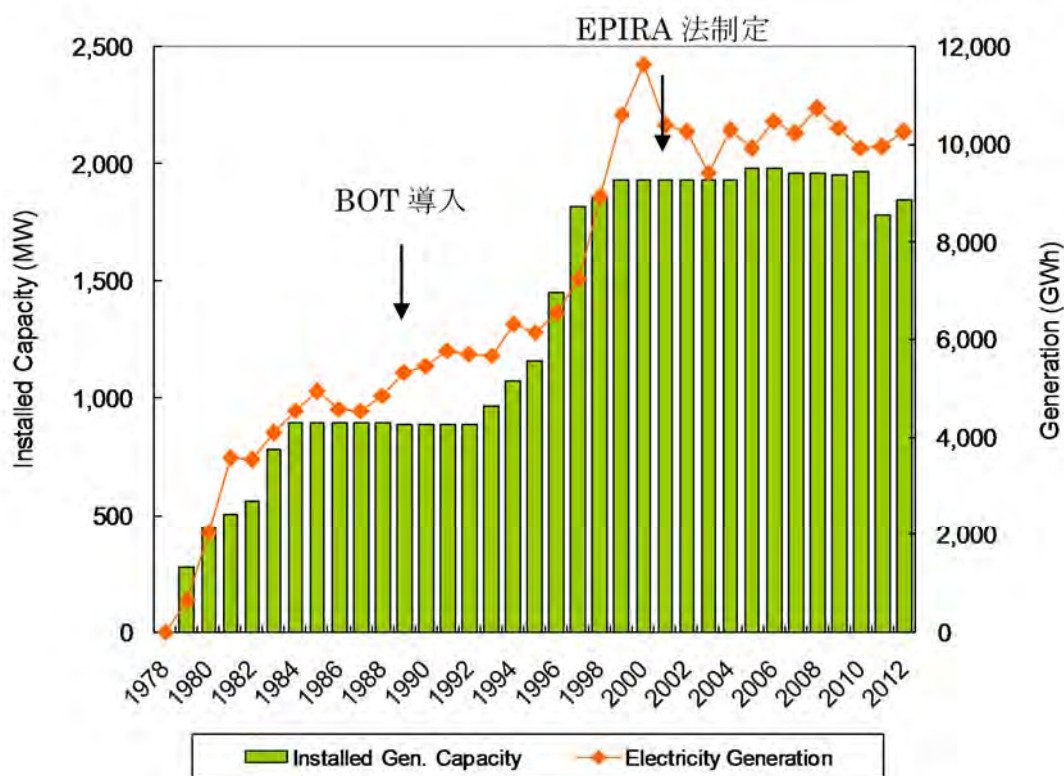


図 V -2-16 フィリピンの地熱発電設備と発電電力量の推移

BOT モデルはいろいろと設計できる。例えば、IPP の運転期間を 10 年とするか 15 年とするか、IPP は Kenya Power に売電するか GDC に売電するか、電力会社への売電価格を一定にするか多段階とするか、などである。1990 年代のフィリピンでは BOT 期間は 10 年であったが (例えば、Tongonan, Mindanao など)、2000 年に行われたコスタリカの Miravalles-III は 15 年であった。本調査報告では BOT 期間 10 年を推奨する。理由は 15 年 BOT の場合、譲渡時の設備の劣化が懸念されるためである。このため、以下の試算は BOT 期間を 10 年として試算している。

売電先については、(i) IPP が GDC から蒸気購入し発電を行い Kenya Power に売電する方策 (Option-1) と (ii) IPP が GDC から蒸気購入し発電し、できた電気は GDC に引き取ってもらう方策 (GDC はその後 Kenya Power に売電する) (Option-2) の 2 つのスキームが考えられる (図 V -2-17)。両者の比較では IPP からみて契約相手が 1 社となる Option-2 が優れている。Option-

1 の場合は IPP は Kenya Power と売電条件の交渉を行うのと並行して GDC と蒸気購入条件の交渉を行う必要が生じるからである。Option-2 では IPP は GDC から蒸気の供給を受け、発電を行い、発生電力を GDC に売電する。蒸気の供給は GDC から無償で行われ、電力は GDC が売電価格プラス蒸気価格で Kenya Power に売電することになる。この場合、GDC は蒸気は無償で提供し、一方、高額で電力を引き取るため、一方的に損をしているように見えるが、10 年後には発電所を無償で引き取ることになるため GDC にも利益がある。他方、IPP にとっても初期建設費を投入するが、10 年間に売電で利益を回収でき、また、蒸気供給は GDC が保証するためリスクがなく、電力も GDC が確実に購入するため off-taker リスクも免れている。このように双方に利益を配分する仕組みとなっている。

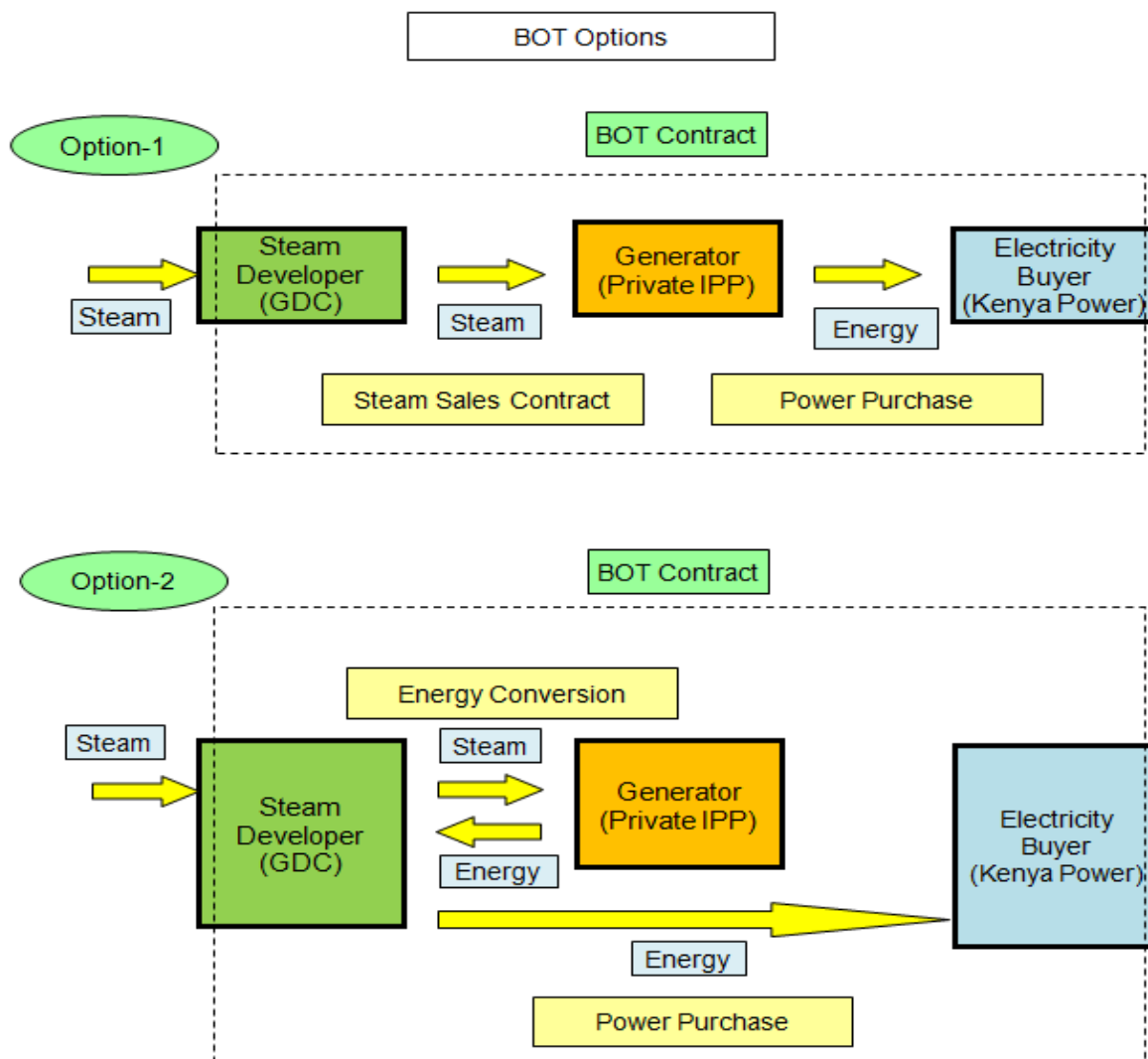


図 V -2-17 2つの BOT スキーム

売電価格に関しては1段階で行う方式をBOT-1とし、2段階で行う方式をBOT-2としよう。IPPモデル、BOT-1モデル、BOT-2モデルの売電価格・蒸気価格の概念図を図V-2-18に示す。IPPモデルの場合、GDCが30年間で期待収益率10%を確保するためには蒸気価格を5.4 US¢/kWh

とする必要があり、IPP が 30 年で期待収益率 20%を確保するために自身の取り分を 6.0 US¢/kWh として売電価格を 11.4 US¢/kWh とする必要がある。一方、BOT-1 モデルの場合、IPP は 10 年間で期待収益率 20%を確保するために自身の取り分を 7.0 US¢/kWh へと高める必要が生じる。しかし、GDC は 11 年目からは発電事業を無償取得し売電収入が入るから前半の 10 年間は 3.2 US¢/kWh という安価な価格で蒸気を供給しても構わない。この結果、全体の売電価格は 10.2 US¢/kWh で収まり、IPP モデルより 1.2 US¢/kWh 低下する。IPP モデルに比較して GDC の関与が大きいため BOT-1 モデルの方が売電価格が安価になることが分かる。なお、図 V -2-19 に BOT-1 モデルにおける BOT 期間の売電価格への影響を示す。GDC の関与が小さくなるにつれて売電価格は高くなる。



図 V -2-18 IPP モデルと BOT モデルにおける民間企業と GDC の販売価格の概念図

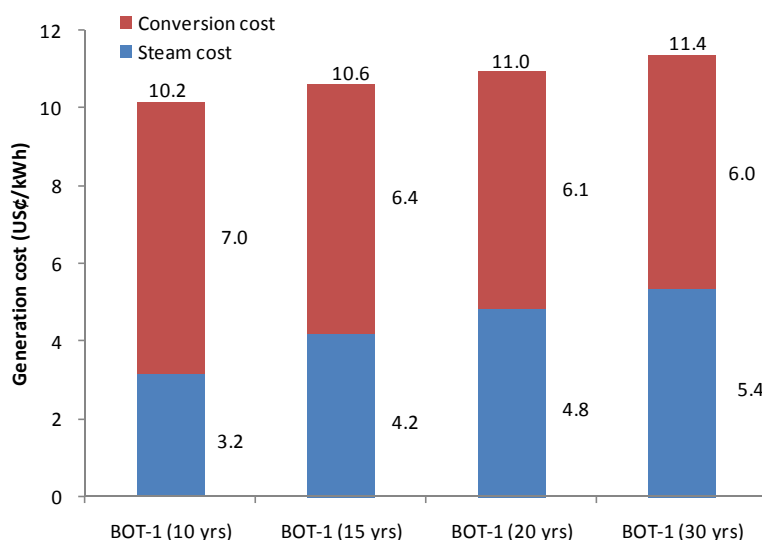


図 V -2-19 IPP BOT モデルにおける BOT 期間の影響

BOT-2 モデルは BOT-1 モデルの初期 10 年間の GDC の収入が少ない点を改善したものである。初期 10 年間の GDC の蒸気価格を 6.0 US¢/kWh とすると IPP の取り分 7.0 US¢/kWh を加味して売電価格は 13.0 US¢/kWh となる。GDC は 11 年目からは 4.6 US¢/kWh で売電すれば 30 年間で 10% の期待収益率が確保できる。すなわち、Kenya Power への売電価格は 13.0 US¢/kWh と 4.6 US¢/kWh の 2 段階となる。この 2 段階料金を割引率 12% で 30 年平均すると 10.5 US¢/kWh となり、Option-1 モデルの場合よりやや高いが IPP モデルより安価である。

国営会社のみで地熱開発資金をすべて賄うことは困難である。従って、発電所建設に民間の資金力を必要とする。この場合、IPP モデルより BOT モデルを活用することで民間資金力を利用しつつ、国営会社の利点も活かして地熱の売電価格（すなわち発電コスト）を下げる点に注目したい。

(5) GDC のビジネスモデル検討

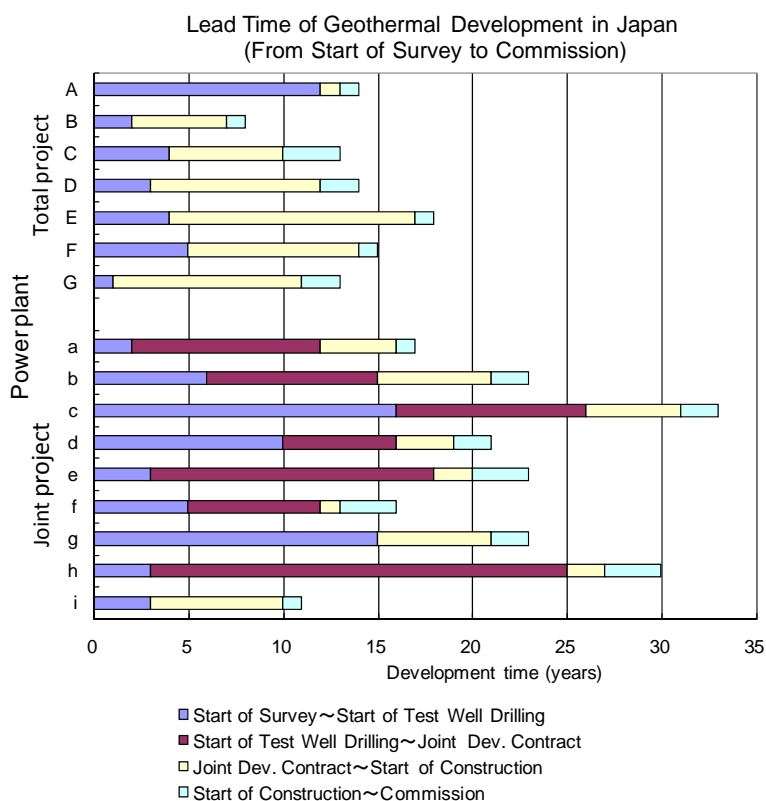
本項では、先に述べた世界の事例や各モデルの経済性評価をもとに、GDC のビジネスモデルをさらに検討する。

(i) 一貫開発か共同開発か

まず、一貫開発か共同開発かという問題を最初に考える。共同開発の例としては、民間企業同士による共同開発事例（日本：滝上発電所、葛根田発電所）と国営企業同士による共同開発事例（フィリピン：Palinpinon, Bac-Man, etc, インドネシア：Kamojang, Lahendong, etc.）を先述した。しかし、この共同開発形態は、過去に発電事業が民間事業者認められていなかった時代に取りられた体制である。当時、多くの国では発電事業者は電力会社にしか認められていなかったため、このような蒸気開発会社と電力会社の共同開発体制がとられた。しかし、電力自由化の中で、民間企業も発電事業が行えるようになった近年ではこのような体制は少なくなった。日本でも現在は蒸気開発会社が発電事業まで実施する前提で調査を行っているし、インドネシアでも最近では Pertamina が蒸気開発から発電まで手掛ける例が多くなっている。

考えてみると、地熱発電の発電部門は資源リスクがなくキャッシュフローが得られる部門である。したがって、この「金のなる木」の部門を蒸気開発のリスクの大きい部門から切り離すのは実に割に合わない話である。できるだけ一体化しておく必要がある。

共同開発は2社がお互いのリスクを押しつけ合う構造になりやすい。このため、共同開発協定を結ぶまで時間を要しやすいという欠点もある。日本の地熱発電所の例では一貫開発を行った場合は調査開始から発電所運開まで平均で約14年であるが、共同開発の場合は平均で約22年と8年も長い時間を要している（図V-2-20）。資源リスク対策は経営判断の問題でもある。地熱開発は基本的に1人の経営者が迅速な判断を行う一貫開発体制が望ましいと考えられる。



(日本地熱調査会 (2000) から JICA 調査団作成)

図 V -2-20 一貫開発と共同開発の開発リードタイム (日本の例)

(ii) 初期調査志向か完全開発志向か

官民連携の中で官の役割は2極化している。1つは、国営機関（地質調査所など）が調査井掘削を含む初期調査を実施し、有望性を明らかにしたうえで、その後の開発は民間企業に委ねるモデルであり、もう1つは、国営地熱会社が発電事業までの完全開発を実施するモデルである。

民間企業が技術力と資金力を有し、市場の投資環境が整っている先進国においては、官の役割として前者のモデルが有効であろう。官の費用負担が少なくすみ、また、民の活力を有効に利用できるためである。しかし、市場の投資環境が十分でない途上国において、このモデルは機能するであろうか。ケニアの場合、オルカリア-III でこのモデルを採択した。しかし、1998

年に開発権を委ねてから開発規模が 100 MW に達したのは 2014 年である。この間に KenGen は 4 倍以上の 468 MW も開発している。

そもそも GDC を設立した趣旨は、ケニアの現下の経済環境においては民間企業が直接地熱開発に参入することは困難であると考えられたからである。したがって、ケニアが志向すべきモデルは国営会社による発電までの完全開発形態ではないかと考えられる。

(iii) IPP モデルか BOT モデルか

今回の調査で、官が蒸気開発を行い、民が発電するいわゆる IPP モデルの実例を調べたが、グアテマラに 1 例、日本に小規模事例が 1 例の計 2 事例しか見いだせず、意外に事例が少ないことが分かった。その理由は、前述のように、発電部門という「金の生る木」部門を切り離すことの不利益によるものと思われる。

このような不利益に対処するため、フィリピンは BOT モデルを考案した。PNOC-EDC は蒸気開発会社であるから、発電に関する技術、知識は有しない。また、発電所建設の資金力も不足している。そのような状況下で BOT モデルを採用することで、10 年の BOT 期間後に PNOC-EDC は無償で発電設備を取得することができたのである。一方、民間企業にとっても BOT モデルは利益があった。資源リスクを負うことなく地熱発電に参入でき、10 年の BOT 期間に所定の投資利益を得ることができたからである。こうして、BOT モデルを採用してフィリピンの地熱開発は飛躍的に進んだ。もちろん、GDC が発電部門まで進出することに関してはケニア政府内の議論の整理と法改正が必要であろう。しかし、フィリピンの BOT モデルの成功事例はケニアにとっても一つのあり方を示唆しているように思われる。

V -2.4 ODA 援助の受け入れ機関としての役割

最後に国営機関が地熱開発に携わる第 3 の意義として ODA の受け入れ機関になりうることを指摘したい。図 V-2-6 で初期投資の大きい地熱は事業主体の期待収益率と発電コストとの関係が強いことを見た。したがって、事業主体の期待収益率を下げることであれば地熱の発電コストを大きく下げることができる。事業主体の期待収益率は、事業主体が安価な資金を調達できれば、その分だけ下がる。したがって、円借款をはじめとする ODA 資金の様に資金コストの極めて安価な資金を利用することができれば、その効果は大きいものがある。

ここで、市中金融に代えて ODA 融資を受けた時の売電コスト/蒸気コストを試算する。ODA 融資は円借款を代表に表 V -2-13 に示す条件とした。ODA 融資は GDC のみが受けることができ、民間 IPP は市中金融のままとした。結果は図 V-2-21 に示す通り、IPP モデルの場合、円借款が入ることで GDC の蒸気価格が低下し、発電コストは 9.4 US¢/kWh まで低下することが分かった。BOT モデルの場合も、GDC の蒸気コストが低下することで、発電コストは 9.2 US¢/kWh (BOT-2 モデル) や 8.8 US¢/kWh (BOT-1 モデル) まで低下することが分かる。このように GDC が円借款をはじめとする ODA 資金を調達することで、地熱の発電コストを下げるができる。ODA は国営機関に対し提供されるものであるから、ODA 資金の受け皿となり、安価な地熱エネルギーを国民に提供することができる点が国営地熱会社の第 3 の役割である。

表 V -2-13 市中金融と ODA 融資の条件の違い

資金源	市中金融（仮定）	ODA 融資（円借款例）
金利	8%	0.2%
据置期間	3年	10年
返済期間	10年	20年

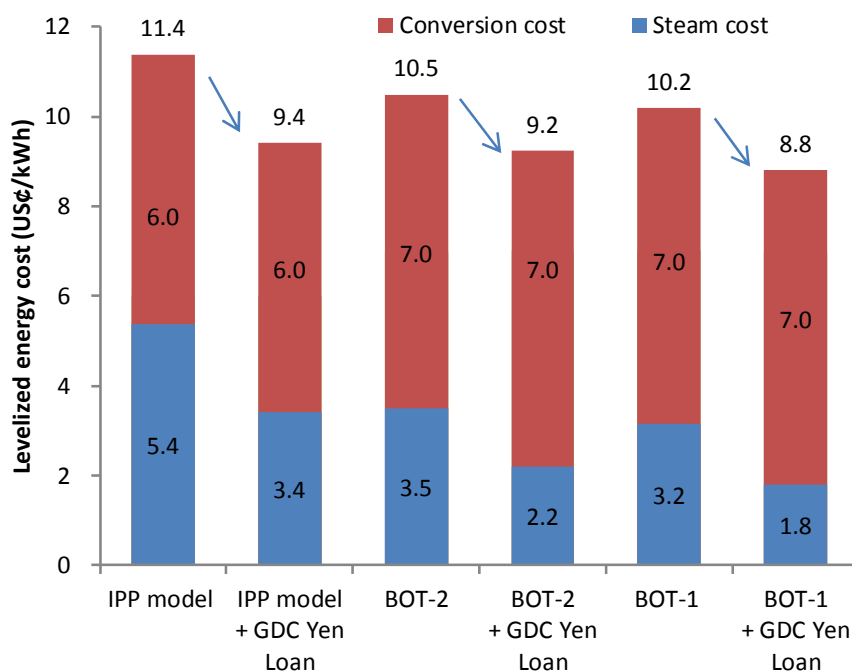


図 V -2-21 円借款の発電コスト低減効果

V -2.5 GDC への期待

地熱は開発されると大きな価値を社会にもたらす。しかし、資源リスクと大きな初期投資がネックとなって、必ずしも円滑な開発が行われているわけではない。我々は地熱開発が成功するためには単に地熱資源が存在するだけでは不十分であると考えている。足下に存在する地熱資源を掘り起こし、それを有効に利用し、その価値を社会が享受するためには、それを成し遂げるための国としての総合力が必要であると考えている。

我々が考える国としての総合力とは、図 V-2-22 に示すとおり、(a)「技術力」、(b)「開発資金」、(c)「国の意志」である。国内に地熱資源が存在することは単なる前提条件でしかなく、このエネルギーを有効に利用するためには、それを成し遂げるための「技術力」がその国の中に必要であり、また、それを可能とする「開発資金」が必要である。そしてこの二つと同等以上に重要な役割を果たすものとして地熱開発を進めたいとする強力な「国の意志」が必要と考えている。

このうち技術力に関してみると、地熱開発を支える技術要素は多岐にわたる。主な技術分野別にみても、探査技術段階として、地質探査、物理探査、地化学探査などの技術が総合的に必要であり、その後の蒸気開発段階においては、貯留層評価・管理技術、掘削技術、蒸気生産設備製造・建設技術等の諸技術が必要である。また、発電分野に関しては、発電所の設計から機器調達、据

付・建設技術などが必要であり、さらには発電所の維持管理技術も不可欠である。蒸気タービンや発電機等の重電機器は輸入に頼るとしても、国内に賦存する地熱資源を初期探査からはじめて開発利用するまでにはこのように総合的な技術力を必要とする。地熱開発を推進するに当たっては、これらの幅広い技術分野において、ある程度のレベルの国内技術を保有していなければならない。

国内にこのような技術を育成する土壌として特に重要な役割を果たすものは、国内の地熱開発中核機関である。発展の初期においては外国からの導入技術の受け皿となり、そのうち、導入技術を自分達なりに消化し、蓄積し、さらに自国にあった技術にローカライズし、これにより最後は国内資源の開発に関しては外国技術者達にも負けない技術力を身につけるとというのが一般的な発展パターンである。そしてこの中核機関から技術がスピルオーバーし、国内の地熱関連産業を育成し、全体として国の地熱開発技術集積を形成していく。地熱開発が盛んなくつかの国ではこのような国内中核機関が存在し、それぞれこの発展パターンを経て国内に地熱技術集積が形成されている。国内に地熱開発の中核となる機関を如何に育てられるかはその国の地熱開発が成功するか否かの大きな鍵となると考えている。我々は GDC がこの中核機関としての役割を十分に果たしてほしいと願っている。

第 2 の開発資金に関しても、GDC は国営機関として諸外国の ODA 資金の受け皿になりうる立場にある。いつまでも援助に頼るわけにはいかないが、援助を受けることのできる間に多くの開発を経験し、知識を蓄積し、技術力を高めてほしいと考える。また、政府も強い意志により GDC の育成と地熱開発の推進を図ってほしいと考える。

フィリピンの PNOC-EDC は設立直後は十分な技術力、資金力を有していなかった。しかし、世界銀行、ニュージーランド、日本などの支援を得て、地熱開発の経験を積み重ねる過程で学習効果が働き、また、国内に地熱裾野産業が育成された。この結果、フィリピンでは 1990 年代に地熱が最も安価な電源といわれるまでになった。また、現在では PNOC-EDC は地熱コンサルタントとして海外にも進出するまでになった。このように援助を有効活用し、経験を蓄積し、技術力を育み、中核機関として発展するというのが成功パターンである。我々は GDC も同様の成長過程を経て、ケニアにおける地熱開発の「Center of Excellence」として発展してほしいと願っている。

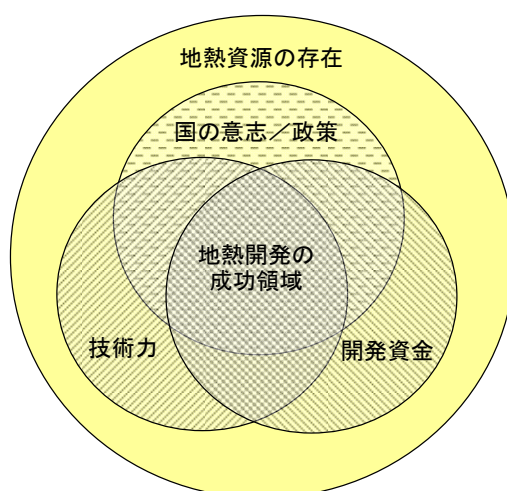


図 V -2-22 地熱開発成功のための Key Success Factors

以上、本節では地熱発電の経済性の特徴と GDC のビジネスモデルについて検討してきた。本節の検討をまとめると次のようになる。

- a) 地熱発電は化石燃料を用いる火力発電と異なり、発電コストに占める資本費の割合が極めて大きい。
- b) この結果、発電コストと事業者の期待収益率との間に強い相関関係が生じる。これにより、期待収益率の高い民間企業が地熱開発を行うと高い発電コストとなる。一方、期待収益率の低い国営企業が地熱開発を行うと発電コストは安価になる。
- c) このように安価な資金調達力を背景に、期待収益率を抑え、安価な地熱エネルギーを消費者に提供することが国営地熱機関に期待される役割の1つである。
- d) GDC が掘削リグを保有し、掘削能力を高めることは掘削費の大幅低減につながる。これは発電コストを低下させる効果がある。このように自らリグを保有し、高い掘削能力を取得し、安価な地熱エネルギーを提供することが国営地熱機関に期待される第2の役割である。
- e) GDC と民間企業の官民連携の在り方には各種考えられる。各国の事例を参考にすると、GDC が考えている IPP モデルは例が少ない。国営地熱機関が発電まで実施してしまう一貫開発モデルの事例が多い。可能であれば GDC による一貫開発モデルを採用できないか。それが困難であればせめて IPP モデルと一貫開発モデルの中間に位置する BOT モデルを目指すことはできないか。
- f) BOT モデルは発電コストを IPP モデルより安価にすることができ、消費者にとっても恩恵があるモデルと考えられる。
- g) 国営機関の第3の役割として、ODA 資金の受け皿になりうる点がある。ODA 資金を利用することで売電価格をさらに下げることが期待できる。
- h) 地熱開発が成功するためには国内の地熱開発中核機関を育成することが必要である。GDC は開発経験を蓄積し、学習効果を働かせ、また、技術をローカライズし、地熱開発の Center of Excellence として成長することが期待される。

参考文献 (V-2)

- (社)海外電力調査会(2010), 諸外国の電気事業 第2編 2010年, 2010年3月
(社)海外電力調査会(2000), 諸外国の電気事業 第2編 2000年, 2000年3月
(社)日本地熱調査会 (2000), わが国の地熱発電所設備要覧, 2000年5月

Asturias(2008), Franciso Asturias, Geothermal Resources and Development in Guatemala, United Nations University Geothermal Training Program, 26-27, Aug. 2008

Dagistan (2015), Hayrullah Dagistan, "Geothermal Explorations and Investigations by MTA in Turkey", WGC2015, April 2015, Melbourne, Australia

- ENEL (2014) , ENEL Press release 12 Dec. 2014, https://www.enelgreenpower.com/en-GB/media_investor/press_releases/release.aspx?iddoc=1662965, Accessed on 18, Jan. 2016
- GEA (2014), Geothermal Energy Association, The Manageable Risks of Conventional Hydrothermal Geothermal Power Systems, P. 22, February 2014
- Laprensalibre(2015),
<http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/17978/212/miravalles-iii-pasa-al-ice>,
accessed on 18, Jan, 2016
- Lima(2003), Enrique Lima, Geothermal Guatemala, International Geothermal Development, May/June 2003, P.117
- MTA (2015), MTA, "Significant Improvements Increasing Investments Growth in Geothermal Sector", poster of MTA in WGC2015
- NZGA(2015), New Zealand Geothermal Association web site,
http://www.nzgeothermal.org.nz/nz_geo_fields.html, accessed on 15, Dec. 2016
- Prevost (2004), Janelle Kenty-Joan Prevost, The Geothermal Energy Industry of El Salvador, ESD. 166J, Sustainable Energy, Spring 2004

V-3 GDCのビジネスモデルと開発計画¹

V-3.1 GDCの公社財務モデル (GDC Corporate Financial Model)

今後のGDCの地熱開発計画を検討するに当たってはGDC会社全体の財務状況を考慮する必要がある。ケニアの国家的立場から見ると地熱開発計画はできるだけ多くの開発が、できるだけ早い時期になされることが好ましい。しかし、地熱開発は多額の初期投資を必要とする。したがって、多数の地熱開発を実施することはGDCの財務状況に大きな負担を生じる。このため、GDCの財務状況から見て、GDCの財務能力の範囲で実行可能な開発計画はどの程度かを検討する必要がある。このため、本調査ではGDC会社全体のCorporate Financial Modelを作成し、GDCの財務状況が許容する最大の地熱開発量を検討した。

(1) GDC財務状況の想定

2010年度～2014年度のGDCの財務状況を表V-3-1に示す。2014年度の経常収入はKsh 680 million (当時レート87.6 Ksh/US\$換算でUS\$ 7.8 million)、経常支出はKsh 788 million (US\$ 9.0 million)、その他の支出も考慮した年間経常収益はKsh 116 million (US\$ 1.3 million)の赤字となっている。また、2014年6月末現在のGDCの資産総額はKsh 52,183 million (US\$ 596 million)であり、内訳は探査資産 (Exploration assets) がKsh 27,706 million (US\$ 316 million)、設備資産 (Equipment) がKsh 16,124 million (US\$ 184 million)、在庫 (Inventories) がKsh 3,912 million (US\$ 45 million)、現金及び債権 (Cash and Receivables) がKsh 4,315 million (US\$ 49 million) 等となっている。この資産のほとんどはケニア政府及び援助機関からの資金提供で形成されている。

これを踏まえ、ここではGDCの2014年末の資産状況を本社、オルカリア、メネンガイの3部門から構成されているとみなし、以下のように簡略化して設定した (表V-3-2)。

<本社部門>

設備をUS\$ 190 million保有する。簡略化のため、設備の内訳はほとんどが掘削リグと考え2015年から15年間で償却されるものとした。また、現金及び債権をUS\$ 50 million保有しているとした。一方で、GDC全体で年間約US\$ 10 millionの会社維持経費の支出が行われているが、これは2015年からはオルカリアからの収入が期待されるため、今後の支援はないものと想定した。

<オルカリア部門>

2014年末現在で生産井・還元井合計60本保有しているものと想定し、その資産価値をUS\$ 250 millionと想定した。これらの井戸から生産される蒸気は2015年初から蒸気価格3.0 US¢/kWhにてKenGenに供給され、GDCの収入になるものとした。一方で、これらの井戸は2015年から25年間で償却されるものとした。なお、蒸気量の減衰に対する追加井はKenGenが掘削するものと想定した。このため、GDCの収入は蒸気量の減衰に伴い毎年3%ずつ減少するものと想定した。

1 本V-3節では説明の都合上、売電価格、蒸気価格、発電代との用語を用いているが、V-2節で用いた発電コスト、蒸気コスト、変換コストとそれぞれ同義である。すなわち、発電コストには投資回収、税が含まれているから、そのコストで売電できるものである。

<メネンガイ部門>

2014 年末現在では建設中であり、その資産価値を US\$ 110 million と想定した。2015 年、2016 年とさらに US\$ 145 million の追加投資が行われ、2016 年末に計 33 本の生産井・還元井、パイプラインが完成するものとした。しかし、IPP による発電所建設が遅れたため、蒸気販売による収入（蒸気価格 3.5 US¢/kWh）は 1 年遅れの 2018 年初から得られるものとした。これに伴い、US\$ 255 million の投資額は 2018 年から 25 年間で償却されるものとした。なお、蒸気量の減衰に対しては GDC が追加井を掘削するものとした。このため、GDC の収入は毎年一定であるが、他方で、蒸気量不足が発生する前年に追加井掘削の投資支出が必要となる。

表 V -3-1 GDC の財務状況

GDC Financial Record (KSH)		<000 Ksh>				
		Ending June 30th of Year				
Profits and Losses		2010	2011	2012	2013	2014
Revenue		265,041	703,329	762,237	930,459	680,084
Revenue grants		256,000	700,000	711,727	917,635	578,750
Other income		9,041	3,329	50,510	12,824	101,334
Administrative expenses		774,387	1,152,617	1,006,224	1,249,452	787,551
Operation Profit (Loss)		-509,346	-449,288	-243,987	-318,993	-107,467
Financial income		31,367	61,743	35,997	21,442	-5,416
Profit (Loss) before income tax		-477,979	-387,545	-207,990	-297,551	-112,883
Income tax expense						2,618
Profit (Loss) for the year		-477,979	-387,545	-207,990	-297,551	-115,501
Other comprehensive income						
Total comprehensive profit (loss) for the year		-477,979	-387,545	-207,990	-297,551	-115,501
Balance Sheet		2010	2011	2012	2013	2014
Asset						
Non-current Assets		4,547,409	12,152,734	31,040,795	36,795,126	43,955,135
Property, Plant and equipment		2,613,005	6,941,555	12,944,459	14,538,777	16,123,703
Exploration and evaluation asset		1,934,404	5,211,179	17,901,458	22,088,897	27,706,413
Intangible assets				194,878	167,452	125,019
Current assets		1,148,563	1,031,475	2,724,815	5,807,228	8,227,706
Inventories			44,582	651,314	3,827,218	3,912,051
Receivables and prepayments		367,372	533,298	800,959	1,498,557	4,314,160
Cash and bank balances		781,191	453,595	1,272,542	481,453	1,495
Total Assets		5,695,972	13,184,209	33,765,610	42,602,354	52,182,841
Equity and Liabilities						
Equity attributable to owners						
Share capital		2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Accumulated loss		-477,979	-865,525	-1,073,514	-1,371,065	-1,486,566
Total Equity		-475,979	-863,525	-1,071,514	-1,369,065	-1,484,566
Non-current liabilities		5,675,817	11,760,497	32,727,578	40,125,461	50,367,119
Grants		5,675,817	11,760,497	32,727,578	40,125,461	50,367,119
Current liabilities		496,134	2,287,236	2,109,546	3,845,958	3,300,288
Borrowings		69,701	1,062,422	0	736,110	2,155,288
Trade and other payables		426,433	1,224,814	2,109,546	3,109,848	1,145,000
Total liabilities		6,171,951	14,047,733	34,837,124	43,971,419	53,667,407
Total Equity and Liabilities		5,695,972	13,184,208	33,765,610	42,602,354	52,182,841

出典：GDC Annual Report

表 V -3-2 Corporate Financial Model における GDC 資産の部門別初期設定（2014 年末）[M\$]

部門	本社	オルカリア	メネンガイ	合計
探査資産		250	110	360
設備	190			190
在庫			50	50
現金及び債権	50			50
合計	240	250	160	650

(JICA 調査団による想定)

(2) Corporate Financial Model の概要

GDC は 2015 年からオルカリアで、また、2018 年からはメネンガイでの蒸気販売による収入が期待できる。他方で、本社部門の会社活動経費の支出、オルカリアでの設備維持管理支出、メネンガイでの設備維持管理や追加井掘削の支出等が行われる。この結果、残額となるキャッシュフローが新規プロジェクトへの投資原資となる。この投資原資の枠内で、新規プロジェクトがどの程度実施できるかを試算するものである（図 V-3-1、図 V-3-2、表 V-3-3）。

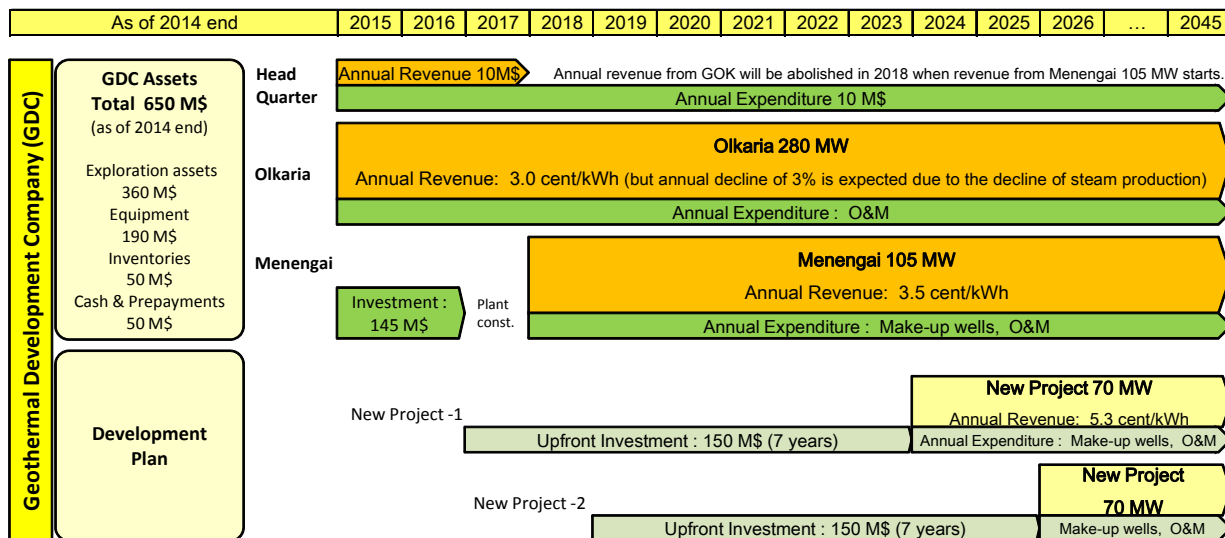


図 V -3-1 Corporate Financial Model の概念図

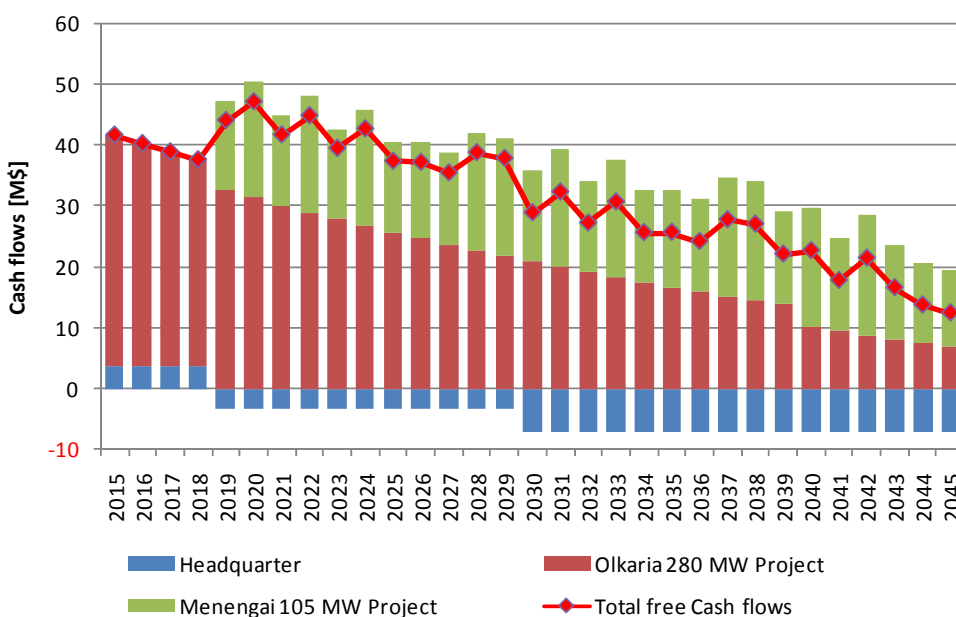


図 V -3-2 本社部門、オルカリア部門及びメネンガイ部門からのキャッシュフロー

表 V -3-3 本社部門、オルカリア部門及びメンガイ部門からのキャッシュフロー

[M\$]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Headquarter																													
Operation Costs	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Depreciation	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67															
Tax	(3.80)	(3.80)	(3.80)	(6.28)	(6.80)	(6.80)	(6.80)	(6.80)	(6.80)	(15.80)	(6.80)	(15.80)	(6.80)	(15.80)	(6.80)	(12.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)	(3.00)
Free Cash Flows	3.80	3.80	3.80	3.80	(3.20)	(3.20)	(3.20)	(3.20)	(3.20)	(24.20)	(3.20)	(24.20)	(3.20)	(24.20)	(3.20)	(28.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)	(7.00)
Olkaria 280 MW Project																													
Revenue	66.23	64.24	62.31	60.44	58.63	56.87	55.16	53.51	51.90	50.35	48.84	47.37	45.95	44.57	43.23	41.94	40.68	39.46	38.28	37.13	36.01	34.93	33.88	32.87	31.88	30.93	30.00	29.10	28.23
Operation Costs	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56	16.56
Depreciation	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19
Tax	11.85	11.25	10.67	10.11	9.57	9.04	8.53	8.03	7.55	7.08	6.63	6.19	5.76	5.35	4.95	4.56	4.18	3.82	3.46	3.12	2.78	2.46	2.14	1.84	1.54	4.31	4.03	3.76	3.50
Free Cash Flows	37.82	36.43	35.08	33.78	32.51	31.28	30.08	28.92	27.80	26.71	25.65	24.63	23.63	22.67	21.73	20.82	19.94	19.09	18.26	17.45	16.68	15.92	15.19	14.47	13.78	10.06	9.41	8.78	8.17
Menengai 105 MW Project																													
Revenue					28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97	28.97
Operation Costs					6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21
Depreciation (*)					10.34	10.34	10.51	10.51	10.69	10.69	10.86	11.00	11.17	11.17	11.17	11.34	11.34	11.51	11.51	11.69	11.83	12.00	12.00	12.00	12.17	12.17	12.34	12.34	12.51
Make-up wells					4.30		4.30		4.30		4.30	3.50	4.30		4.30		4.30		4.30	3.50	4.30		4.30		4.30		4.30		4.30
Tax					3.73	3.73	3.68	3.68	3.62	3.62	3.57	3.53	3.48	3.48	3.48	3.43	3.43	3.38	3.38	3.32	3.28	3.23	3.23	3.23	3.18	3.18	3.13	3.13	3.08

(3) 新規プロジェクトの想定

新規プロジェクトはすべて 70 MW と想定した。生産井 1 本当たりの平均出力は 8.6 MW/本、熱水/蒸気比は 0.36 などと想定した。これにより、坑井掘削は生産井・還元井合計で 15 本必要となり、リグは地表調査、資源探査、資源量評価、建設の各段階（運開前 7 年～1 年）で 1 台を投入する必要がある。活動にかかる資金は、地表調査、資源探査、資源量評価の段階（同 7 年～4 年）は自己資金で行い、建設段階（同 3 年～1 年）は自己資金 30%、外部借入 70%でまかなうものとした。借入条件は、金利 8%、据置期間 3 年、その後返済期間 10 年とした（表 V-3-4）。

開発費用は、GDC にかかる蒸気開発費を US\$ 145 million、民間 IPP にかかる発電所建設費用を US\$ 129 million と想定した。開発には 7 年を要し、その間の支出計画は表 V-3-5 に示す様に単純化して設定した。このプロジェクトが運転開始すると、GDC は民間 IPP に蒸気販売を行い、民間 IPP は発電し売電する（「IPP モデル」）。蒸気価格を 5.3 US¢/kWh とすれば GDC は年間 US\$ 28.5 million の売上高を得る。これにより設備維持管理費、追加井掘削費等を考慮しても年間約 US\$ 5～20 million のキャッシュフローを得る（図 V-3-3）。このキャッシュフローはオルカリア部門、メネンガイ部門からのキャッシュフローに加えられ、次の新規プロジェクトの投資原資になる。このようにして GDC の投資原資の範囲内で幾つの新規プロジェクトが実施可能かをシミュレーションした（図-V-3-4）。

表 V -3-4 新規プロジェクト(70 MW)のモデル諸元

区分	項目	値
フィールド条件	出力	70 MW
	生産井 1 本当たり平均出力	8.6 MW/本
	熱水/蒸気比	0.36
	還元井能力	200 (ton/h)/本
	タービン発電効率	7.0 (ton/h)/MW
	設備利用率	90%
	蒸気生産能力減衰率	3%/年
	還元井能力減衰率	3%/年
	掘削能力	70 日掘削
	年間掘削可能量	4 本
財務条件	建設段階借入比率	70%
	借入金利	8%
	据置期間	3 年
	返済期間（据置期間後）	10 年

表 V -3-5 新規プロジェクト（70MW）の坑井掘削本数・リグ台数及び必要資金想定

内 容		合計	支出計画（運開前）（年）						
			-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
蒸気開発	坑井掘削本数	15 wells	2.3	2.3	2.3	0	2.7	2.7	2.7
	必要リグ数	-	1	1	1	0	1	1	1
GDC	資源探査	40 M\$	10	10	10	10			
	蒸気フィールド建設	89 M\$					30	30	30
	その他（管理費、建中金利）	16 M\$	1	1	1	1	2	4	6
	蒸気フィールド開発 合計	145 M\$	11	11	11	11	32	34	36
民間 IPP	発電所建設（建中金利込み）合計	129 M\$					41	43	45

（注：坑井1本を70日で掘削できるとし、年間掘削数4本、掘削費を3.5 M\$/本と想定した。）

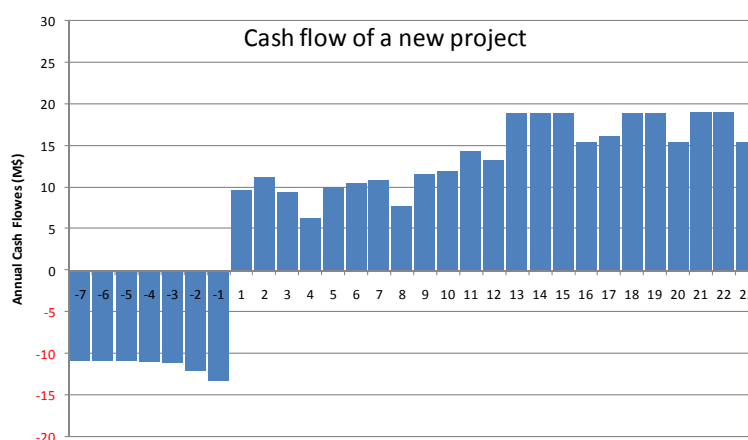


図 V -3-3 新規プロジェクト（70 MW）によるキャッシュフロー創出

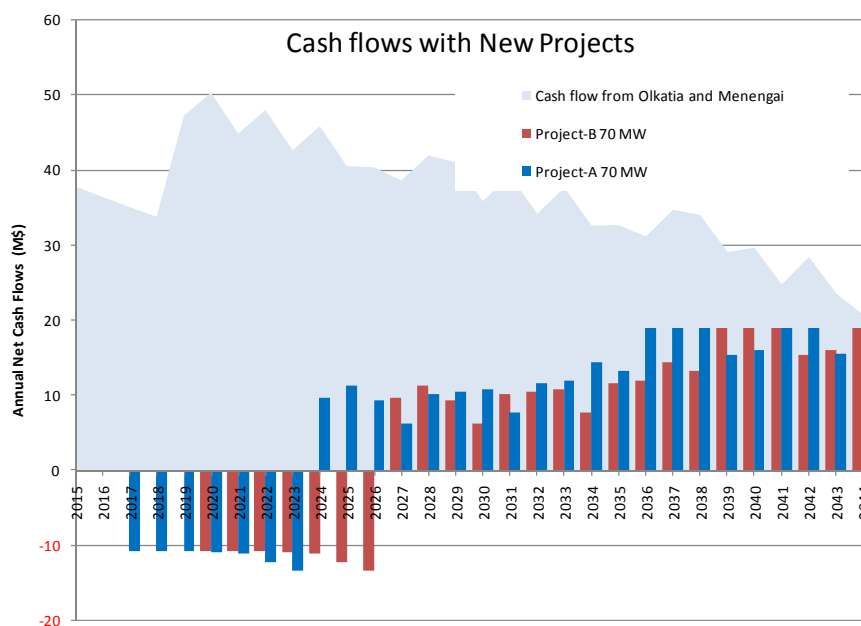


図 V -3-4 投資原資の枠内での新規プロジェクト開発の概念図

(4) 制約条件

シミュレーションに当たって次の2つの制約条件を入れた。

a. 年末現金残高

GDCの毎年度末の現金（債権を含む）残額がマイナスにならないこと。

b. リグ台数

GDCの保有リグ台数の制約を表V-3-6の通りと仮定した。すなわち、GDCは現在7台のリグを所有しているが、運転員・関連設備の不足などから実質的には4台しか稼働できていない。ただし、この問題は今後1年毎に徐々に解決が図られ、2020年には7台がすべて稼働できるものと仮定した。その後、GDCの自力によりリグを購入し、2030年までには基本計画にある12台のリグが確保できるものと仮定した。さらに2031年以降はGDCの資金力が大きくなるので、自己資金で必要な数だけのリグを購入できると考え、リグ台数の制約を外した。

表V-3-6 リグ台数の制約

年	2017	2018	2019	2020	2021	2024	2026	2028	2030	2031-
リグ数	4	5	6	7	8	9	10	11	12	制約なし

(5) Corporate Financial Modelのその他の前提

Corporate Financial ModelはExcelシートで構成されている。同modelの詳細説明は巻末資料の「GDC 公社財務モデル GDC Corporate Financial Model 取扱説明書」を参照されたい。なお、試算に当たっては人件費、物価上昇、蒸気価格値上げなどは考慮していない。すなわち、2015年実質価格で評価している。これは30年にわたる将来の物価上昇率を想定することが困難なためである。なお、物価上昇があってもそれを相殺するように蒸気価格の値上げを行えば、実質価格での評価と大きな相違はない。

V-3.2 各ビジネスモデルによる開発可能量のシミュレーション

(1) IPPモデルにおける開発可能量 (Business As Usual)

前項で述べた条件でIPPモデルを採用した場合の開発可能量を試算した結果を図V-3-5に示す。2030年までに新規5プロジェクト（累計735 MW）、2040年までに22プロジェクト（累計1,925 MW）、2045年までに30プロジェクト（累計2,480 MW）の開発が可能との結果になった¹。IPPモデルによるこのケースをGDCのビジネスモデルを検討する上での基本ケース (Business as Usual; BAU) としよう。基本ケースの場合の地熱発電による平均売電価格の見通しを図V-3-6に示す。地熱の売電価格はメネンガイ105MWのプロジェクトで8.5 US¢/kWhとしているが、本Corporate financial modelにおいては新規プロジェクトはIPPが11.8 US¢/kWhで売電す

¹ GDC Corporate Finance Modelは新規プロジェクトについて最大30プロジェクトまでしか扱えない。このため、開発量は2,485 MWが上限である。本レポートの開発可能量見通しなどは新規30プロジェクトを実施した状態での数字である。

るものと想定している。このため、将来にわたり平均売電価格は徐々に高まっていくと予想される。

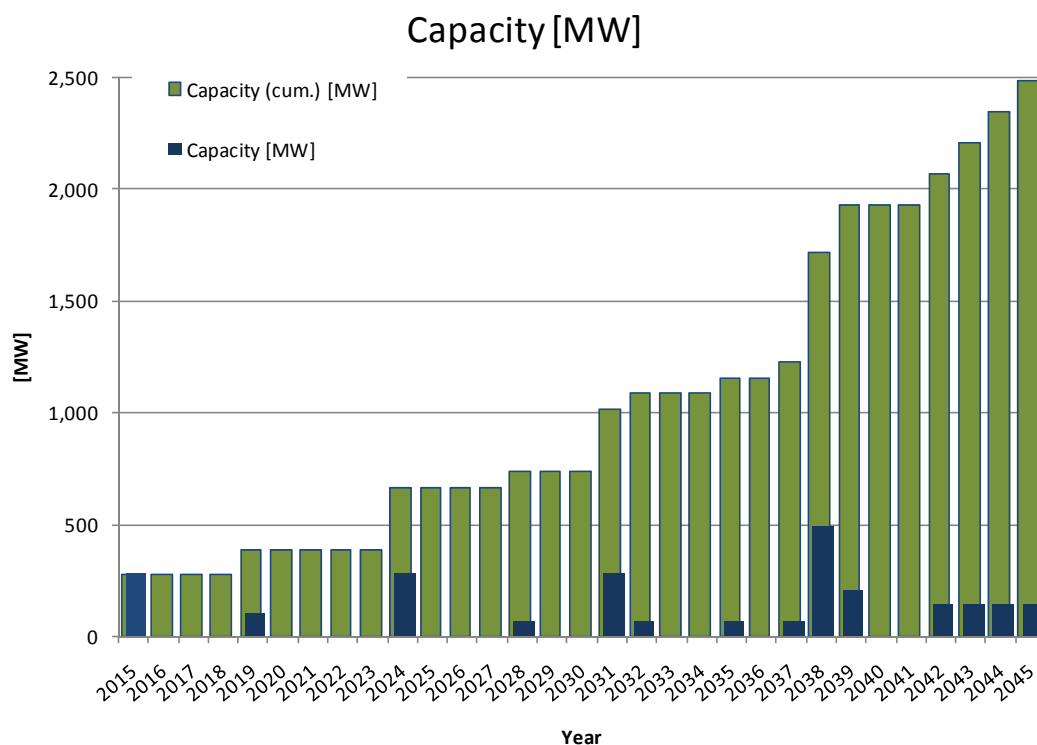


図 V -3-5 GDC の財務制約下での開発可能量（基本ケース）

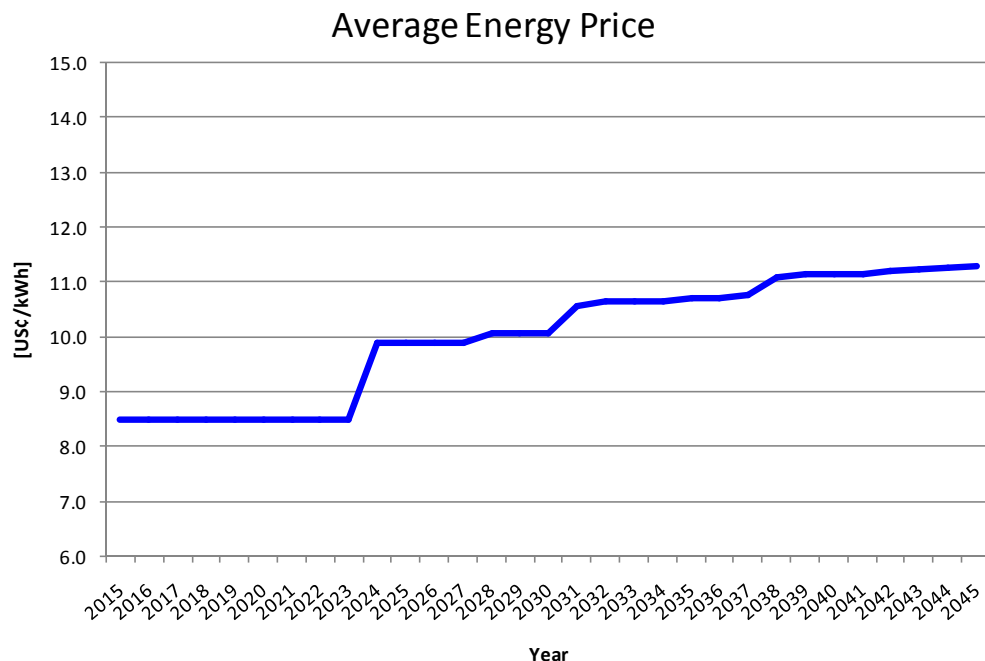


図 V -3-6 基本ケースにおける地熱発電の平均売電価格の見通し

表 V -3-7 基本ケースにおける開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	735	1,115	1,925	2,485
プロジェクト数	-	5	11	22	30
必要リグ台数	-	8	18	11	12
GDC 年度末現金残高	M\$	3	10	502	1,965
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	10.1	10.7	11.2	11.3

(2) 掘削能力の影響

前節の GDC 財務制約下での開発量見通しは、GDC の掘削能力を 2,000m 級生産井の掘削日数 70 日（掘削コスト US\$ 3.5 million、年間 4 本掘削）とした時のものである。参考までに、GDC がリグを保有せず掘削サービスを外注した場合（同 US\$ 6.0 million、年間 5 本掘削）、リグを保有するが掘削能力が現行の 100 日掘削（同 US\$ 4.0 million、同 3 本）、60 日掘削（同 US\$ 3.4 million、同 5 本）の各ケースもシミュレーションした。結果を表 V-3-8、図 V-3-7 に示す。仮に GDC がリグを保有せず掘削サービスを外注し続けたとすると 2044 年の開発量は 1,505 MW にとどまる。また、現行の掘削能力（100 日掘削）の向上がない場合は、同年で 1,925 MW しか開発できない。GDC がリグを保有した効果や開発量を高めるために掘削能力の向上が果たす役割の重要性が分かる。

表 V -3-8 開発可能量に及ぼす掘削能力の影響（IPP モデルの場合）

掘削能力	掘削費 [M\$]	年間掘削数 (本)	2030年 [MW]	2035年 [MW]	2040年 [MW]	2044年(*) [MW]
掘削外注	6.0	5	665	875	1,155	1,505
100 日掘削	4.0	3	735	1,085	1,715	1,925
70 日掘削	3.5	4	735	1,155	1,925	2,205
60 日掘削	3.4	5	945	1,225	1,855	2,485

(*) 2045 年の開発量は 100 日掘削、70 日掘削、60 日掘削いずれも計算上限の 2,485MW となるため、2044 年を示した。

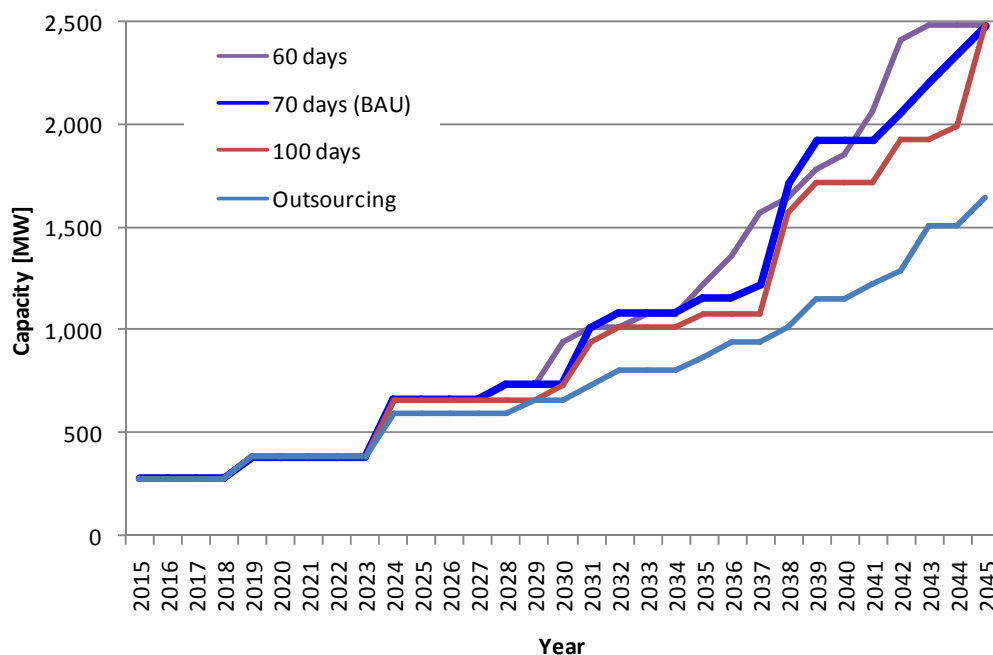


図 V -3-7 開発可能量に及ぼす掘削能力の影響（IPP モデルの場合）

(3) 初期調査モデル及び官民 SPC モデルにおける開発可能量

GDC はそのビジネスモデルとして、基本としている IPP モデル（GDC が蒸気開発を行い民間 IPP に蒸気販売するモデル）のほかに、(i) 初期調査モデル（GDC が初期調査段階のみを実施し、その結果を民間開発事業者に移転し、民間開発事業者がその後の蒸気開発、発電所建設、運転を行うモデル。GDC は調査費用に金利を加えて一時金で売却するか、または支出経費に見合う配当を運転期間中に民間開発事業者から受け取る。本節の Corporate Financial Model では便宜上、後者の方式を採用した。また、配当ではなく蒸気代との名称を用いた。）、(ii) 共同蒸気開発モデル（GDC が初期調査を実施した後、民間開発事業者とジョイントベンチャーとしての共同蒸気開発会社を設立し、その会社がその後の蒸気開発を行う。発電所建設は民間企業が行うモデル。GDC は支出経費に見合う配当を運転期間中に共同開発会社から受け取る。なお、ここでも配当ではなく蒸気代との名称を用いた。）の可能性を検討している。

本節ではそれぞれのビジネスモデルを採用した場合の開発可能量をシミュレーションした。両モデルにおける新規プロジェクト（70 MW）の GDC と民間開発事業者との開発資金分担の想定を表 V-3-9 に示す。初期調査モデルでは GDC は地上調査、資源探査、資源量評価及び F/S までしか行わない。このため、GDC の支出は IPP モデルの場合の US\$ 145 million の 29% 相当の US\$ 42 million にとどまる。他方、民間開発事業者はその後の蒸気開発と発電所の建設を行うから、資金負担は US\$ 232 million に増加する。発電所が運転を開始すると GDC は自己の資金負担分に見合った蒸気代を得る。GDC の期待収益率（ROE）を 10% とし、支出に対して 10% の収益を得る蒸気価格は 1.6 US¢/kWh と見込まれる。この蒸気販売収入から得られるキャッシュフローが次のプロジェクトの投資原資となる。

共同蒸気開発モデルでは GDC は地上調査、資源探査、資源量評価及び F/S まで行い、その後、民間事業者と共同蒸気開発会社を設立する。それ以降の蒸気開発は共同蒸気開発会社として行

うから、GDCの資金負担はIPPモデルの場合のUS\$ 145 millionの64%相当のUS\$ 93 millionとなる。発電所建設は民間開発事業者が行う。発電所が運転を開始するとGDCは自己の資金負担分の蒸気代を得る。GDCの期待収益率（ROE）を10%として、支出に対して10%の収益を得る蒸気価格は3.4 US¢/kWhと見込まれる。

これらの開発資金によるキャッシュアウトフローと運開後の蒸気販売収入から得られるキャッシュインフローとを考慮すると、初期調査モデルを採用した場合、開発量は2030年に新規9プロジェクト（累計1,015 MW）、2040年に30プロジェクト（累計2,485 MW）、2045年に30プロジェクト（累計2,485 MW）が可能との結果になった。共同蒸気開発モデルを採用した場合の開発量は2030年に新規7プロジェクト（累計875 MW）、2040年に26プロジェクト（累計2,205 MW）、2045年に30プロジェクト（累計2,485 MW）が可能との結果になった（図V-3-8）。また、両モデルを採用した場合の地熱発電による平均売電価格の見通しを図V-3-9に示す。

図V-3-8によると、IPPモデルを採用した場合より初期調査モデルや共同蒸気開発モデルを採用したほうが開発量は増加する。これは両モデルの開発資金量がIPPモデルより小さいため、GDCの財務制約の中でより多くのプロジェクトが実施できるためである。しかし、現実問題として、ケニアの地熱開発に蒸気開発段階からリスクを負担して参加しようとする民間事業者がいったい何社現れるであろうか。仮に何社かが現れたとしても2045年までに30プロジェクト2,485 MWの開発が実施できるであろうか。このように考えると両モデルによる開発量は限定的と想像される。さらには、図V-3-9が示す通り、民間企業の参加の程度が大きくなるほど、地熱発電の平均売電価格はIPPモデルを採用した場合より高く推移することが予想される。このような事情を考慮すると、調査団としては両ビジネスモデルを今後のGDCのビジネスモデルとすることに賛成ではない。

表 V -3-9 初期調査モデル及び共同蒸気開発モデルの資金分担想定

経費項目		IPP モデル [M\$]		初期調査モデル[M\$]		共同蒸気開発 モデル[M\$]	
		GDC	民間	GDC	民間	GDC	民間
GDC	資源探査	40		40		40	
	蒸気フィールド建設	89			89	45	45
	その他（管理費、建中金利）	16		2	14	9	7
	蒸気フィールド開発 合計	145 (100)		42 (29.0)	103 (71.0)	93 (64.1)	52 (35.9)
民間 IPP	発電所建設(建中金利込み)合計		129		129		129
参考	合計	145	129	42	232	93	181

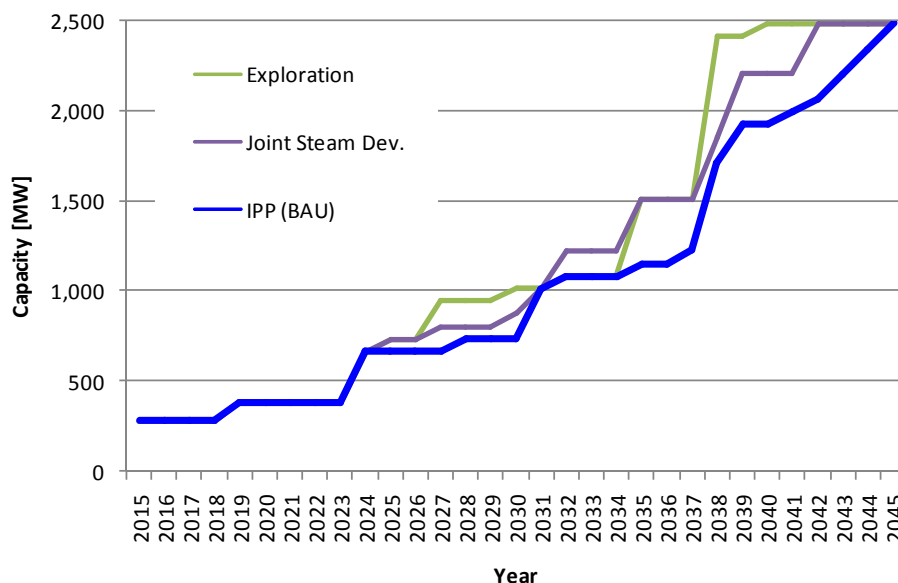


図 V -3-8 各種ビジネスモデルの開発可能性

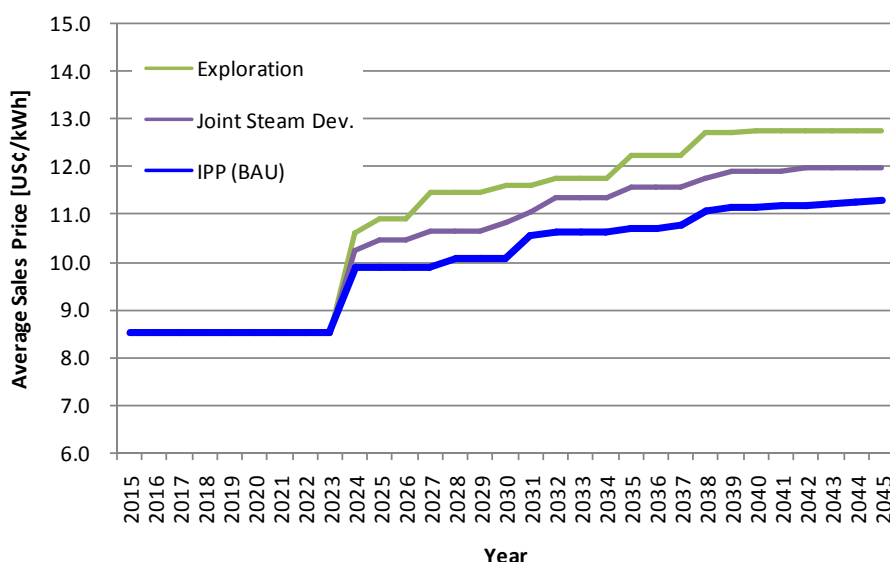


図 V -3-9 各種ビジネスモデルにおける地熱発電の平均売電価格の見通し

表 V -3-10 初期調査モデルにおける開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	1,015	1,505	2,485	2,485
プロジェクト数	-	9	16	30	30
必要リグ台数	-	12	26	6	15
GDC 年度末現金残高	M\$	245	125	1,033	2,118
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	11.6	12.2	12.7	12.7

表 V -3-11 蒸気共同開発モデルにおける開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	875	1,505	2,205	2,485
増加プロジェクト数	-	7	16	26	30
必要リグ台数	-	12	21	9	11
GDC 年度末現金残高	M\$	14	48	827	2,300
地熱発電の平均売電価格	US¢	10.8	11.6	11.9	12.0

(4) BOT モデルにおける開発可能量

これに対し、V-2 節で述べた通り、地熱開発では BOT モデルというビジネスモデルも存在する。ここでは BOT 期間 10 年とし、BOT-1 モデル（1 段階売電価格）、BOT-2 モデル（2 段階売電価格）をシミュレーションした。

BOT-1 モデル、BOT-2 モデルを採用した場合の開発可能量の試算結果を図 V-3-10 に示す。また、地熱発電の平均売電価格の見通しを図 V-3-11 に示す。両図からわかる通り、BOT-1 モデルでは開発量は基本ケースには及ばないが、売電価格を安価にする効果があり、BOT-2 モデルは開発量を基本ケースより若干多めにしつつ、売電価格を若干安価にする効果がある。開発量を犠牲にしても将来の売電価格の低減を目標とする場合は BOT-1 モデルを、売電価格はやや犠牲にしても開発量の増加を目指す場合は BOT-2 モデルを採用することは検討に値する。

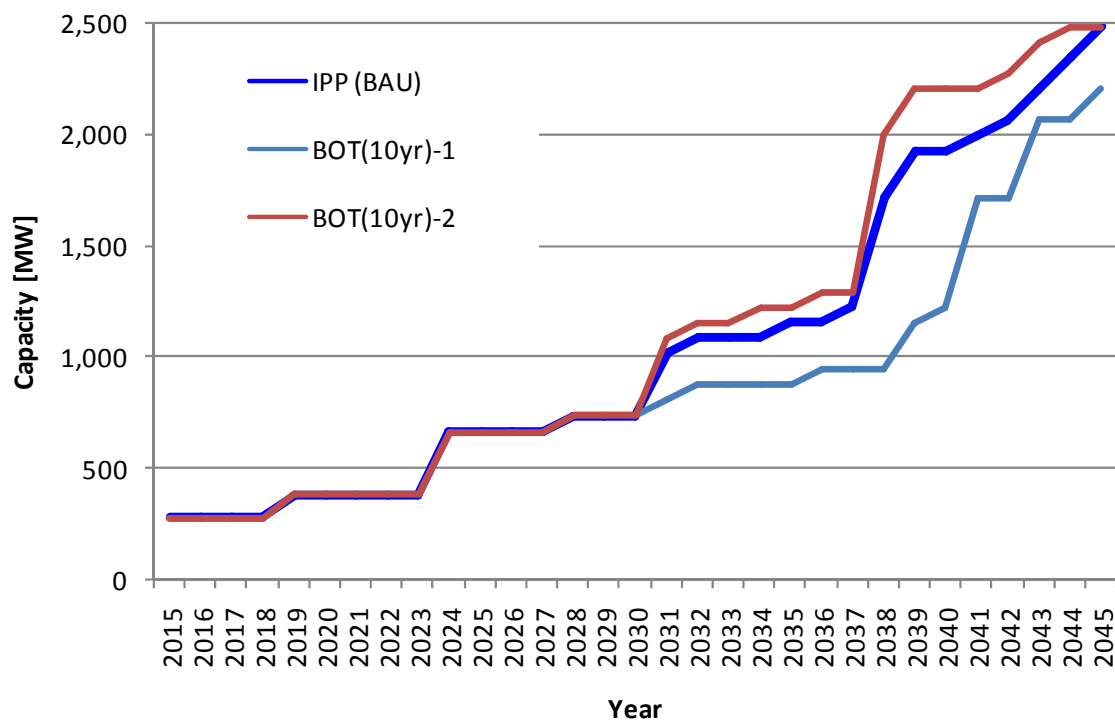


図 V -3-10 BOT モデルの開発可能量

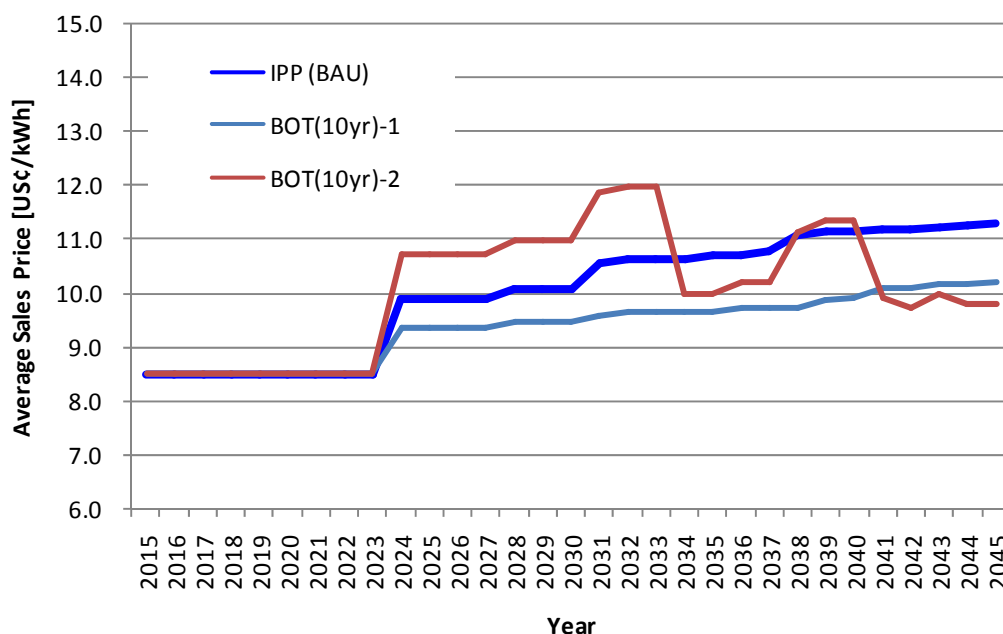


図 V -3-11 BOT モデルにおける地熱発電の平均売電価格の見通し

表 V -3-12 BOT-1 モデルにおける開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	735	875	1,225	2,205
プロジェクト数	-	5	7	12	26
必要リグ台数	-	4	16	22	7
GDC 年度末現金残高	M\$	3	5	6	893
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	9.5	9.6	9.9	10.2

表 V -3-13 BOT-2 モデルにおける開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	735	1,225	2,205	2,485
プロジェクト数	-	5	12	26	30
必要リグ台数	-	8	19	7	13
GDC 年度末現金残高	M\$	1	1	872	2,561
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	11.0	10.0	11.4	9.8

(5) ODA 資金を活用した場合の開発可能量

今後の開発量を規定する要因の1つはGDCの資金制約である。したがって、新規プロジェクトに外部から資金を提供すれば開発量を増大させることができる。これに大きな力となるものはODA資金の活用である。この点に関して前項までは、新規プロジェクトは地上調査、資源探査、資源量評価及びF/Sの段階は自己資金で活動し、建設段階に至って初めて民間銀行から融

資が受けられると想定している。これは民間銀行はリスクの大きい初期段階には融資しないためである。これに対し、世銀、AfDBなどの援助機関はGDCの新規プロジェクトに対して初期段階から支援を行っている。ここではいくつかのIPPモデルの新規プロジェクトが地上調査段階からODA資金提供を受けた場合のシミュレーションを行った。ODA資金は円借款（金利0.2%、据置期間10年、据置期間後の返済期間20年）を例として全案件にODA資金を提供した場合を試算した。

ODA資金を仮に全案件に提供した場合の開発可能量の試算結果を図V-3-12に示す。ODA資金には開発量を非常に大きく増大させる効果が認められる。なお、V-2節で述べた通り、ODA支援はGDCの資金繰りを緩和するのみならず、売電価格の大幅低減という効果も有している（図V-3-13）。ODA資金は地熱開発の推進に当たって極めて強力な支援ツールであることを改めて指摘したい。

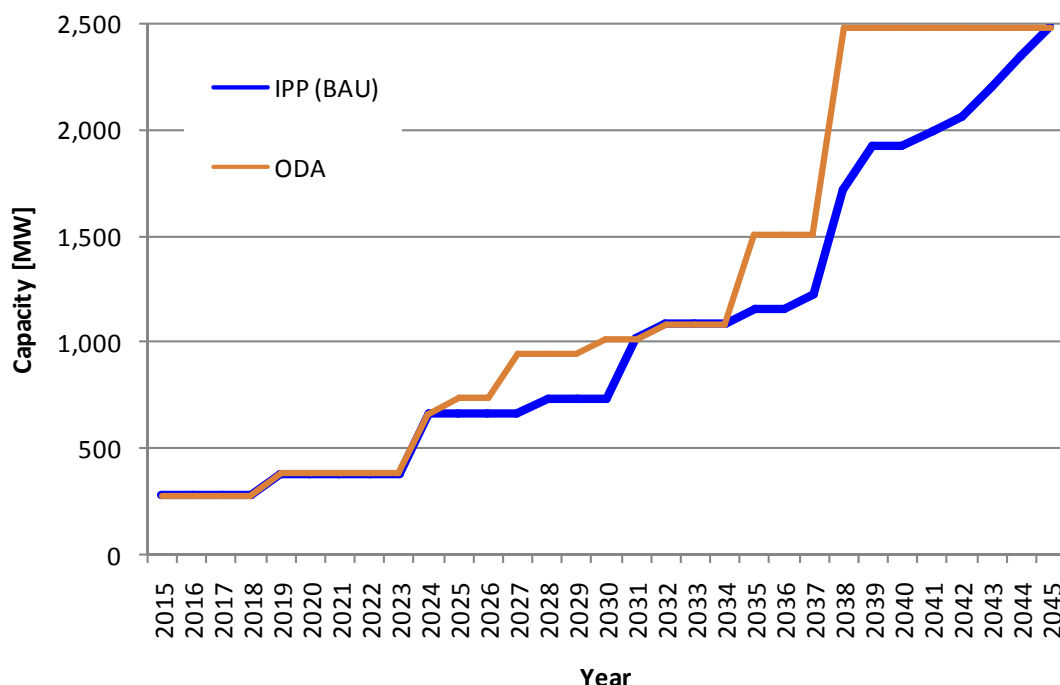


図 V -3-12 ODA 支援を受けた場合の開発可能量

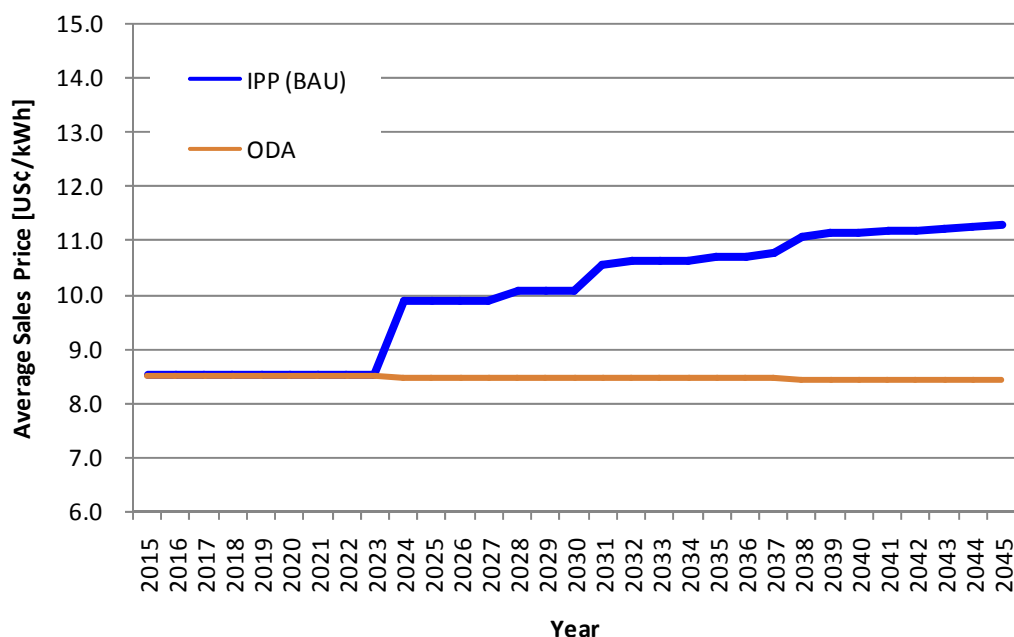


図 V -3-13 ODA 支援を受けた場合の地熱発電の平均売電価格の見通し

表 V -3-14 ODA 支援を受けた場合の開発見通し

項目	単位	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	1,015	1,505	2,485	2,485
プロジェクト数	-	9	16	30	30
必要リグ台数	-	12	26	5	16
GDC 年度末現金残高	M\$	524	542	946	1,347
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	8.5	8.4	8.4	8.4

(6) ビジネスモデルへの提言

GDC のビジネスモデルとして、初期調査モデルや共同蒸気開発モデルは、多数の民間開発事業者がケニアの地熱開発に参入してくることを前提としている。しかし、現実にはそのようなことは大きくは期待できないであろう。また、図 V-3-9 で見たとおり、民間の役割が大きいこれらのモデルでは売電価格の上昇が懸念される。これに対し、第(4)項の BOT モデルや第(5)項の ODA 資金モデルは GDC を中心に行えば良いため、極めて現実的な案と考えられる。また、GDC が中心となって開発を行うことで GDC に大きな経験と技術を蓄積できる。この蓄積された経験や技術は学習効果となり次の開発コストを下げるように働くことが期待できる。このように開発の経験を国内の 1 機関に集約し、その機関を地熱の COE (Center of Excellence) として育成することは長期的な地熱開発を進める上で極めて重要な戦略である。

また、GDC の関与が大きいビジネスモデルの方が地熱の売電価格を安価にできる。このように GDC を地熱開発の中心とし、さらに ODA 資金を活用したり、BOT モデルを活用したりすることで、現行の IPP モデルより有利な開発シナリオを描くことができる。調査団としては是非、

GDC を中心とした地熱開発体制を敷き、その上で ODA 資金の活用及び BOT モデルの採用を検討してほしいと願うものである。

V -3.3 調査対象 5 地点の特性を反映した開発計画

前項までは GDC のビジネスモデルを検討するため、基本ケースとして 30 の仮想的な標準プロジェクト (70MW) を用いて検討を行った。本節では第 III 章に示した 5 地点の資源量評価を踏まえ、これらの地点の開発計画を検討する。GDC のビジネスモデルは IPP モデルを採用すると考える。

(1) 開発計画

V-1 節で検討したとおり、調査対象の 5 地点の開発優先順位は表 V-3-15 に示すとおりである。また、その内訳は同表に示すとおり 16 プロジェクトからなっている。したがって、本節では 16 プロジェクトについてはこれら 5 地域の必要坑井掘削数、必要開発期間、開発コスト、蒸気代などを適用し、残る 14 プロジェクトについては標準プロジェクトを使用して、GDC Corporate Financial Model により開発計画を試算した。開発の順番は 5 地点の開発優先順位に従ったが、各地点の第 2 期開発の各ユニットは 1 年ごとに開発されるものとした。残った 14 の標準プロジェクトは Project-X (70MW) の名前を用いた。

表 V -3-15 調査対象 5 地点の開発概要と開発優先順位

優先 順位	プロジェクト	開発量 (MW)	第 1 期開発		第 2 期開発	
			開発量 (MW)	開発期間 (年)	開発量 (MW)	第 1 期後の開発 期間(年)
1	Paka	320	70	7	70×3, 40×1	+3
2	Korosi	210	70	7	70×2	+3
3	North Baringo	100	50	7	50	+2
4	Arus	100	50	7	50	+2
5	South Baringo	100	50	7	50	+2
6	Chepchuk	80	40	8	40	+2
合 計		910	230	-	16 プロジェクト	-

これらの各プロジェクトを開発した場合の開発計画図を図 V-3-14 に、各地点ごとのリグの配置・掘削計画図を図 V-3-15 に示す。ここで第 1、第 2 のプロジェクトはメネンガイ-2、同-3 と仮定した。これは現時点でいくつかのリグがメネンガイ地点で活動しているためである。この現状を考慮し、まずメネンガイ地点で 2 地区の開発が優先的に実施され、その結果それぞれで 70MW の開発が行われるものとした。次いで今回検討した 5 地点の開発が行われるとした。この条件で、(i)GDC の財政、(ii)リグ台数、(iii)上記表に示す優先着手順と必要開発期間の確保、の 3 制約条件下での最大の開発計画を試算したものである。この結果得られた開発量の推移を図 V-3-16 に示す。

これによると、2025 年までに 5 プロジェクト (累計 565 MW)、2030 年までに 11 プロジェクト (同 985 MW)、2035 年までに 15 プロジェクト (同 1,205 MW)、2040 年までに 25 プロジェクト

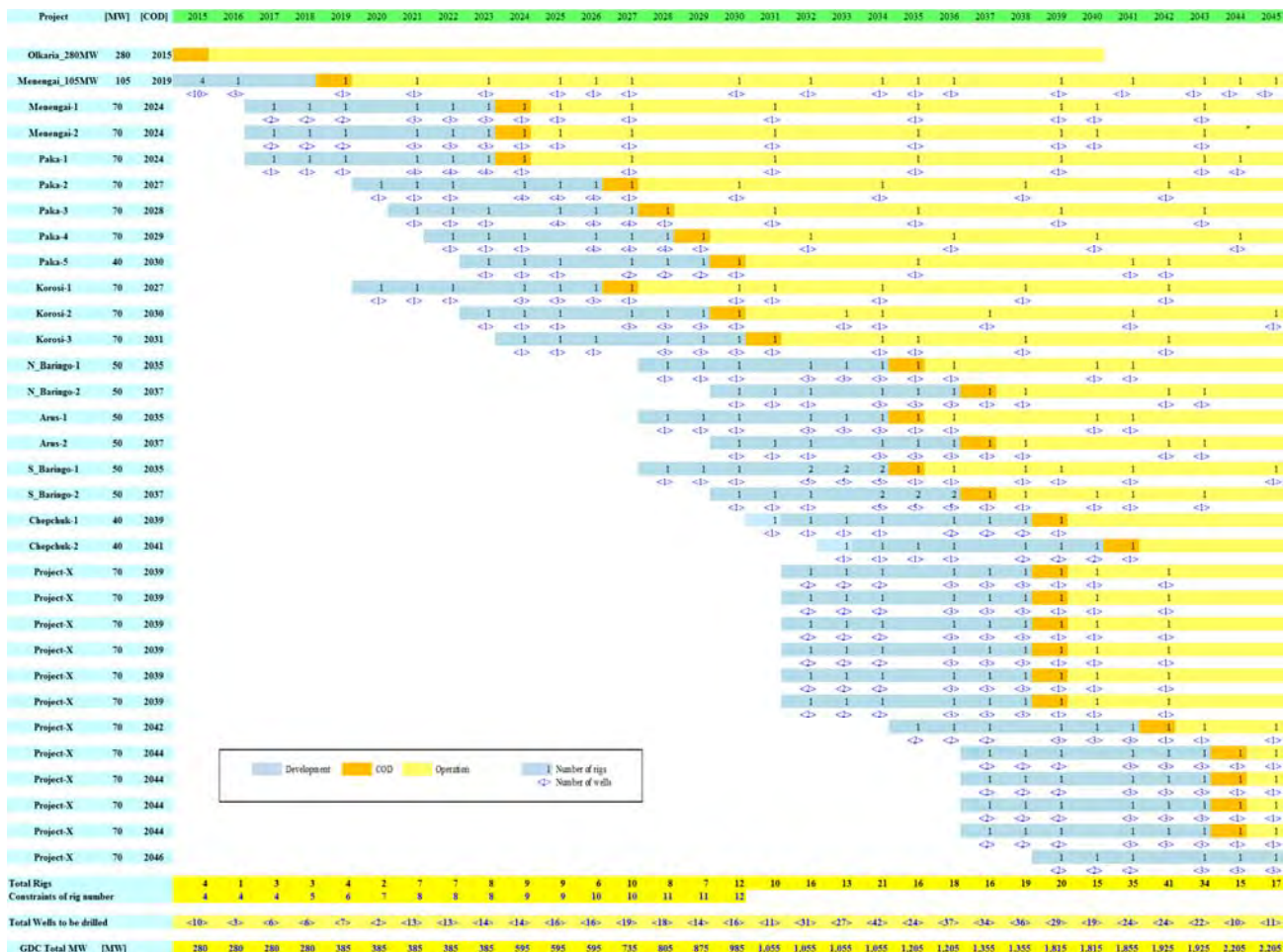


図 V -3-15 調査対象 5 地点を考慮したリグ配置計画及び坑井掘削計画

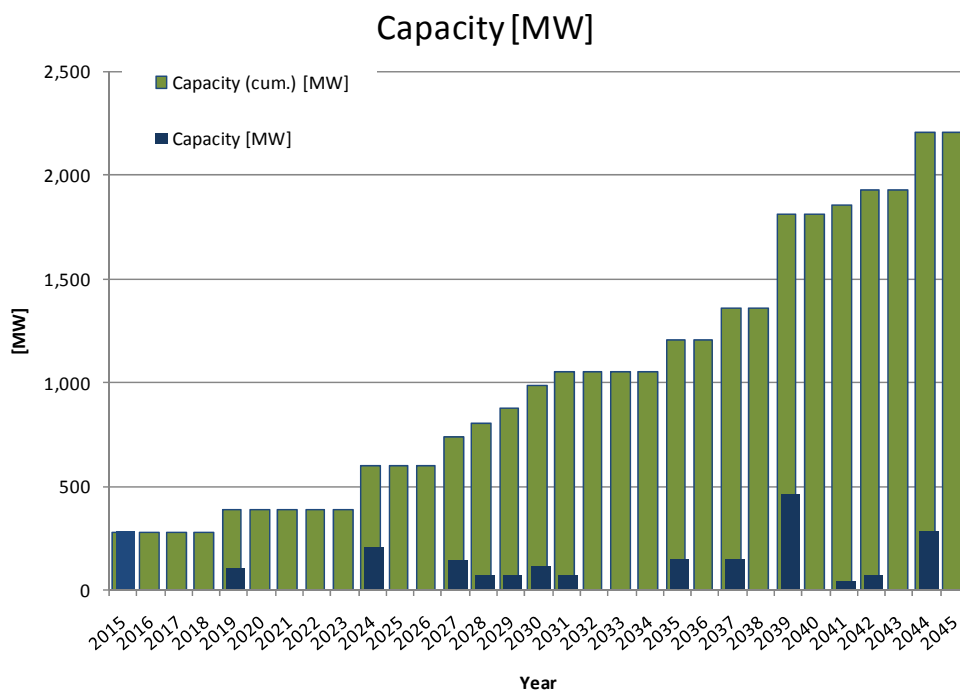


図 V -3-16 調査対象 5 地点を考慮した開発計画の見直し

表 V -3-16 各プロジェクトの開発見通し

年	プロジェクト数		開発量(MW)		開発されるプロジェクト
	計	累計	計	累計	
2025	5	5	595	595	Olkaria 280 MW Menengai 105 MW Menengai-1 70 MW Menengai-2 70 MW Paka-1 70 MW
2030	6	11	390	985	Paka-2 70MW Paka-3 70MW Paka-4 70 MW Paka-5 40 MW Korosi-1 70 MW Korosi-2 70 MW
2035	4	15	220	1,205	Korosi-3 70 MW North-Baringo-1 50 MW Arus-1 50 MW South-Baringo-1 50 MW
2040	10	25	610	1,815	North-Baringo-2 50 MW Arus-2 50 MW South-Baringo-2 50 MW Chepchuk-1 40 MW Project-X 70 MW 6 units
2045	6	31	390	2,205	Chepchuk-2 40 MW Project-X 70 MW 5 units

表 V -3-17 調査対象 5 地点を考慮した開発計画の見通し

項目	単位	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年
開発量	MW	595	985	1,205	1,815	2,205
プロジェクト数	-	5	11	15	25	31
必要リグ台数	台	9	12	16	15	9
年間掘削本数	本	16	16	24	19	11
地熱発電の平均売電価格	US¢/kWh	9.3	9.1	9.3	10.1	10.4
GDC の平均蒸気価格	US¢/kWh	3.6	3.4	3.6	4.1	4.6

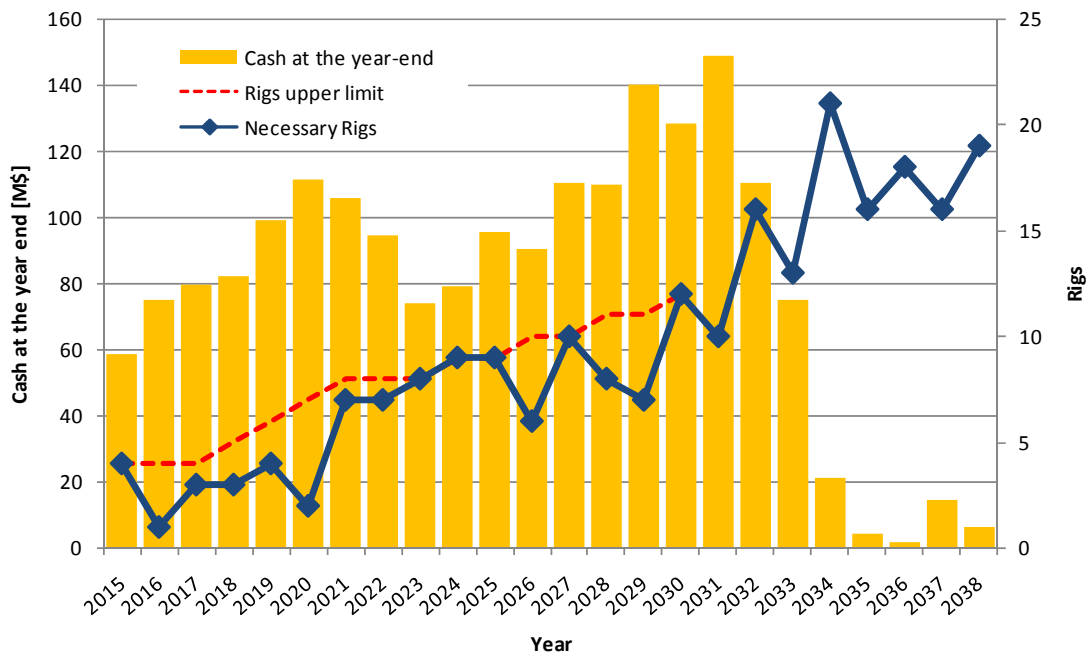


図 V -3-17 調査対象 5 地点を考慮した開発計画時における年度末現金残高及び必要リグ台数見
通し

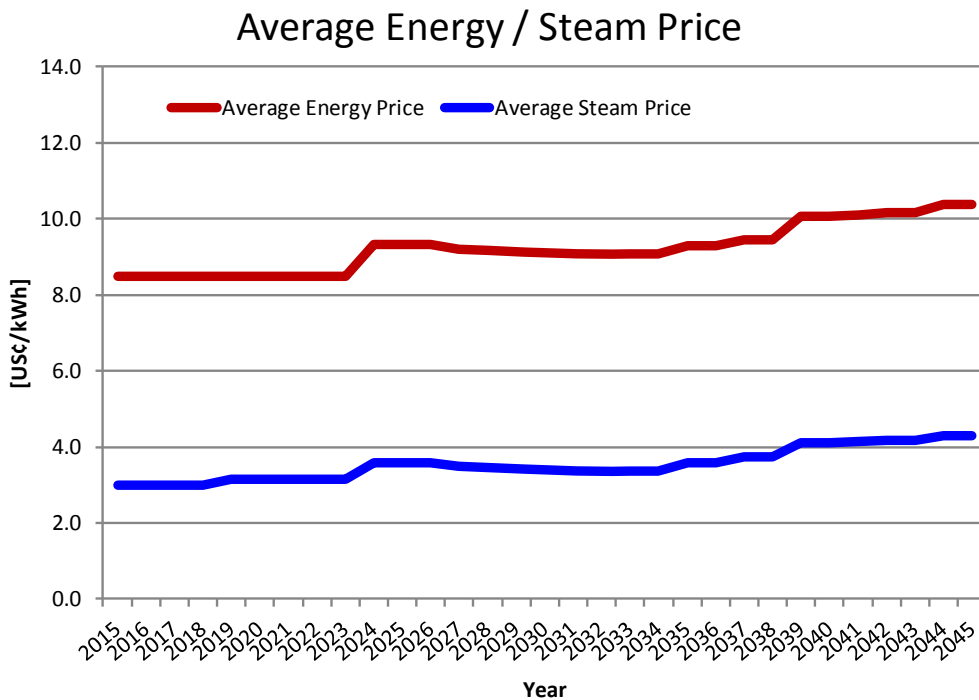


図 V -3-18 調査対象 5 地点を考慮した開発計画における地熱発電の平均売電/蒸気価格の見通
し

(2) GDC の財務状況見直し

この計画沿った場合の GDC の長期的財務見直しを表 V-3-18 に、その抜粋表を表 V-3-19 に、GDC の収益見直しを図 V-3-19 に、キャッシュフロー収支見直しを図 V-3-20、総資産高見直し¹を図 V-3-21 にそれぞれ示す。GDC の蒸気代による総売上高は 2025 年に 5 プロジェクトから US\$ 151 million、2030 年には 11 プロジェクトから US\$ 209 million、2035 年には 15 プロジェクトから US\$ 311 million、2040 年には 25 プロジェクトから US\$ 553 million になるものと見込まれる。また、年度末の総資産高（うち現金残高）は 2025 年 US\$ 1,096 million（96 million）、2030 年 1,313 million（128 million）、2035 年 US\$ 1,675 million（4 million）、2040 年 US\$ 2,595 million（278 million）になるものと試算された。GDC の新規借入債務残高（債務比率）は、2025 年 US\$ 221 million（20%）、2030 年 US\$ 302 million（23%）、2035 年 US\$ 308 million（18%）、2040 年 US\$ 583 million（22%）になるものと試算されたが、各年の元利金返済カバー率（デットサービス・カバレッジ・レシオ：DSCR）はそれぞれ 4.6、2.2、3.6、3.4 であり、借入金はあるものの経営の負担になる状況ではないと評価できる。総資産利益率（ROA）に注目すると、2025 年、2030 年では 3% で推移しているが、2035 年、2040 年、2045 年にかけて 5%～7% と順調に増加することが見込まれる。このように本開発計画に従った場合、組織としての GDC も順調な発展を続けるものと期待される。

(3) 政府の税収見直し

GDC がこの計画に沿って地熱開発を進めた場合、政府は GDC と IPP とのそれぞれから法人所得税を徴収することができる。この政府の税収見直しを図 V-3-22 に示す。2020 年代前半は年間約 US\$ 30 million 程度の税収であるが、2030 年以降には年間 US\$ 100 million を超える税収が予想される。これは地熱開発から政府が得る直接的な便益といえる。

¹ GDC Corporate Financial Model では 2014 年末の資産高を GDC の Equity とみなしている。

表 V -3-19 GDC の長期的財務見通し (抜粋)

項目	単位	2014年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
開発量	MW	-	385	595	985	1,205	1,815
総売上高	M\$	-	86	151	209	311	553
税引後当期利益	M\$	-	14	27	40	89	188
キャッシュインフロー	M\$	-	47	118	110	206	333
キャッシュアウトフロー	M\$	-	35	101	122	223	198
キャッシュフロー収支	M\$	-	12	17	-12	-17	135
年度末現金残高(*)	M\$	50	111	96	128	4	278
総資産高	M\$	650	823	1,096	1,313	1,675	2,595
新規借入債務残高	M\$	0	0	221	302	308	583
総資産債務比率	-	-	0%	20%	23%	18%	22%
元利金返済カバー率	DSCR	-	-	4.6	2.2	3.6	3.4
売上高利益率	ROS	-	16%	18%	19%	29%	34%
総資産利益率	ROA	-	2%	3%	3%	5%	7%
自己資本利益率	ROE	-	2%	3%	4%	7%	9%

(*) 売上債権を含む

Profits and Losses

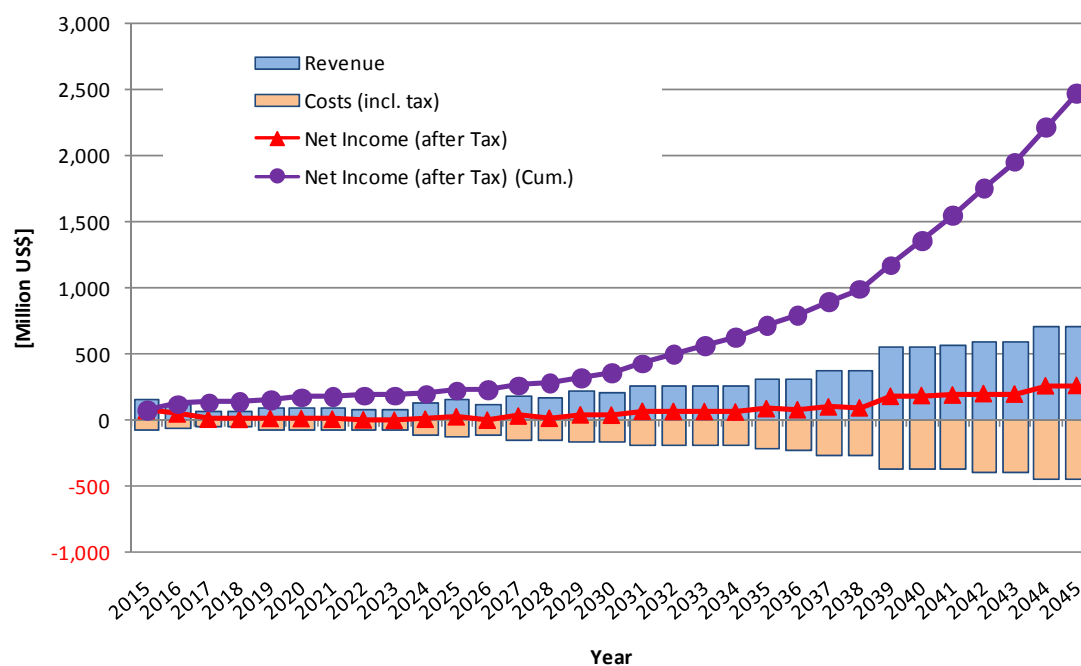


図 V -3-19 調査対象 5 地点を考慮した開発計画における GDC の収支見通し

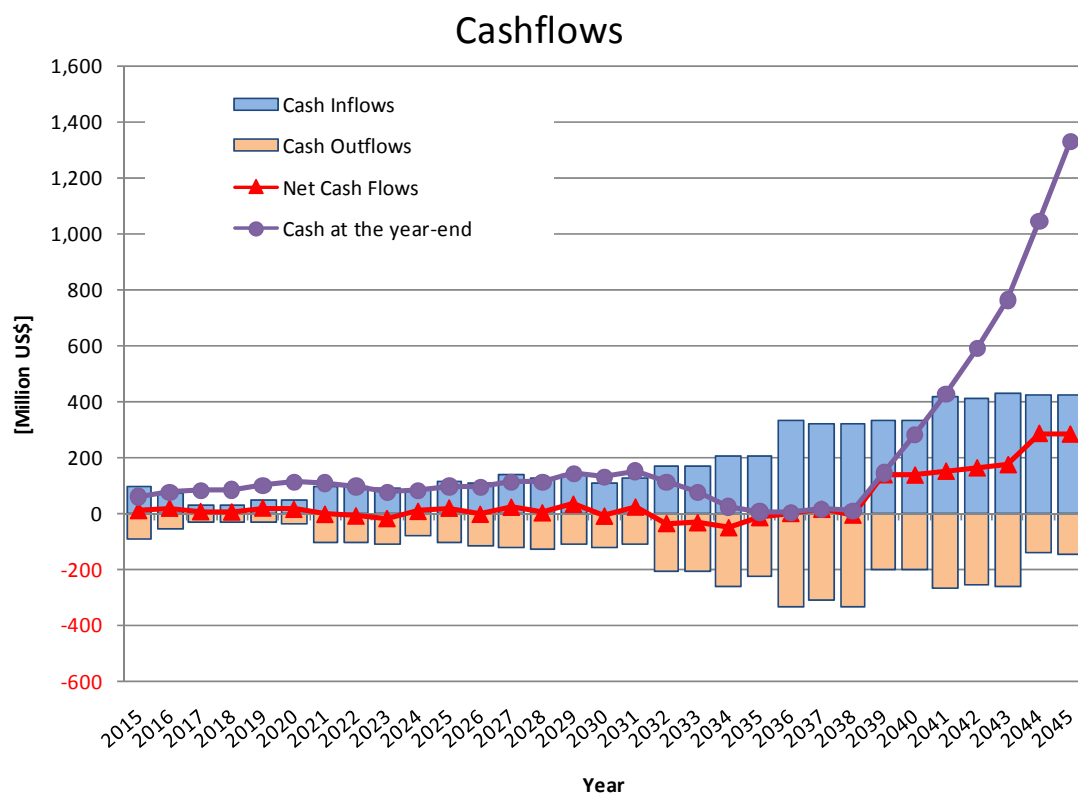


図 V -3-20 調査対象 5 地点を考慮した開発計画における GDC のキャッシュフロー収支見通し

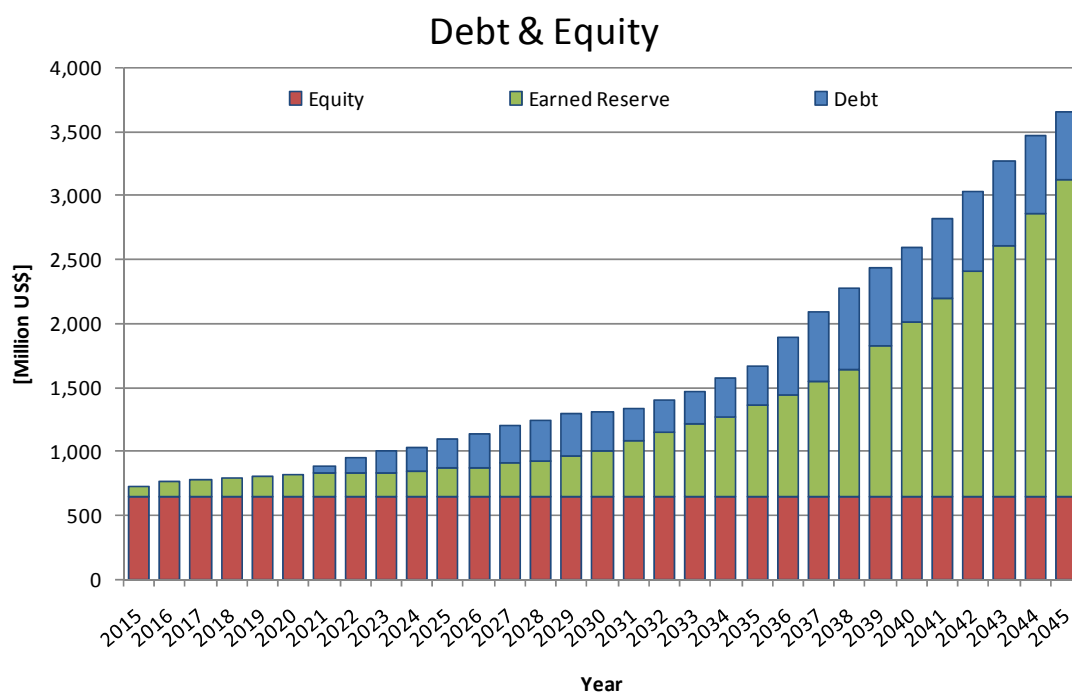


図 V -3-21 調査対象 5 地点を考慮した開発計画における GDC の総資産高見通し

Tax from geothermal projects

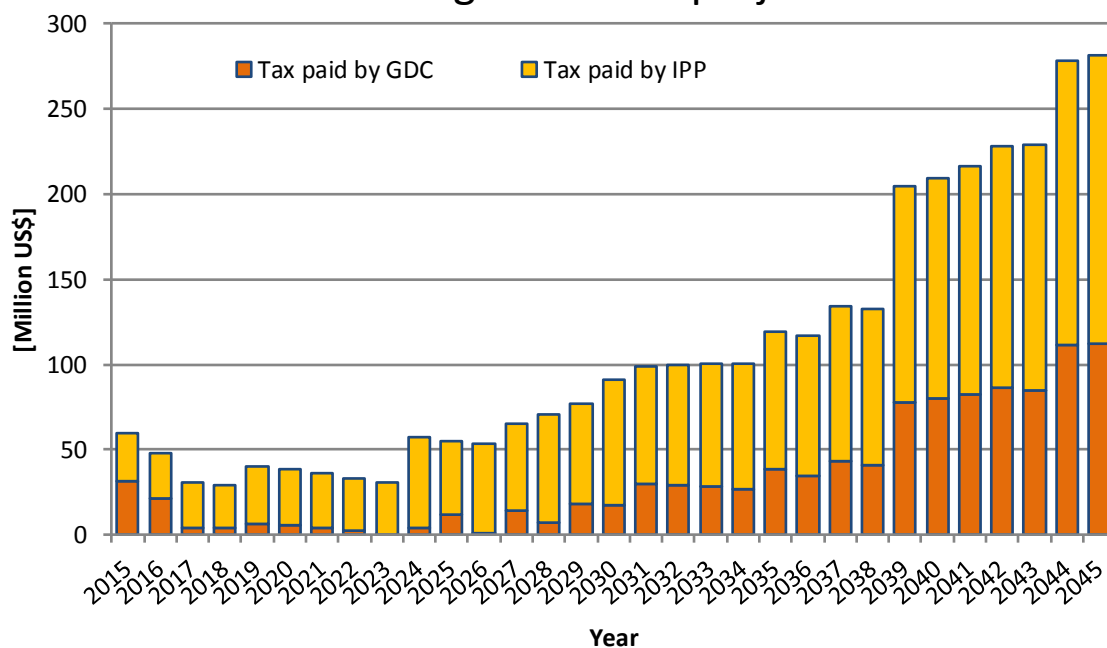


図 V -3-22 調査対象 5 地点を考慮した開発計画における政府の税収見通し

V -4 地熱開発政策への提言

本節では、GDC が今後の地熱開発を推進するにあたりケニア政府が進めることが望まれる各種の政策について、現状を加味した上での提言を述べる。

(1) 継続的な地熱開発の推進（主に GDC による）

ケニア政府は、1982年に地熱資源法（Geothermal Resource Act No.12）を制定して以後、地熱発電開発を推進してきている。これまでは主にオルカリア地点での発電開発が精力的に進められており、発電所の設備容量は約 600MW に達し、発電電力としてはケニア国内の需要の 40%以上を賄うに至っている（表 V-4-1）。また、GDC の設立そのものも地熱開発推進の政策の一端である。

表 V -4-1 ケニアでの電源別の発電設備容量と発電電力（2014～2015 年）

Sources of Electric Power Generation		Installed Capacity (December 2014)		Annual Generation (FY 2014/15)	
		(MW)	Percentage	(GWhrs)	Percentage
Renewable Energy	Hydro	821	37.8	3,466	36.8
	Geothermal	593.5	27.3	4,060	43.1
	Wind	25	1.2	37	0.4
	Cogeneration	38	1.7	14	0.2
	Imports	-	-	79	0.8
	Total	1477.5	68.0	7,657	81.3
Fossil Fuels	MSD	579.5	26.7	1,643	17.4
	Gas Turbines	60	2.8	4	0.0
	HSD (Isolated Stations)	25.8	1.2	36	0.4
	Emergency Power Plant	30	1.4	84	0.9
	Total	695.3	32.0	1,767	18.7
Installed Capacity and Units Generated		2,173MW		9,424GWhrs	

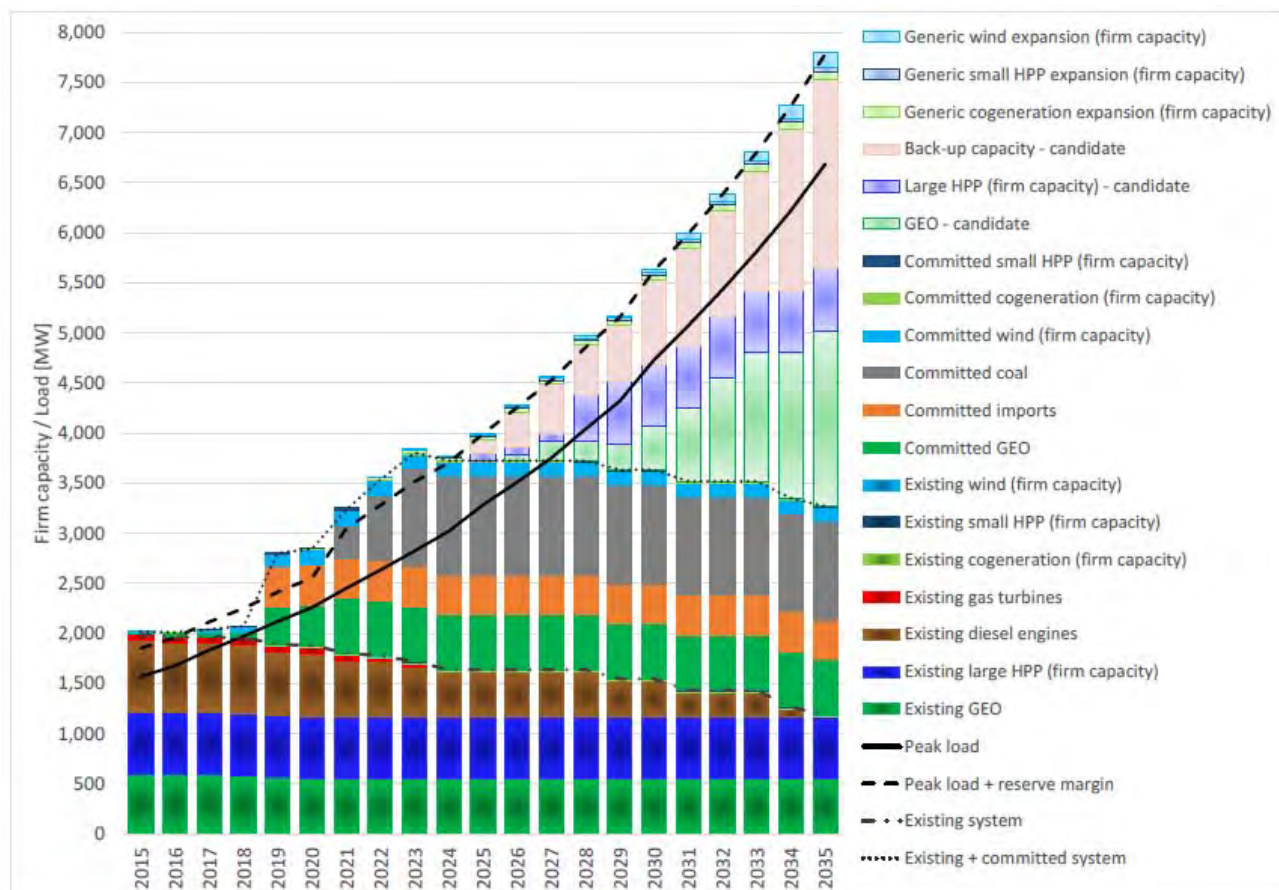
出典：MOEP（2015）：Draft National Energy and Petroleum Policy

このような地熱推進の政策は、以下のような一般的及びケニアでの地熱発電に係る利点に基づくものである。

- リフトバレー沿いに存在する豊富な地熱資源（他のエネルギー資源は少ない）
- 安定したベースロード電源（水力は降水量の影響が大きい）
- 再生可能エネルギー
- 環境負荷が小さい

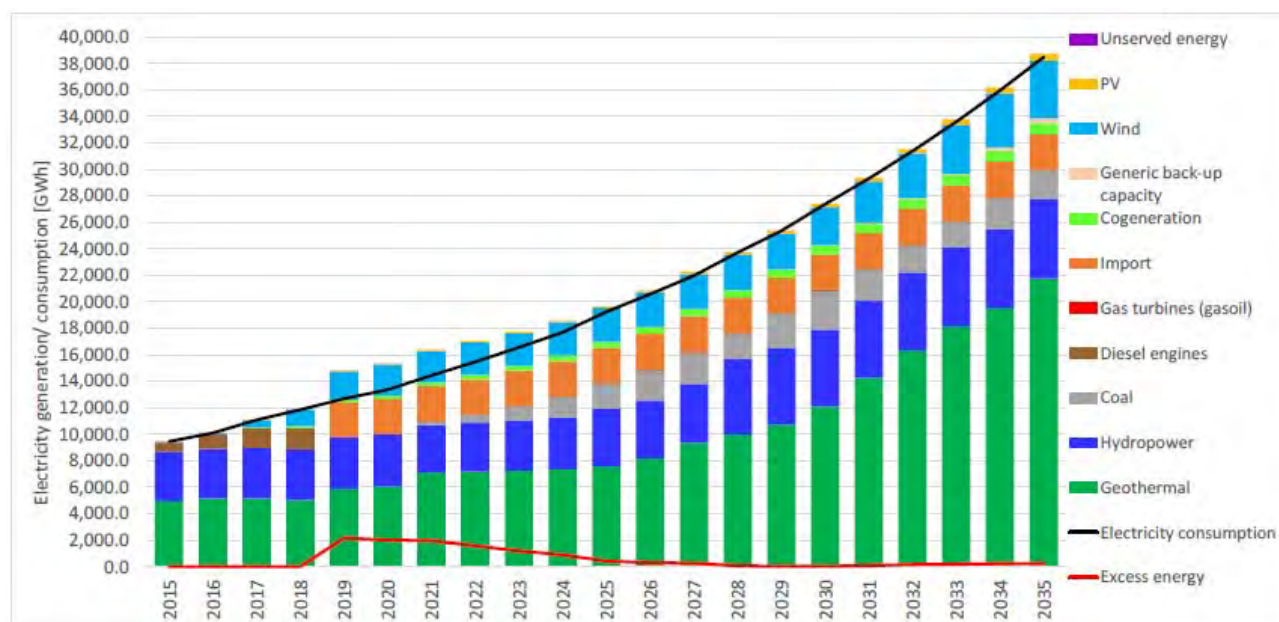
MOEP 作成による 2015 年の国家エネルギー・石油政策案 (Draft National Energy and Petroleum Policy 2015 : DNEPP) によれば、2030 年までの長期的な地熱開発政策として、政府による資源調査・開発の支援や合理的な許認可付与などが必要とされている。

また、以上のような地熱の重要性や政策案を背景に、MOEP が委託したコンサルタント (Lahmeyer International) によるケニア発電・送電マスタープラン (2015-2035 年長期計画) の検討では、将来の電力供給においても地熱が重要な役割を果たすものとして期待されている (図 V-4-1 及び図 V-4-2)。



出典：MOEP-Lahmeyer (2016) Development of a Power Generation and Transmission Master Plan, Kenya – Long Term Plan 2015-2035

図 V -4-1 電力ピーク需要と発電設備容量に係る将来予測



出典：MOEP-Lahmeyer (2016) Development of a Power Generation and Transmission Master Plan, Kenya – Long Term Plan 2015-2035

図 V-4-2 電力需要と発電電力に係る将来予測

以上のことから、ケニアにおける地熱発電開発の推進政策は今後も継続して実施されるべきと考えられる。近年、ケニア政府は Akiira 地点などでの民間企業による資源探査からの地熱開発も進めているが、未だ発電所建設開始にまで到達した例は無い。また、V-2 節でも示したように、民間による一括開発は売電価格を押し上げる可能性があり、開発への国営機関の関与が大きいほど売電価格は低く抑えることが期待できる。したがって、地熱開発を推進する政策においては、100%国営である GDC への支援を中心に進めることが望まれる。

提言

- ◇ ケニアにおける地熱発電開発の推進政策は今後も長期的に継続して実施されるべきである。
- ◇ 地熱開発支援の主な対象は国営の GDC とすべきであり、発電までの一貫開発や BOT モデルによる開発を含めた開発支援の検討が望まれる。

(2) 資金調達での支援

前述したように、地熱発電事業のための資金調達では、ODA による低利の融資（ソフトローン）を適用することにより蒸気コスト／発電コストを低く抑えることができる。実際に、これまで KenGen によるオルカリア地点での発電事業においては、JICA・WB 等のドナーから低利融資が行われてきている。例として、オルカリアでの 280MW 増設事業での資金調達先を表 V-4-2 に示す。

表 V -4-2 オルカリアIV・オルカリア I 増設プロジェクト (280MW) での資金調達先一覧

Project Component	Financier (Million USD)							Total
	GOK	KenGen	JICA	WB	AfD	EIB	KfW	
Drilling Costs	313						15	328
Steamfield Development		7		107			54	168
Power Plants		35	323		210	135		703
Transmission	3.4					32		35.4
Consultancy Services							30	30
Admin & Local Infr.		29		12				41
RAP		10						10
BoC				1				1
IDC		57						57
Total	316.4	138	323	120	210	167	99	1,373

出典 : Saitet and Muchemi (2015)

ODAによる低利融資は、政府機関がドナーとの手続きや国内関係機関との調整を図る必要がある。100%国営であるGDCが行なう今後の地熱開発事業においても、ODAによる低利融資での資金調達に政府が協力することが望まれる。

提言

◇ GDCが行なう地熱開発事業において、開発コストを可能な限り低減するために、ODAによる低利融資での資金調達に政府が協力することが望まれる。

(3) 立地環境整備での支援

地熱開発に際しては、土地買収や道路設置、水利権等に係る許認可取得や土地所有者との調整が必要である。それらの手続き等が遅延すれば、発電開発事業全体のスケジュールに大きく影響する可能性がある。GDCによる自助努力は当然必要であるが、地熱開発を推進する立場として政府による円滑な手続きや支援が望まれる。

GDC(及びIPP)により建設される地熱発電所からの電力は、発電事業者の責任により最寄の変電所まで送電されるが、その先の電力網への送電・接続はKETRACOの所掌である。本プロジェクトの調査対象5地点に関しては、ロングアイーシラリ間の400kV送電線の建設が計画されているが、その建設は各地点での発電所建設に合わせて遅延無く実施されなければならない。その調整には、政府での電源開発・送電設備開発の監理が適正に行なわれる必要がある。

地熱資源開発及び発電所建設に当たっては、自然・社会環境の調査や保全計画の策定が行なわれ、それらは政府による認可が求められる。その手続きや認可は、政府機関により遅滞なく適正に行なわれることが望まれる。

提言

◇ GDCが行なう地熱開発事業において、土地買収や道路設置、水利権などに係る許認可取得等を、遅延なきよう円滑に進めることが望まれる。

◇ GDCが行なう地熱発電開発に合わせた政府での送電設備開発の監理が適正に行なわれる必要

がある。

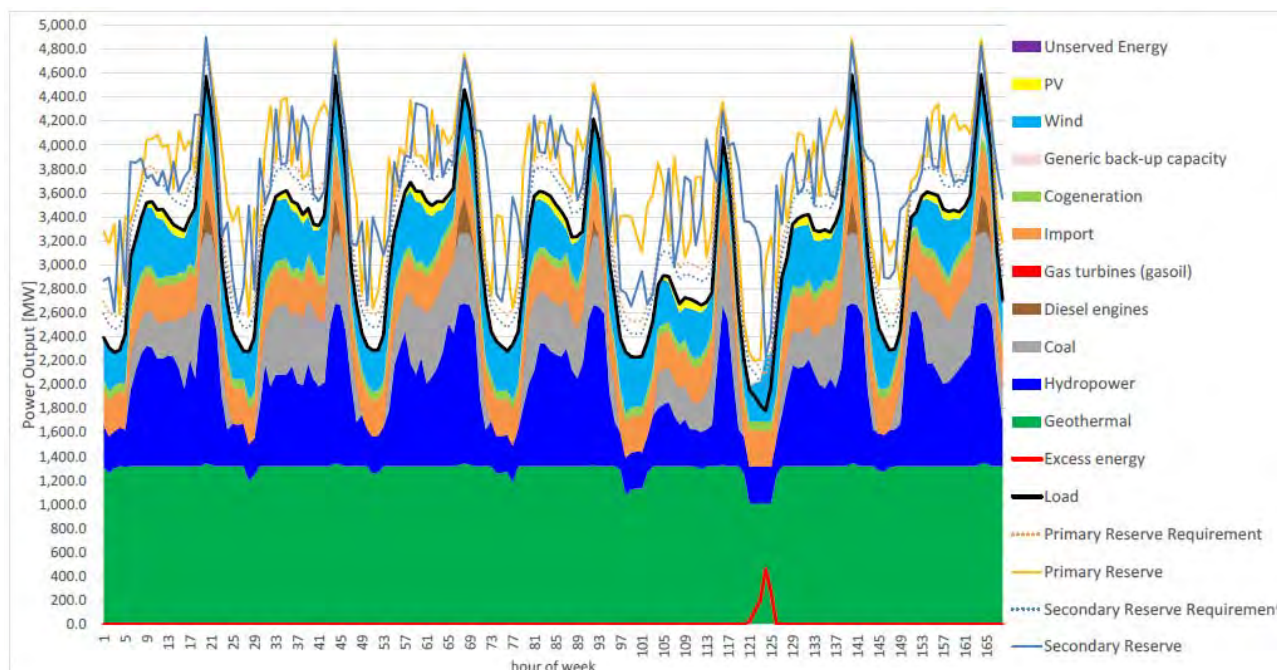
- ◇ GDC が行なう地熱発電開発での自然・社会環境の調査や保全計画の手続きや認可は、政府機関により遅滞なく適正に行なわれることが望まれる。

(4) 蒸気・電力販売での支援

ケニアにおいて今後さらに地熱電源の開発が進められれば、国内需要に対する地熱電力の割合は全体の50%を上回ることが予想される。地熱電力はベースロードとして利用されるべきものであるが、1日や年間での需要変動の状況によっては余剰電力が発生することも考えられる（図V-4-3参照）。それを回避する方策の一つには、近隣諸国（ウガンダ、タンザニア等）への電力の輸出がある。ケニアは、東アフリカ10カ国が参加する東アフリカ・パワープール（Eastern African Power Pool : EAPP）の一員であり、電力網は既にウガンダ・タンザニアと連結されている。また、エチオピアとの連結送電線も建設中である（DNEPP、2016）。それらを背景に、政府機関により長期的な電力輸出に関する検討を行なうことが望まれる。

提言

- ◇ ケニア国内に豊富な地熱の電力を有効かつ最大限に利用するために、政府機関により長期的な電力輸出に関する検討を行なうことが望まれる。



出典：MOEP-Lahmeyer (2016) Development of a Power Generation and Transmission Master Plan, Kenya – Long Term Plan 2015-2035

図 V -4-3 電力供給の電源別構成予測の一例（2030年6月21～23日）

(5) 人材育成での支援

今後 GDC を中心としてさらに拡大が予想・期待されるケニア国内での地熱開発では、地熱関

連の技術者や関係者の需要が増大すると考えられる。それに対応するためには、GDC内での人材育成だけでなく、大学やその他の教育機関での地熱開発に係る技術者等の養成が望まれる。大学等での地熱関係の専門教育部門の新設や拡大、国外への留学や研修コース等への参加補助などにより、技術者等の養成を支援する政策の実行が望まれる。

提言

- ◇ ケニア国内での地熱関連の技術者や関係者の需要増大に対応するために、大学等での技術者等の養成を支援する政策の実行が望まれる。

V -5 提言のまとめ

本章の前節まで（V-1～V-4）に述べた各種の提言は以下のようにまとめられる。

(1) GDC の地熱開発マスタープラン更新に対する提言

地熱開発の優先順位

- 本プロジェクトの調査対象である 5 地点について、地熱資源特性、インフラ／アクセス、地形、自然・社会環境、地熱直接利用の可能性、発電コストの各要素に関する総合的な評価の結果によれば、現時点での基本的な開発優先度は以下のとおりである。

1. パカ (320MW)
2. コロシ (210MW)
3. バリngo北部 (100MW)
4. アルス (Steam Jets 付近) (100MW)
5. バリngo南部 (100MW)
6. チェプチャク (80MW)

ただし、この開発優先順位は地表調査段階での予備的なものであるため、今後進められる各地点での調査井掘削やその他の探査の結果に基づき、随時見直し・更新されることが望ましい。

- 上記の 5 地点とシラリ地点との開発優先度の関係については、調査井の掘削を含む、より詳細な資源評価の検討を進めた上で評価することが望まれる。なお、シラリ地点での発電開発に係る地熱資源以外の条件としては、パカ地点よりもさらに北方に位置することや、民族間の紛争が頻発する地域であることを考慮する必要がある。

GDC の役割・ビジネスモデルと開発計画

- 民間企業に比べると、国営企業は国の信用力を背景に安価な資金調達が行え、その結果、期待収益率を抑えることができる。このため、国営企業が地熱開発を行うと発電コストを安価に抑えることが可能になる。ここに地熱開発における国営地熱開発企業（GDC）の役割がある。
- GDC がリグを保有し、掘削能力を高めることは掘削費の大幅低減につながり、また、開発速度を速めることになる。これにより発電コストを低下させると同時に将来の開発量を拡大させる効果がある。このように自らリグを保有し、自国内で掘削能力を保持する機関として存在することが国営地熱開発企業に期待される第 2 の役割である。
- 地熱開発に民間の資金力を活用するため、GDC と民間企業の官民連携を検討することは意味がある。官民連携には各種のモデルが考えられるが、各国の事例を参考にすると、GDC が基本としている IPP モデル（GDC による蒸気供給と IPP による発電）は世界的には意外

に例が少ないことを考慮する必要がある。

- ケニアが志向すべき地熱開発モデルは国営企業（GDC）による一貫開発モデルである。仮にそれが困難であればせめて IPP モデルと一貫開発モデルの中間に位置する BOT モデルを目指すことが望まれる。BOT モデルは制度設計により、発電コストを IPP モデルより安価にすることができたり、開発量を IPP モデルと遜色ないものにすることができたりする。
- 国営地熱開発企業の第 3 の役割として、ODA 資金の受け皿になりうる点がある。ODA 資金を利用することで発電コストをさらに下げたり、GDC の財務に負担のない形で開発量を拡大したりすることが可能である。
- 調査 5 地点の資源特性と GDC の財務の健全性を考慮した最大の開発計画を試算した結果、第 1 にはリグ台数が制約となり、その後は GDC の財政負担が制約となり、開発規模は 2035 年に 1,205MW、2040 年に 1,815MW、2045 年に 2,275MW と試算された。ただし、この開発計画に沿った場合には、GDC は国営地熱開発企業として健全な発展が期待できる。
- 地熱開発が持続的に成功するためには「政府の意思」、「技術力」、「資金力」の 3 要素が必要である。ケニアでの政府の意思に関しては、これまでの実績は非常に高く評価され、今後ともその継続が望まれる。技術力に関しては、GDC が地熱開発の中核機関となり、開発経験の蓄積によって、地熱開発の Center of Excellence として成長することが期待される。また、そこからの技術がスピルオーバー効果によりケニア国内に浸透し、地熱支援産業が形成されることによって、さらに効率的な開発が期待される。資金力に関しては、ODA 資金を活用することが最も現実的な方策であり、さらに民間資金を必要とするならば BOT モデルを検討することが適当である。

(2) 地熱開発推進の政策に対する提言

- ケニアにおける地熱発電開発の推進政策は今後も長期的に継続して実施されるべきである。
- 地熱開発支援の主な対象は国営の GDC とすべきであり、発電までの一貫開発や BOT モデルによる開発を含めた開発支援の検討が望まれる。
- GDC が行なう地熱開発事業において、開発コストを可能な限り低減するために、ODA による低利融資での資金調達に政府が協力することが望まれる。
- GDC が行なう地熱開発事業において、土地買収や道路設置、水利権などに係る許認可取得等を、遅延なきよう円滑に進めることが望まれる。
- GDC が行なう地熱発電開発に合わせた政府での送電設備開発の監理が適正に行なわれる必要がある。
- GDC が行なう地熱発電開発での自然・社会環境の調査や保全計画の手続きや認可は、政府

機関により遅滞なく適正に行なわれることが望まれる。

- ケニア国内に豊富な地熱の電力を有効かつ最大限に利用するために、政府機関により長期的な電力輸出に関する検討を行なうことが望まれる。
- ケニア国内での地熱関連の技術者や関係者の需要増大に対応するために、大学等での技術者等の養成を支援する政策の実行が望まれる。

巻末資料

1. リモートセンシング手法
2. 岩石薄片の偏光顕微鏡写真
3. X線回折チャート
4. スペクトル計測結果
5. 各地熱地点の地化学解析図
6. MT探査データ解析方法と結果
7. 重力探査データ解析方法と結果
8. 環境社会配慮のための補足調査結果表
9. 坑口発電設備の経済性
10. GDC 公社財務モデル取扱説明書

巻末資料

1. リモートセンシング手法

リモートセンシング手法

ベースマップ作成

ベースマップの例として、パカ地点の TERRA/ASTER 擬似画像を図 1 に示す。

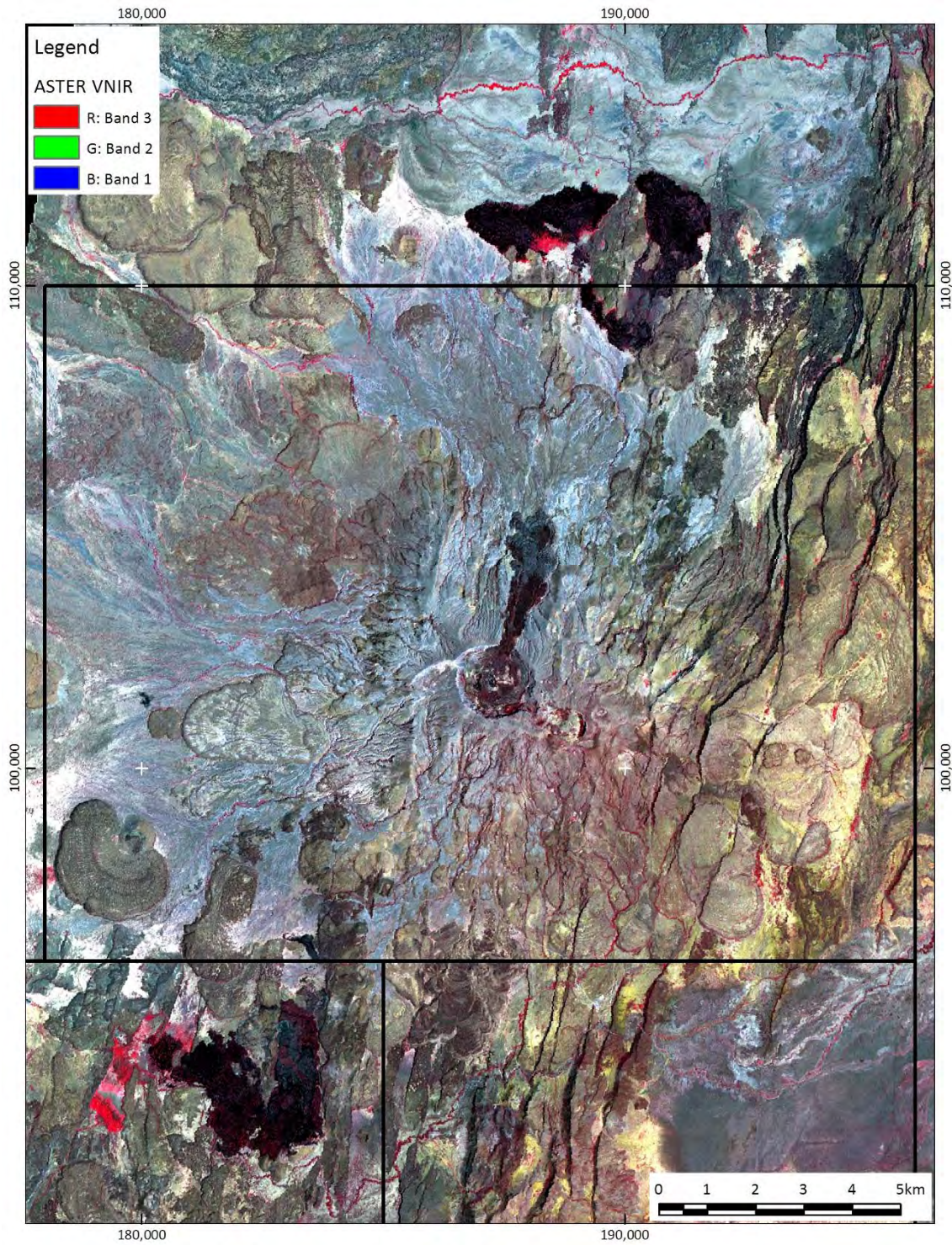
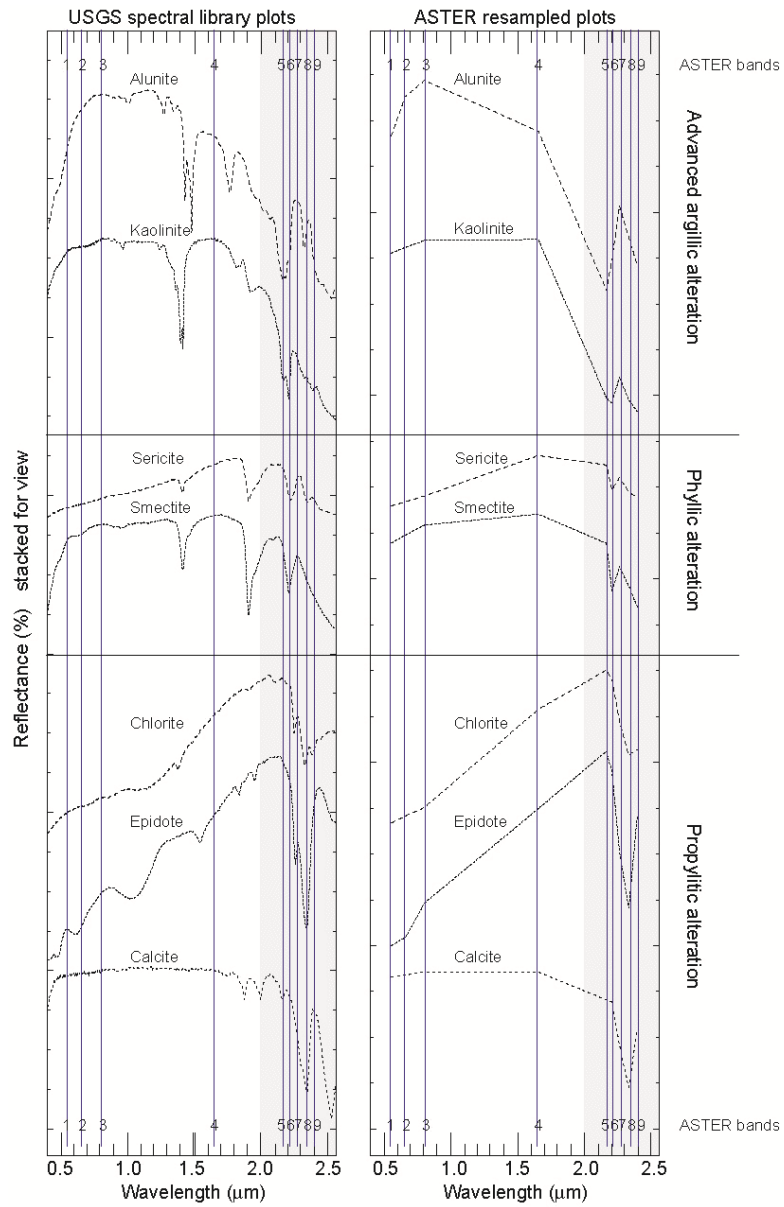


図 1 パカ地点の ASTER VNIR 擬似カラー合成画像

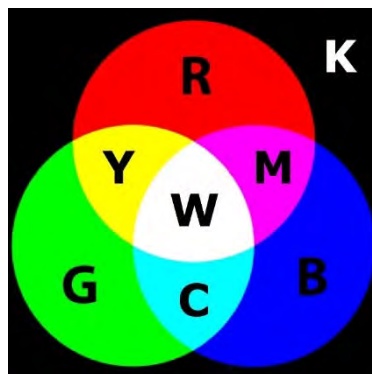
擬似カラー合成画像作成

既述の ASTER VNIR (可視近赤外放射計) 擬似カラー合成画像は、光の三原色である赤、緑及び青 (以下、RGB) に対して、観測波長帯のバンド 3 (0.76~0.86 マイクロメートル)、バンド 2 (0.63~0.69 マイクロメートル) 及びバンド 1 (0.52~0.60 マイクロメートル) の反射強度を割り当てて画像化したものである。このバンド組み合わせの ASTER VNIR 擬似カラー合成画像においては、植生に被覆されるピクセル (画素) は明るい赤色に発色する。同様に、露出する岩石や土壌はその岩相や構成鉱物によって暗褐色 (溶岩)、褐色、淡青色、淡緑色及び白色に、水域は明青色から暗青色、黒色に発色する。加えて、RGB に ASTER SWIR (短波長赤外放射計) のバンド 4 (1.600~1.700 マイクロメートル)、バンド 6 (2.185~2.285 マイクロメートル) 及びバンド 8 (2.295~2.365 マイクロメートル) の反射強度を割り当てることによって合成画像を作成した。このバンド組み合わせは熱水変質、例えば明礬石や kaolinite よりなる advanced argillic 変質や、sericite 及び smectite よりなる phyllic 変質、緑泥石及び緑簾石よりなる prophylic 変質を識別・抽出するのに有効といわれている。なぜなら、Advanced argillic 及び phyllic 変質の構成鉱物は 2.2~2.3 マイクロメートル付近に強い吸収を有し、この領域は ASTER SWIR のバンド 5 (2.145~2.185 マイクロメートル) 及びバンド 6 に対応している (図 2)。advanced argillic 及び phyllic 変質は、緑に割り当てられたバンド 6 に吸収を有し、赤及び青に割り当てられたバンド 4 及びバンド 8 に反射を有することにより、ASTER SWIR 擬似カラー合成画像においてこれら変質帯に対応するピクセルは、赤と青の加法混合 (図 3) によってマゼンタに発色する。



出典: Yajima et al. (2007)

図2 熱水変質鉱物の反射強度と ASTER の観測波長帯におけるスペクトル・パターン



R: 赤, G: 緑, B: 青, Y: 黄, C: シアン, M: マゼンタ, K: 黒

図3 三原色と加法合成

Relative absorption band-depth 画像

RBD 法の概念図 (図 4) において、ターゲットとなる観測波長帯の吸収の深さは、吸収を示す観測波長帯の反射強度を、その「肩」に位置する二つのバンドの反射強度を合算したもので除することによって算出することができる。変質帯の各構成鉱物の吸収深さの算出式を以下に示す。

$$RBD_{Alunite} = \frac{Ref_4 + Ref_6}{Ref_5}$$

$$RBD_{Kaolinite} = \frac{Ref_4 \times Ref_6}{Ref_5 \times Ref_6}$$

$$RBD_{Sericite} = \frac{Ref_5 + Ref_7}{Ref_6}$$

$$RBD_{Chlorite} = \frac{Ref_7 + Ref_9}{Ref_8}$$

ここに Ref_# は Band # の反射強度である。

パカ地点における RBD 法による kaolinite のマッピングの結果を図 5 に示す。RBD 画像において、暖色系の高い値を示すピクセルほど、算出式の分子の観測波長帯における吸収が深く、そのピクセルにターゲットとなる鉱物が存在する確立は大きくなる。

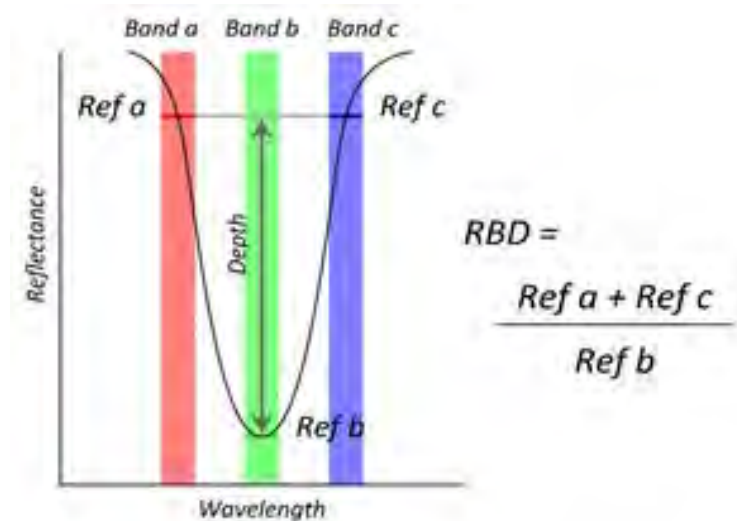


図 4 RBD 法の概念図

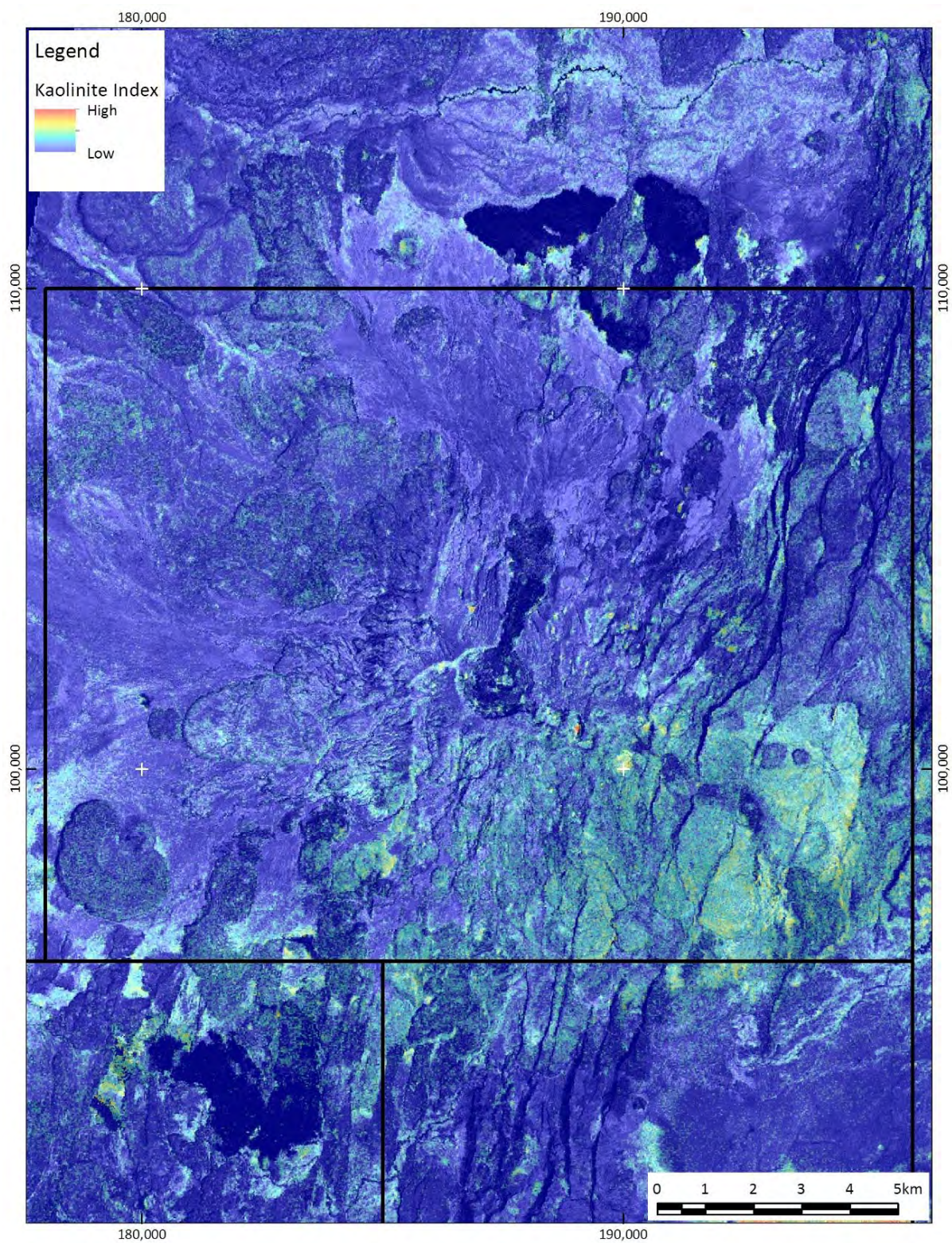


図5 パカ地点のASTER SWIR RBD画像 (kaolinite)

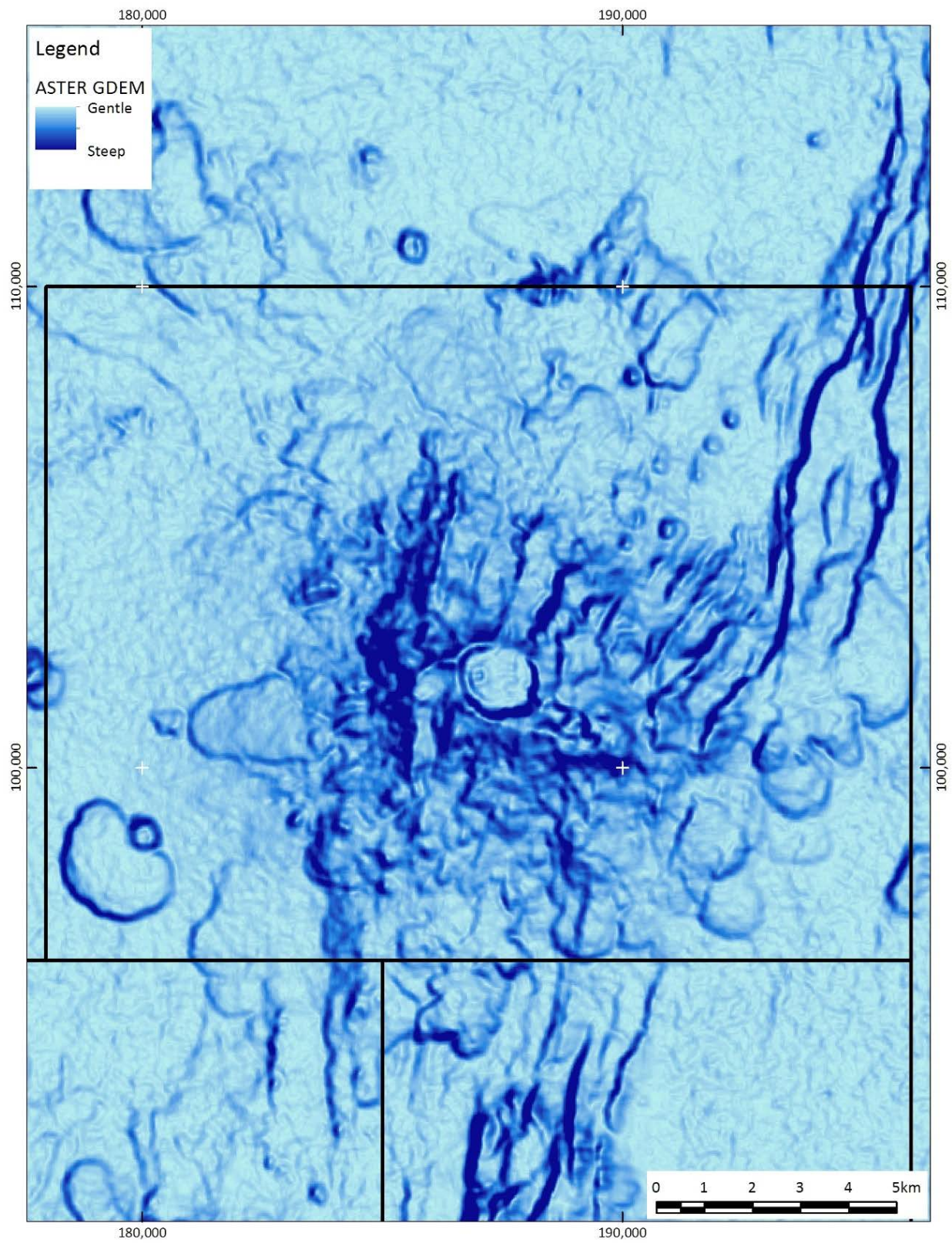


図6 パカ地点の ASTER GDEM 傾斜量-陰影合成画像

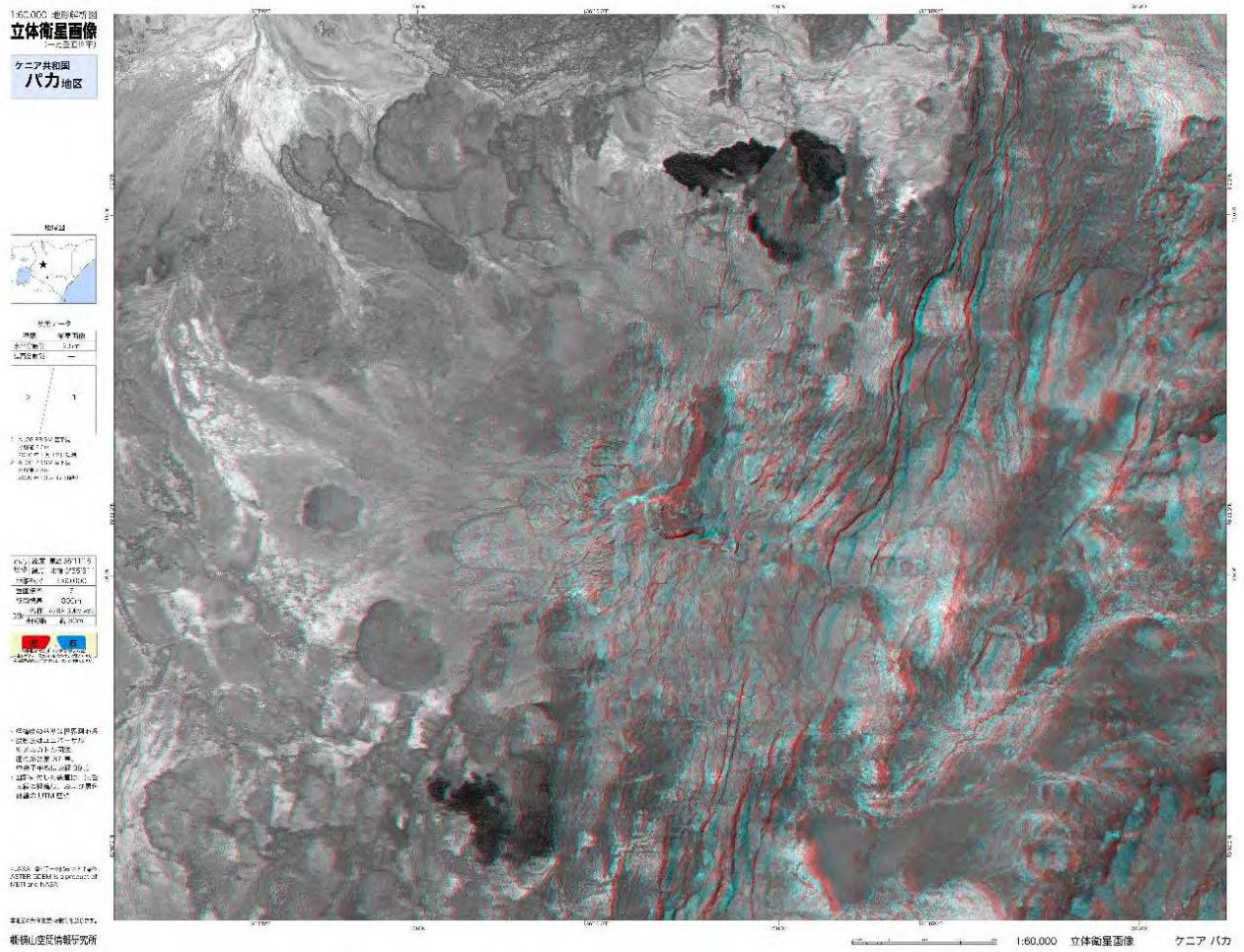
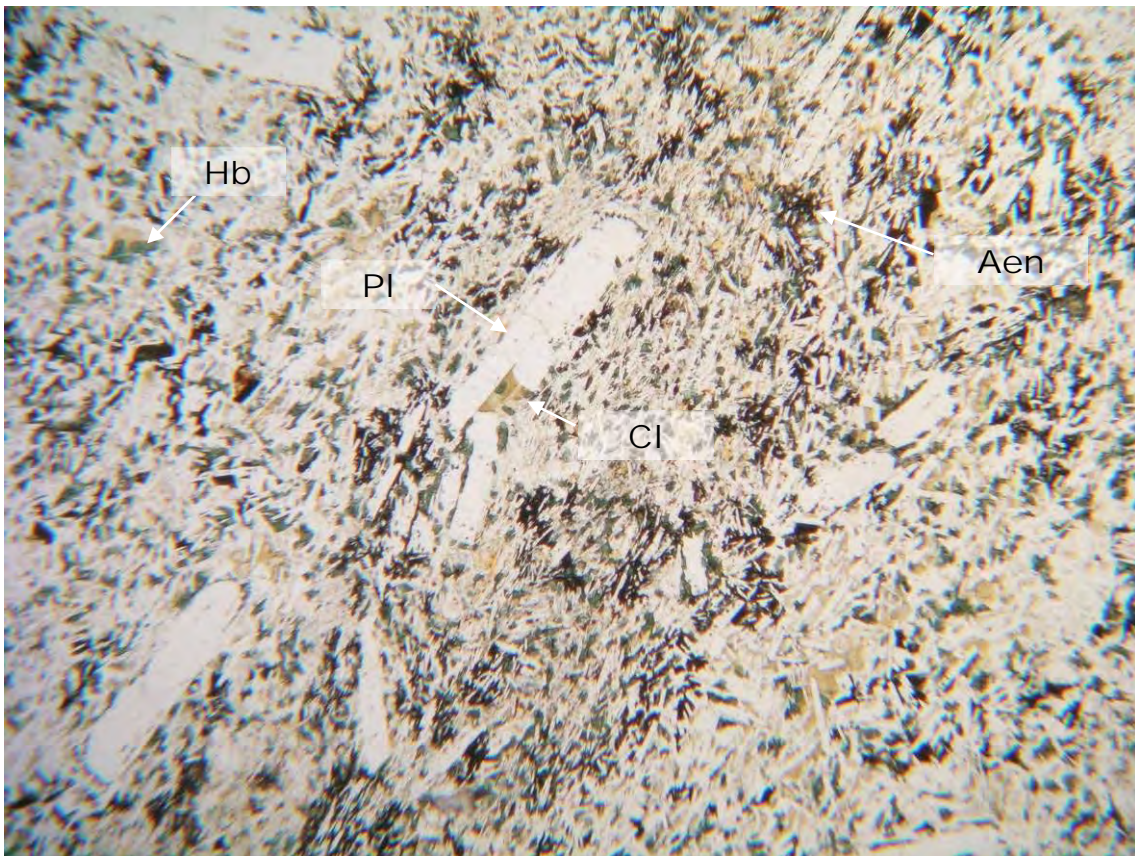


図7 バカ地点の立体斜度図

卷 末 資 料

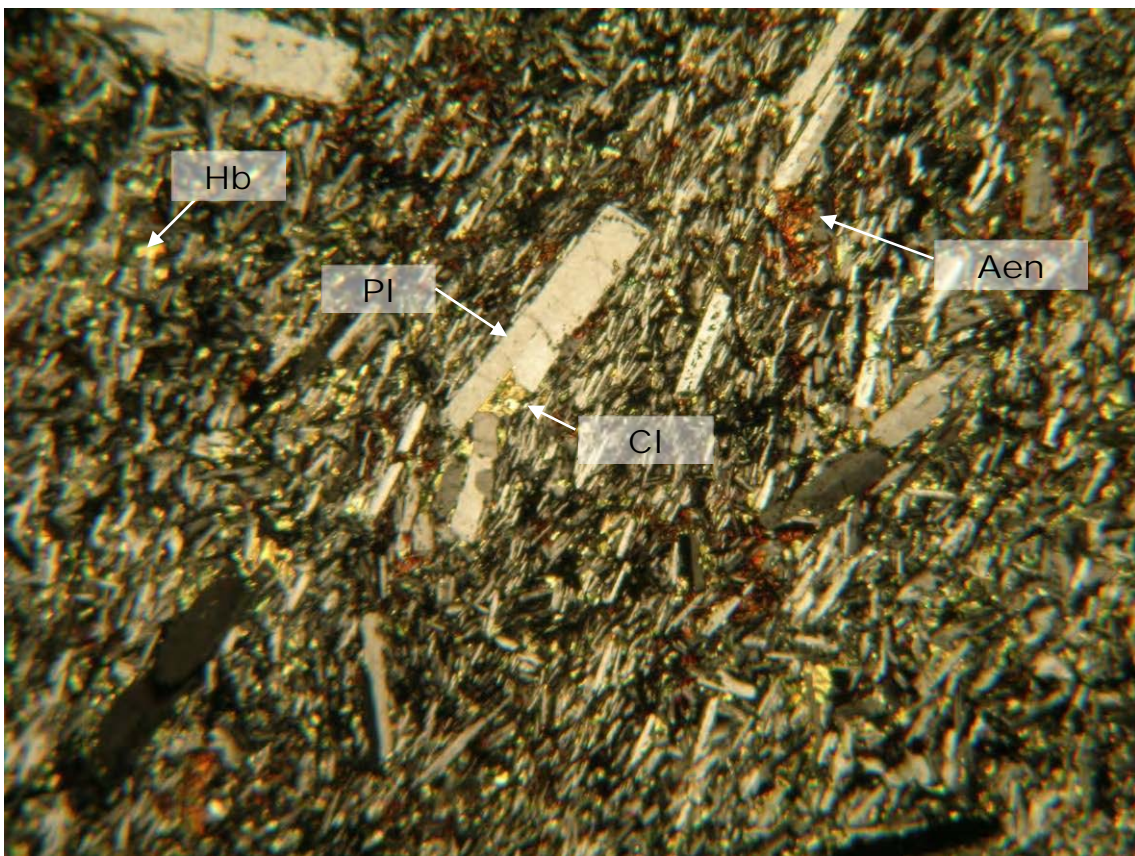
2. 岩石薄片の偏光顕微鏡写真

2015052704-T



0.5mm

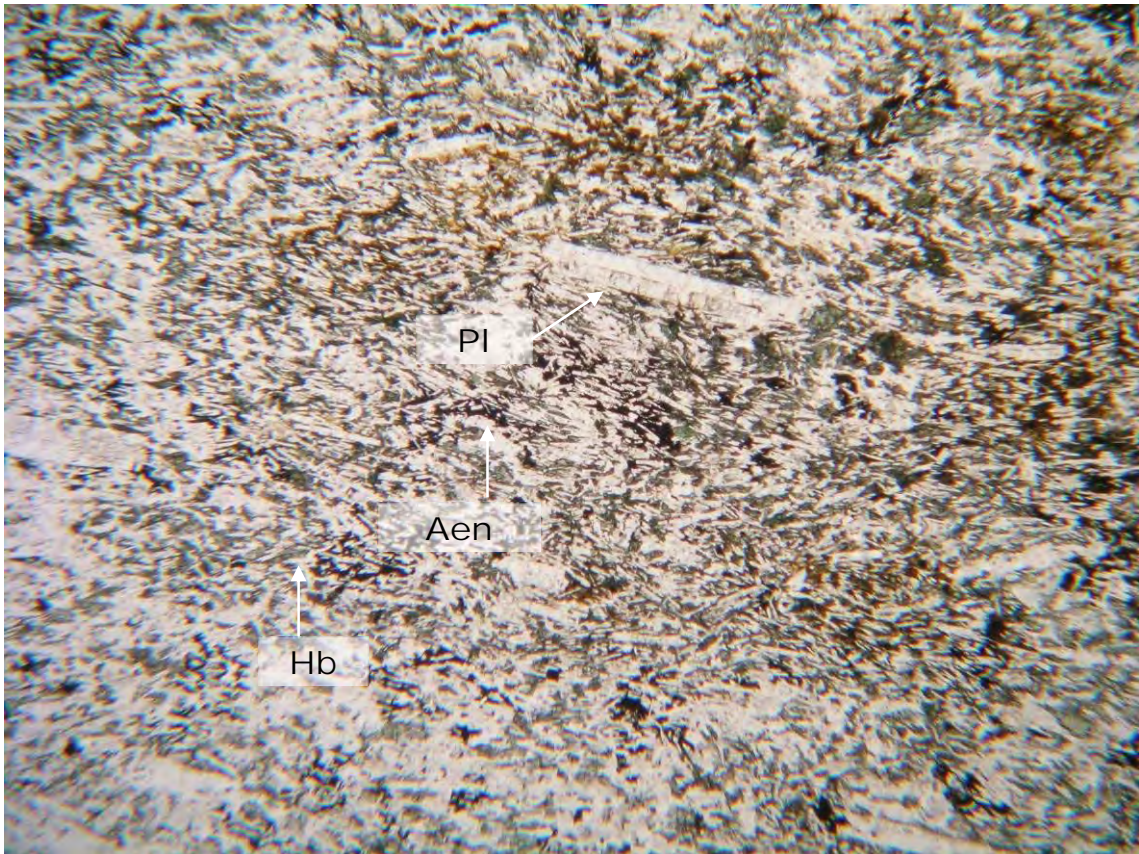
Plane-Polarized



0.5mm

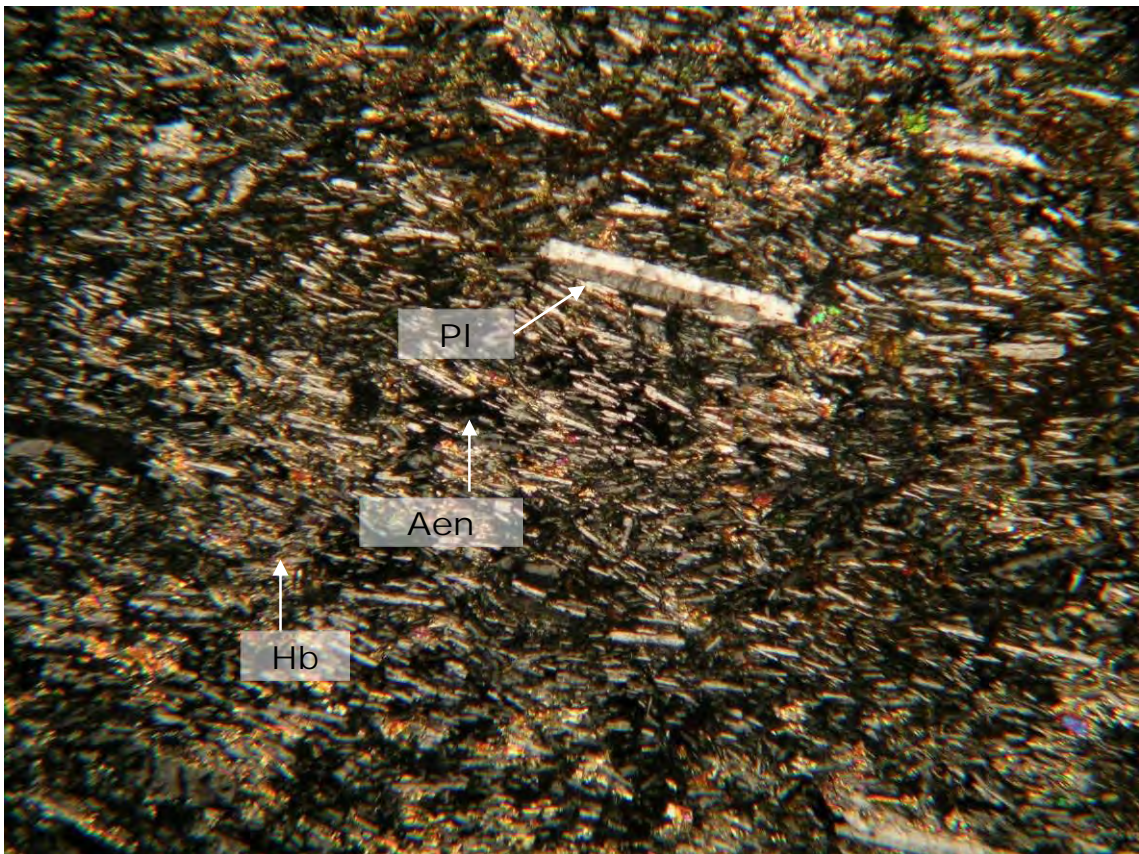
Cross-Polarized

2015052706-T



0.5mm

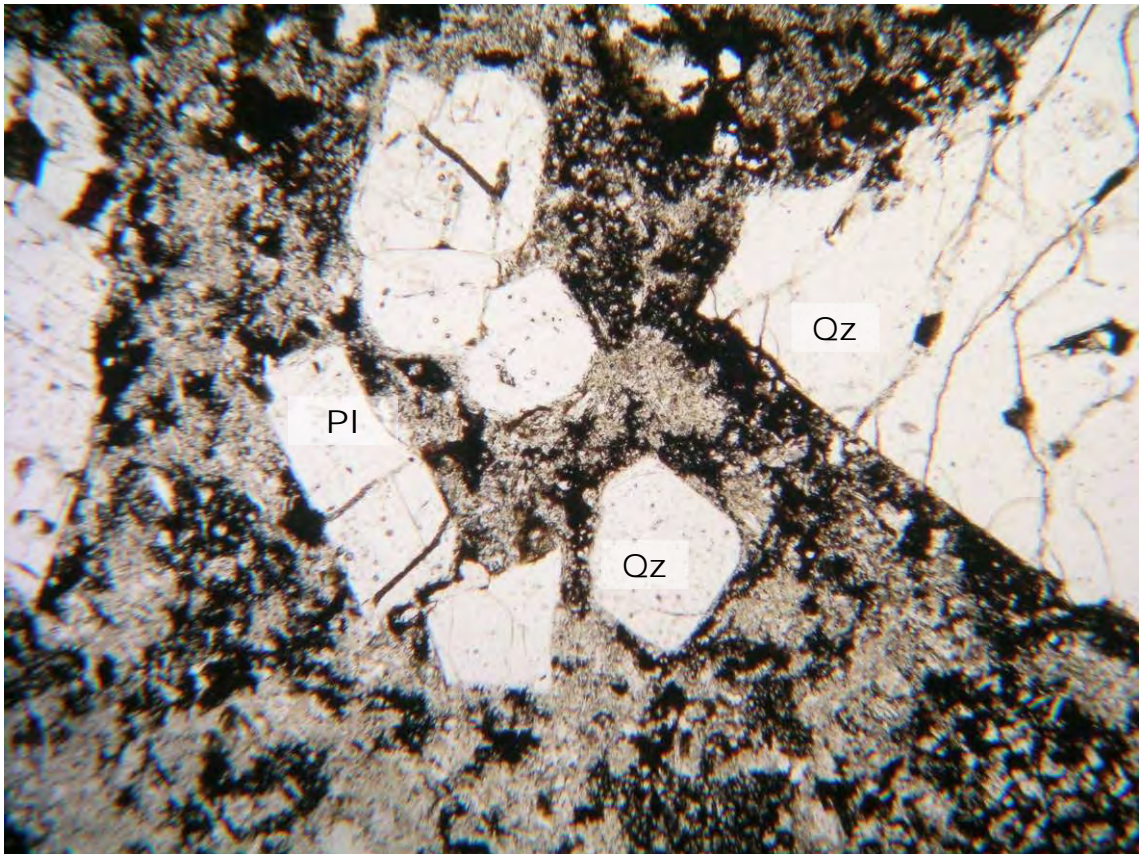
Plane-Polarized



0.5mm

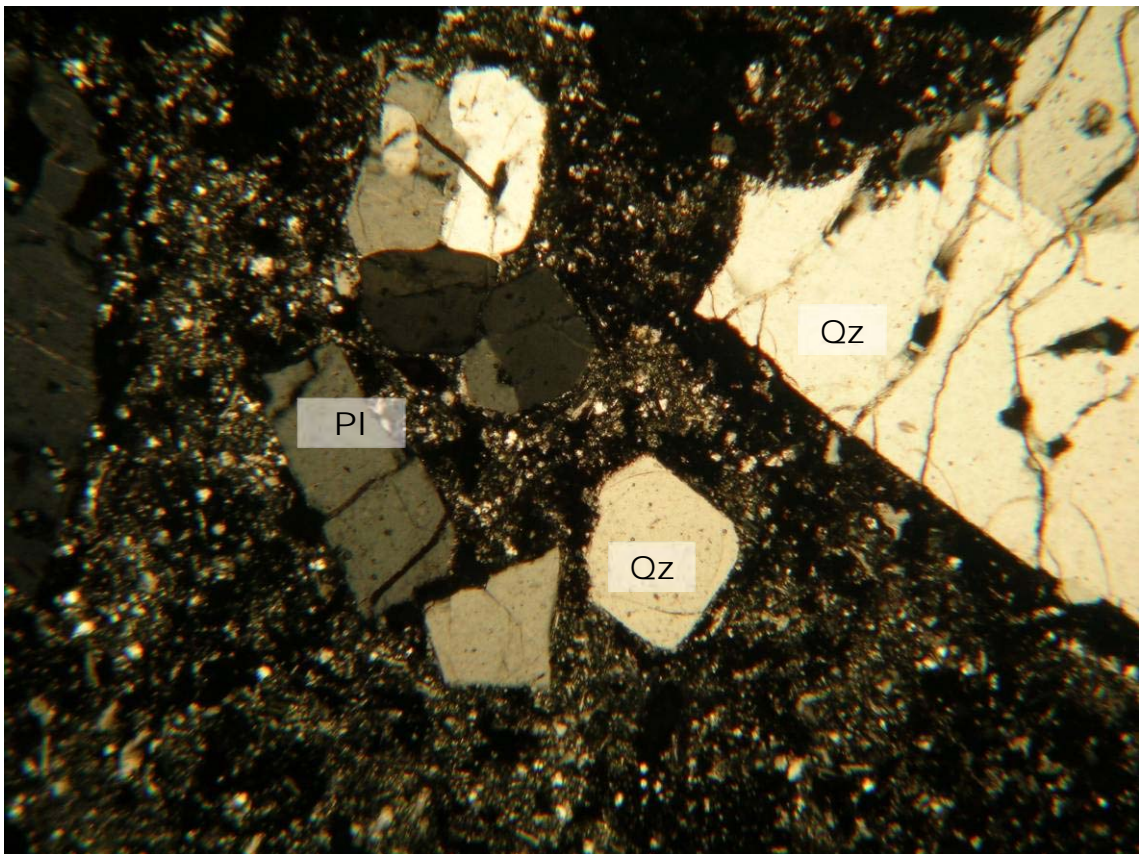
Cross-Polarized

2015052805-T



0.5mm

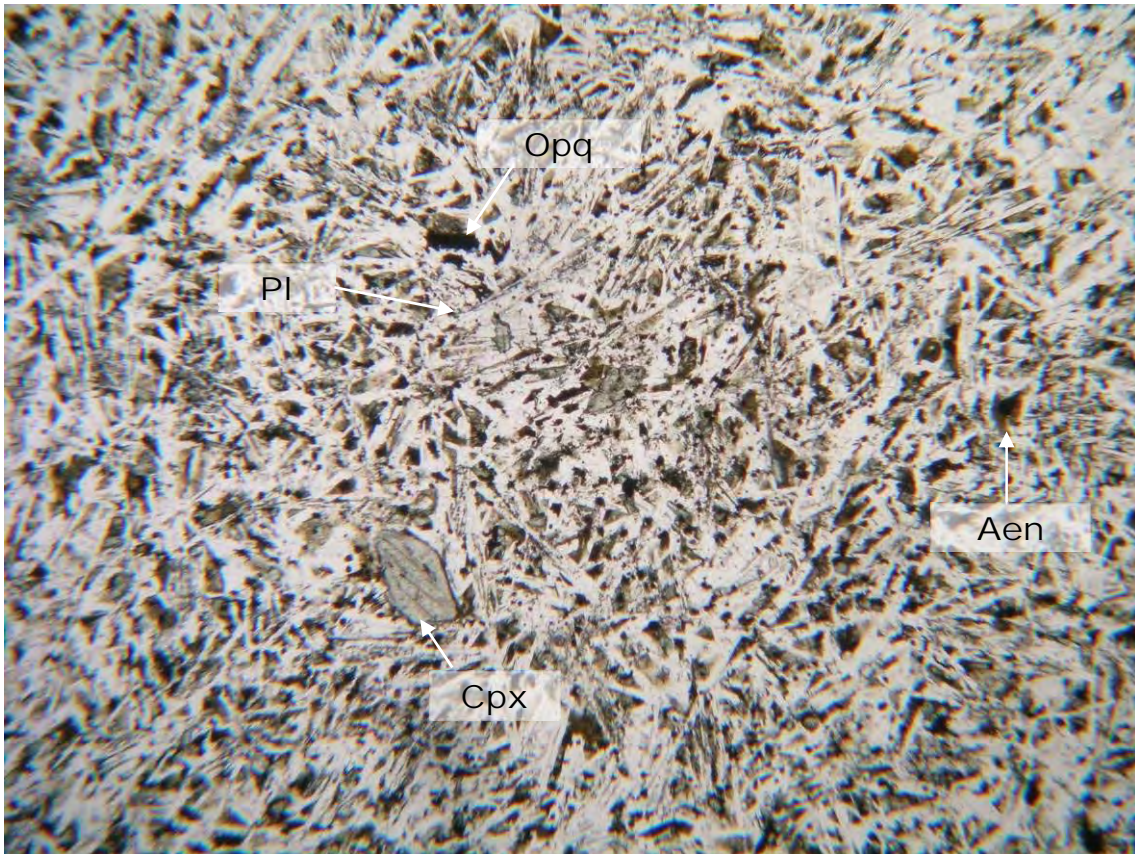
Plane-Polarized



0.5mm

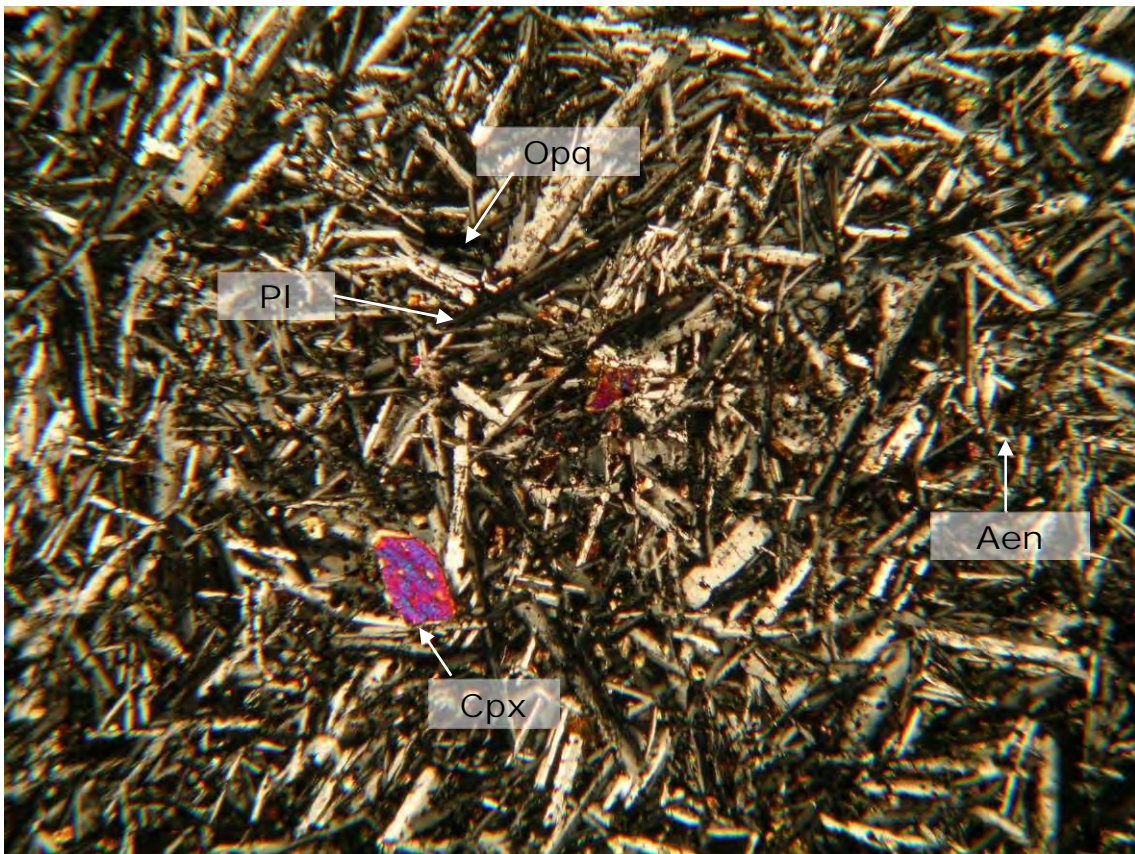
Cross-Polarized

2015052901-T



0.5mm

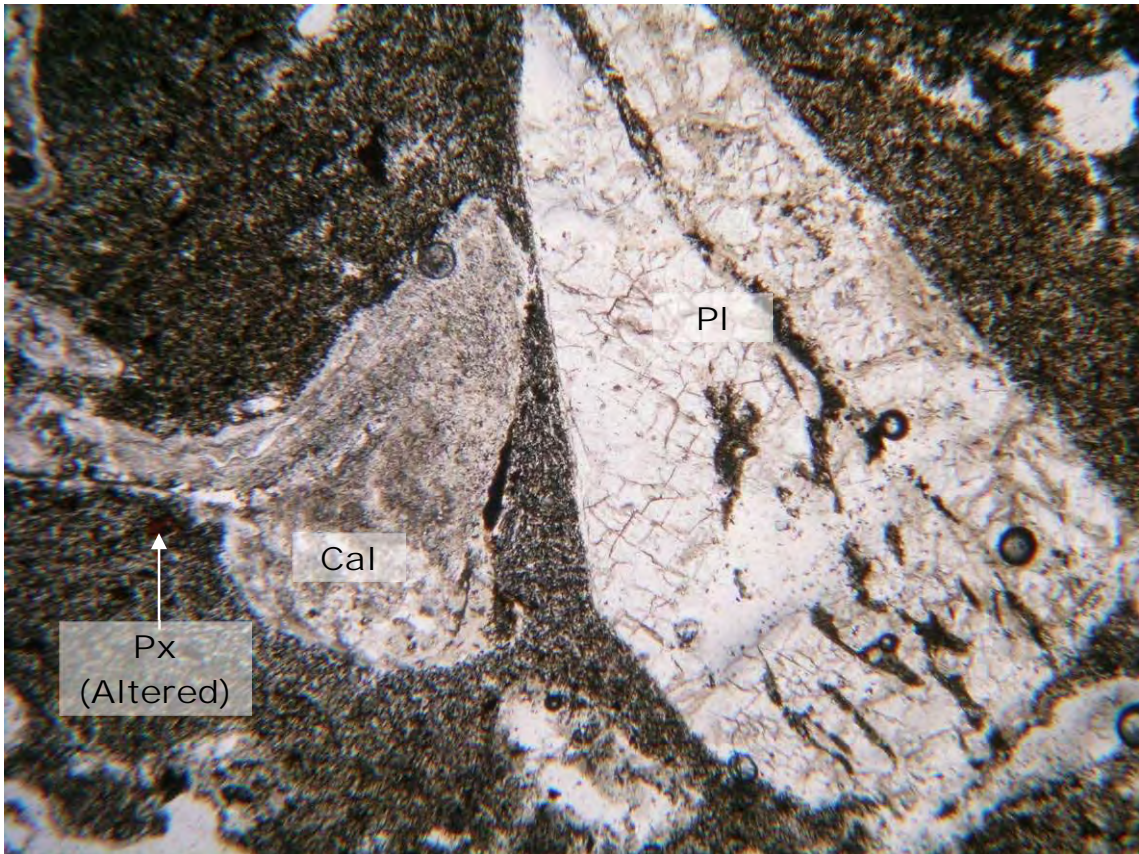
Plane-Polarized



0.5mm

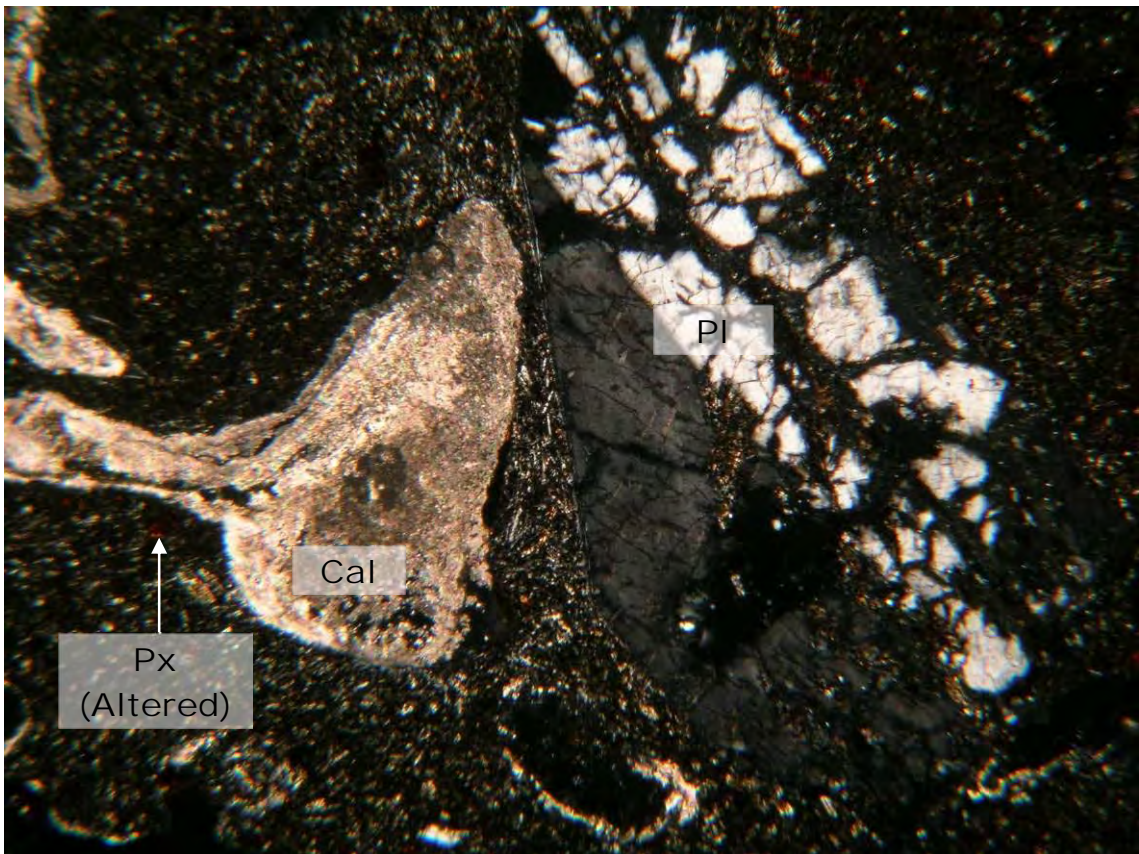
Cross-Polarized

2015053003-T



0.5mm

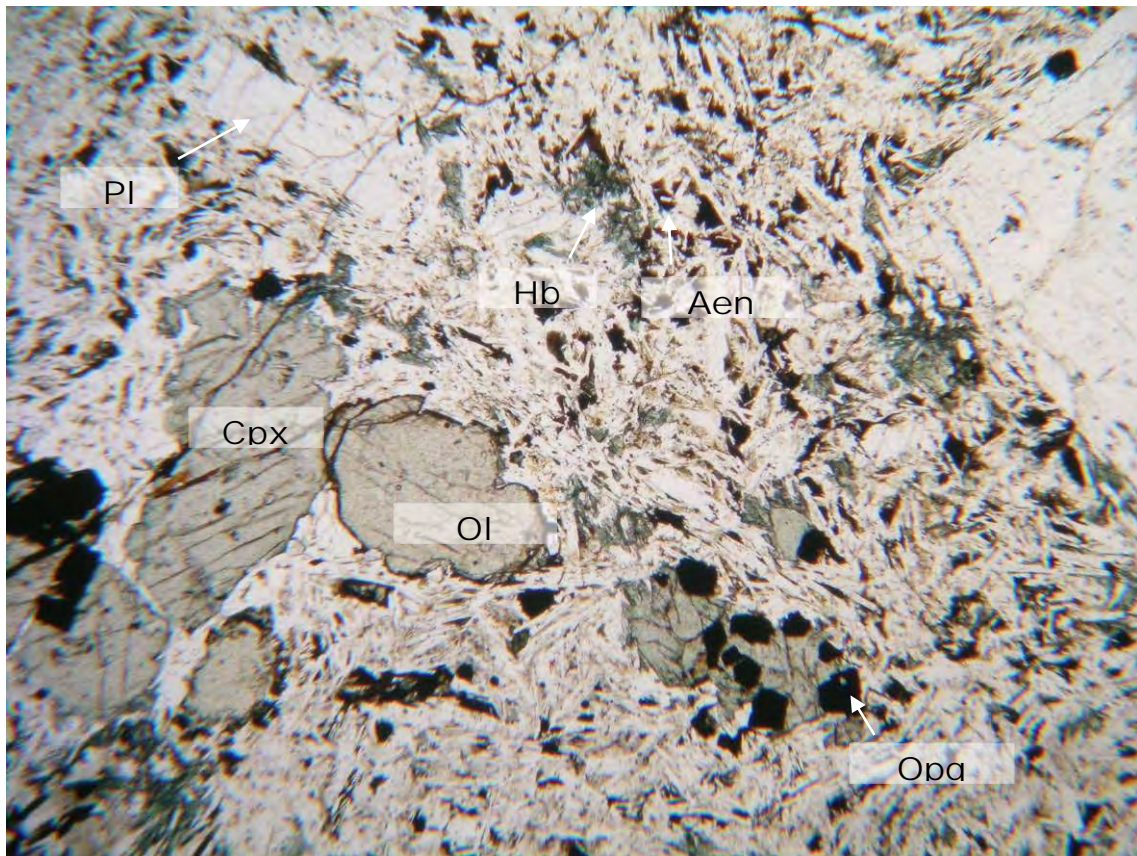
Plane-Polarized



0.5mm

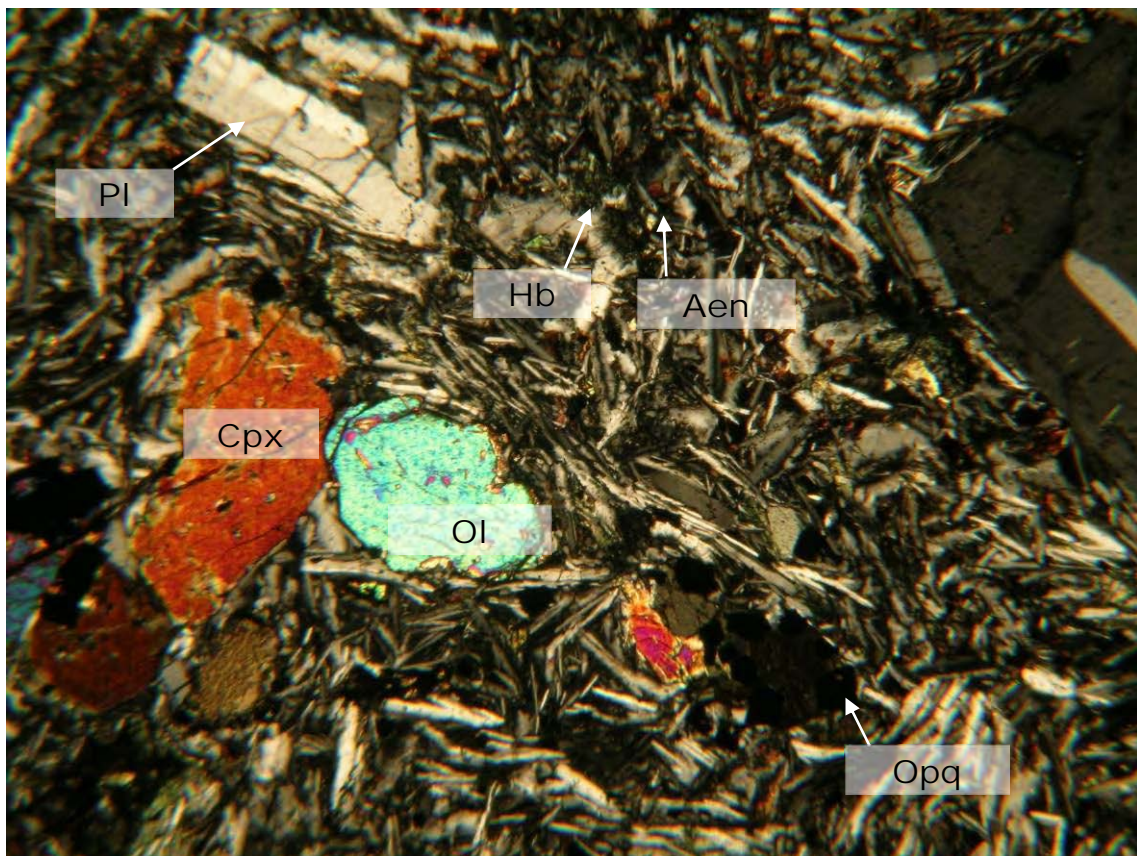
Cross-Polarized

2015060103-T



0.5mm

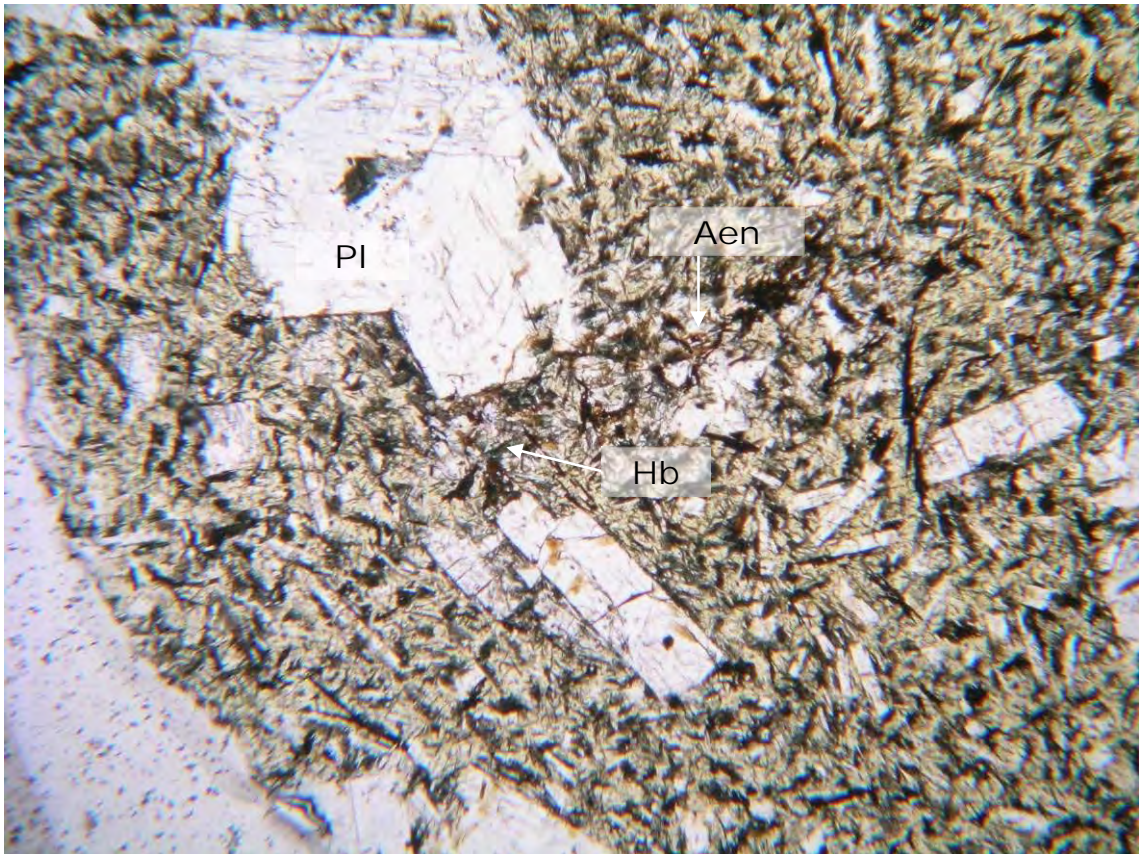
Plane-Polarized



0.5mm

Cross-Polarized

2015060201-T



0.5mm

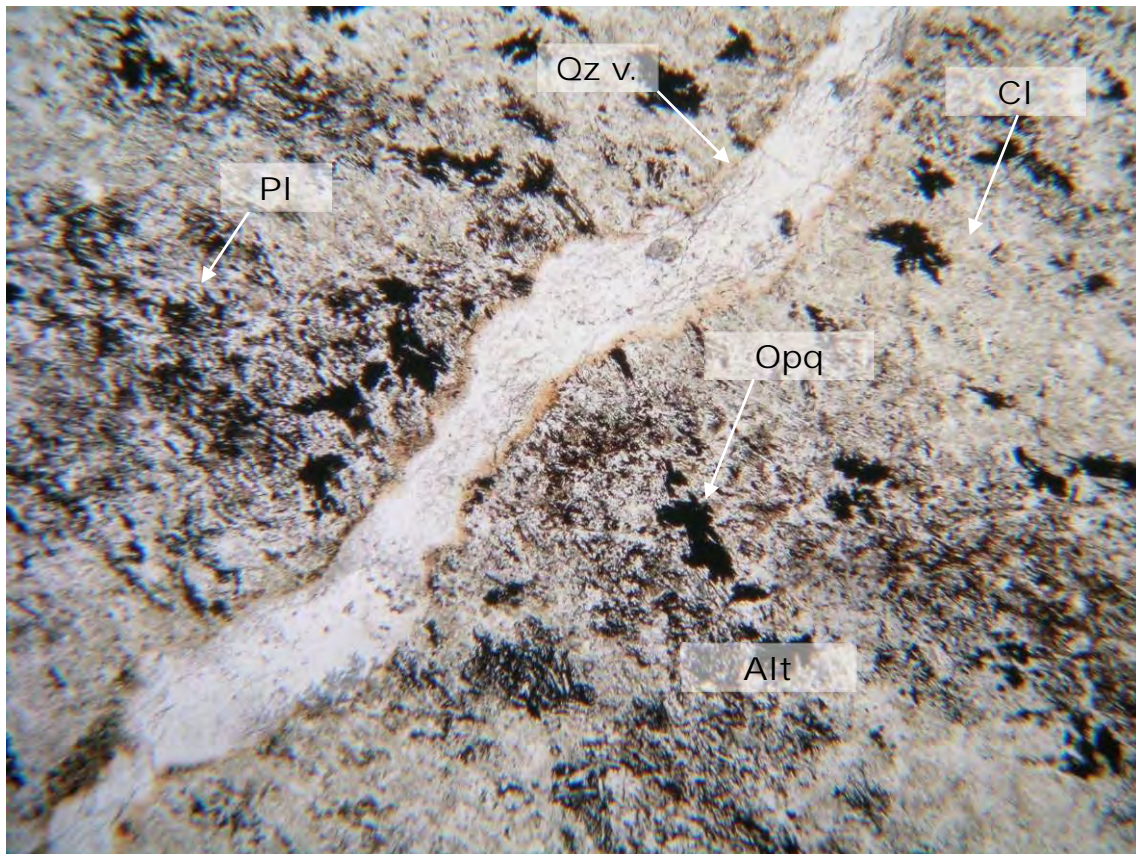
Plane-Polarized



0.5mm

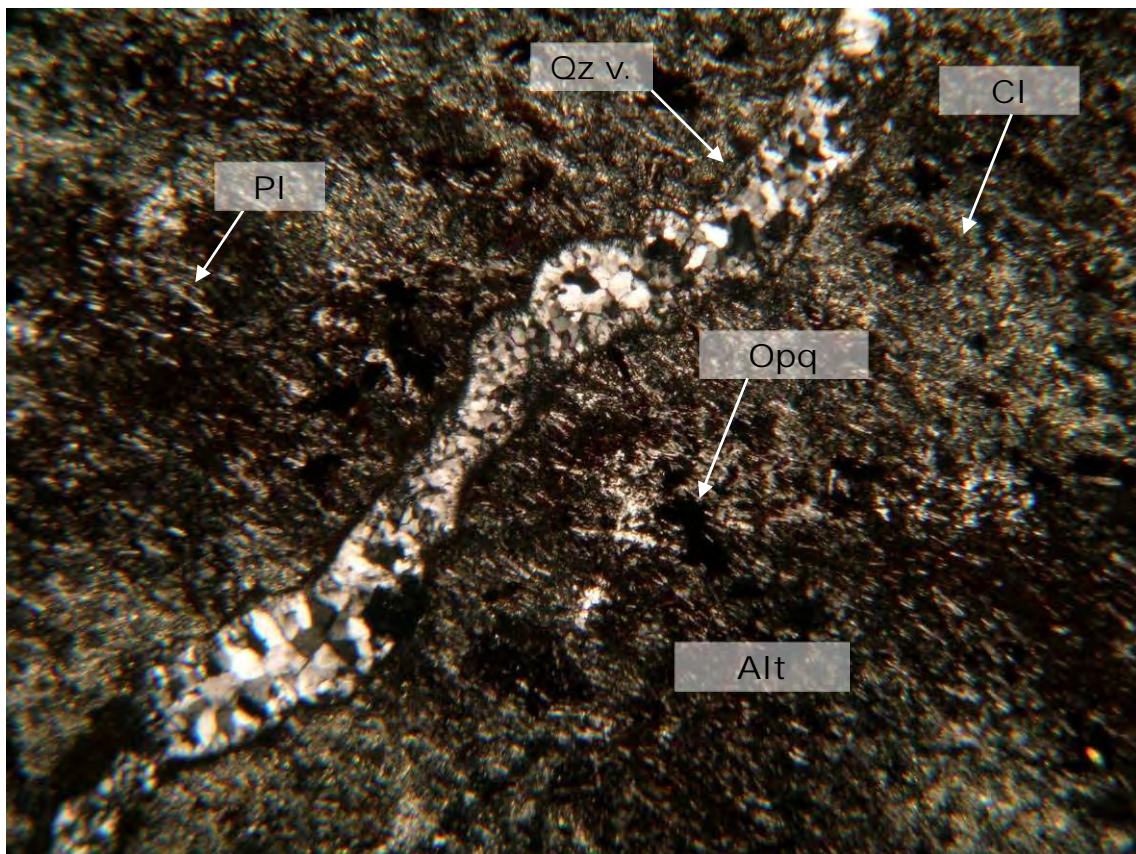
Cross-Polarized

2015060203-T1



0.5mm

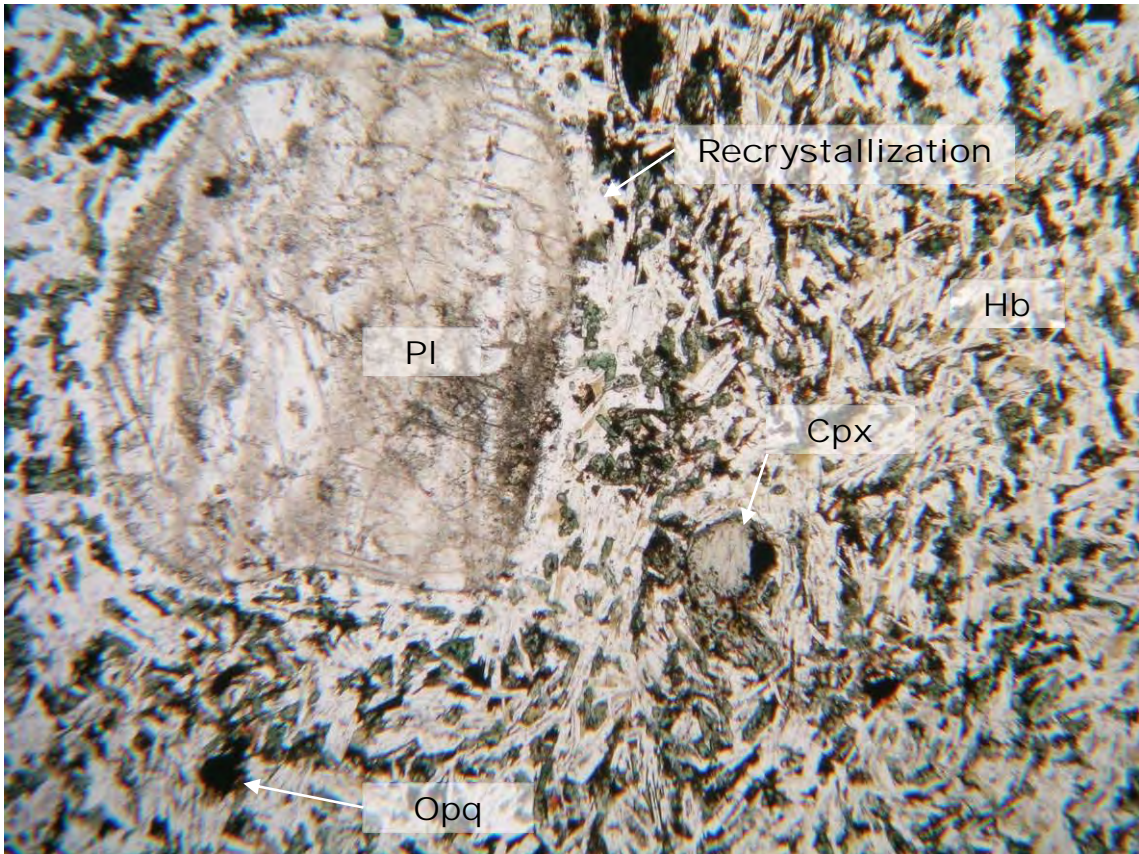
Plane-Polarized



0.5mm

Cross-Polarized

2015060203-T1



0.5mm

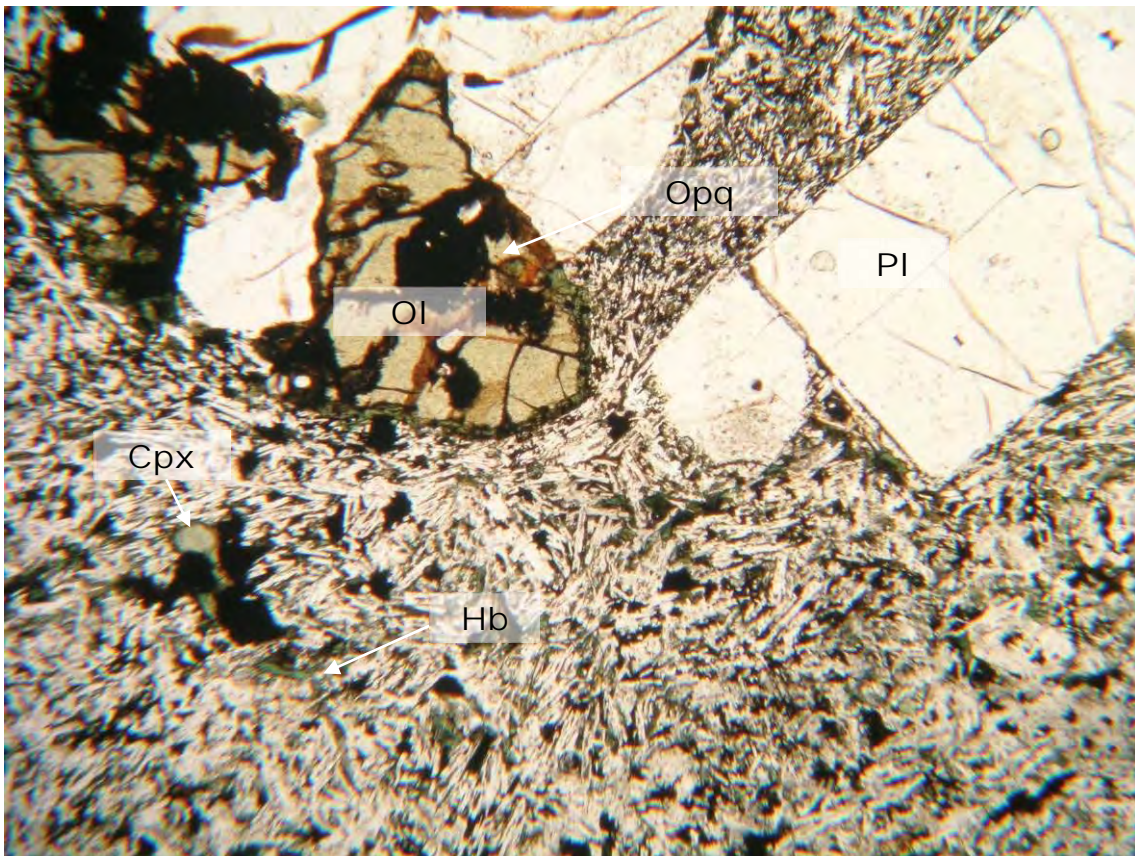
Plane-Polarized



0.5mm

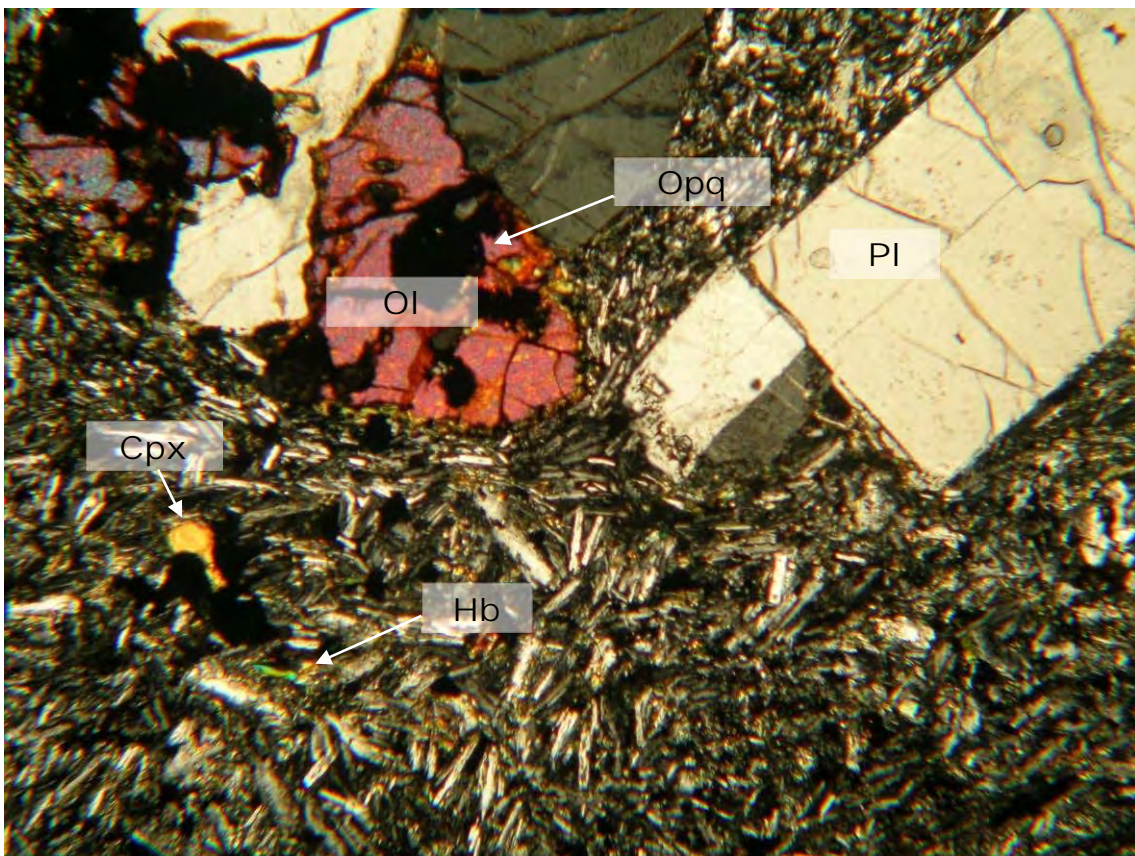
Cross-Polarized

2015060302-T



0.5mm

Plane-Polarized



0.5mm

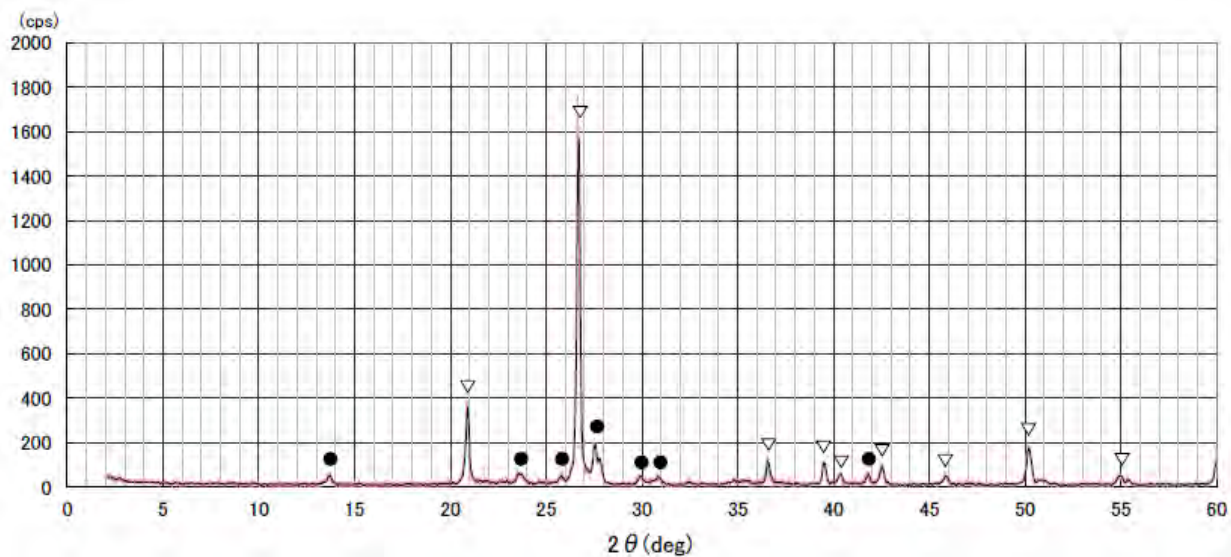
Cross-Polarized

卷 末 資 料

3. X線回折チャート

2015052701-X

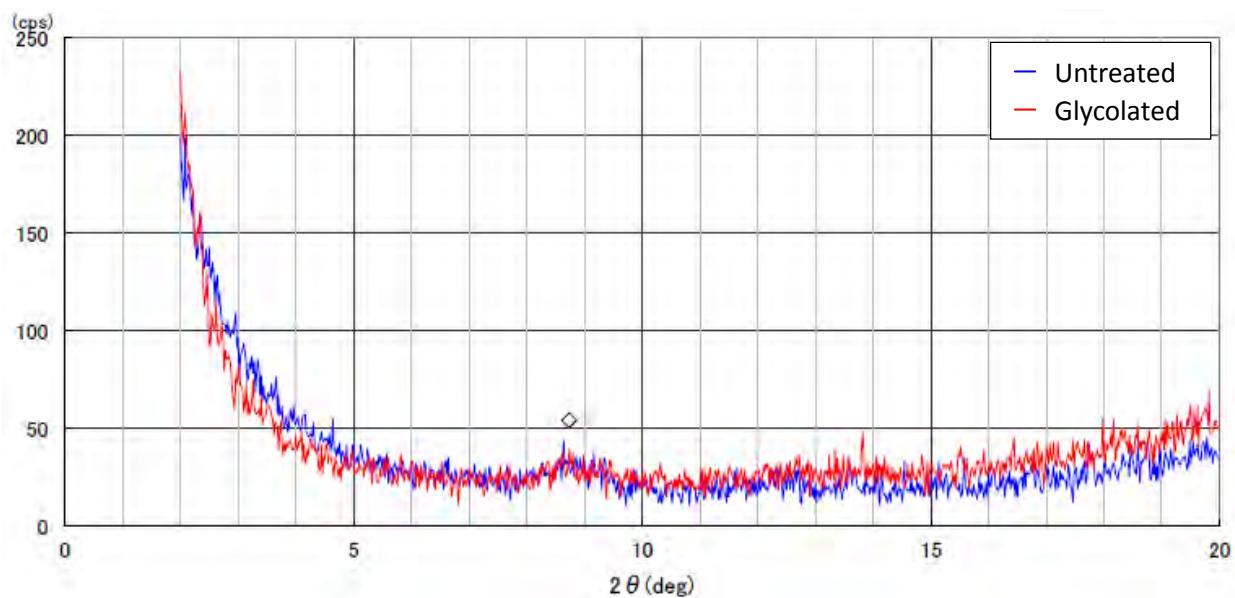
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz ●: Feldspar

[Oriented]

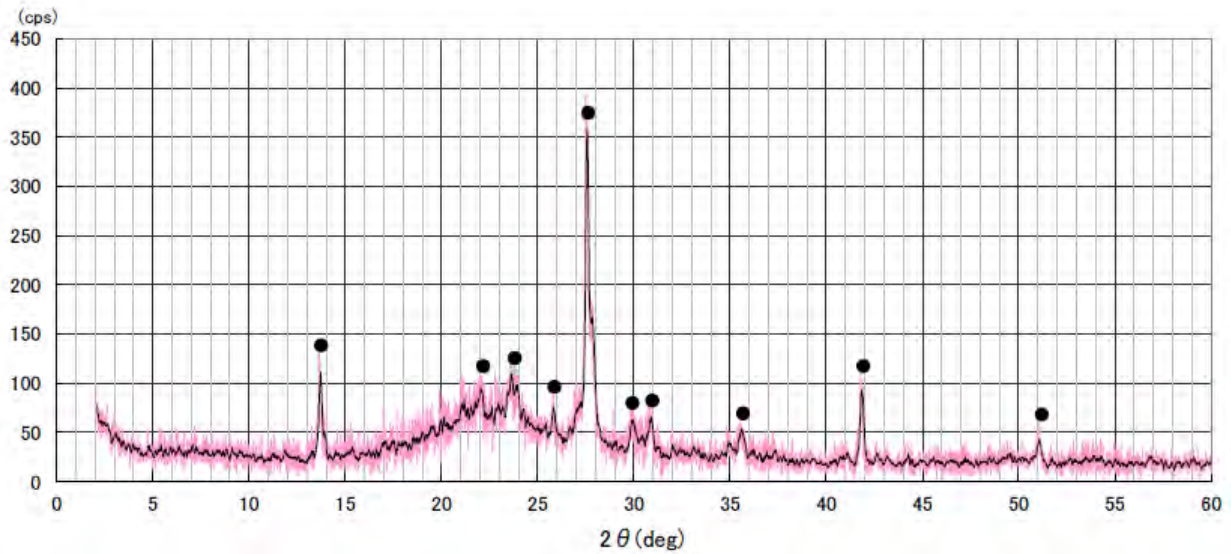


Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◇: Illite

2015052703-X

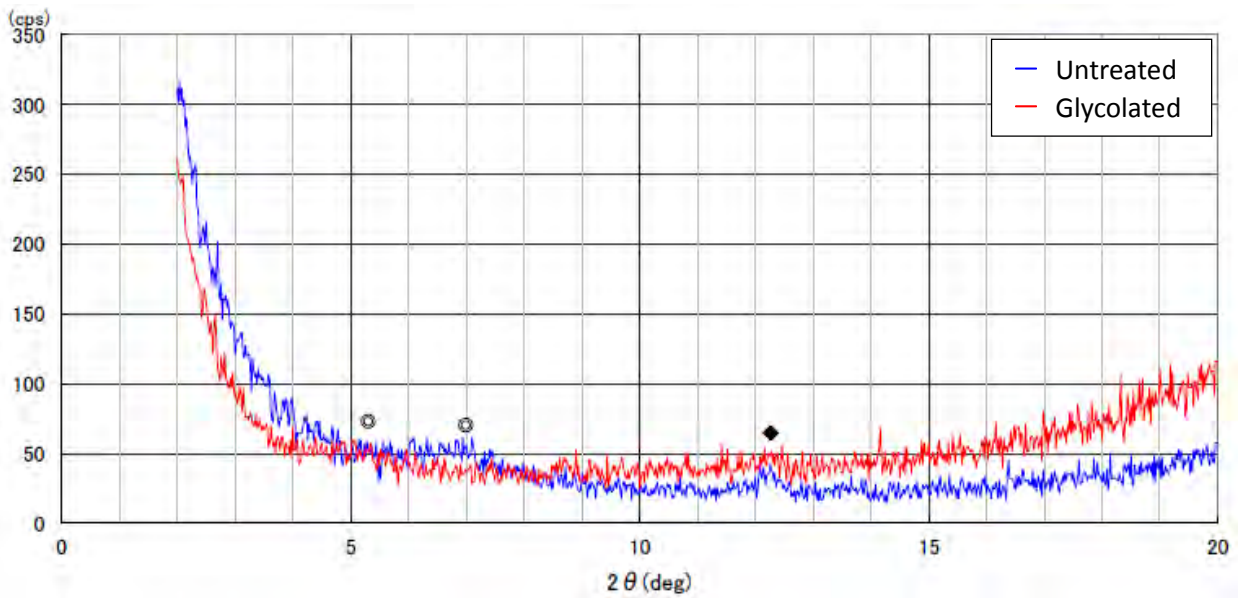
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar

[Oriented]

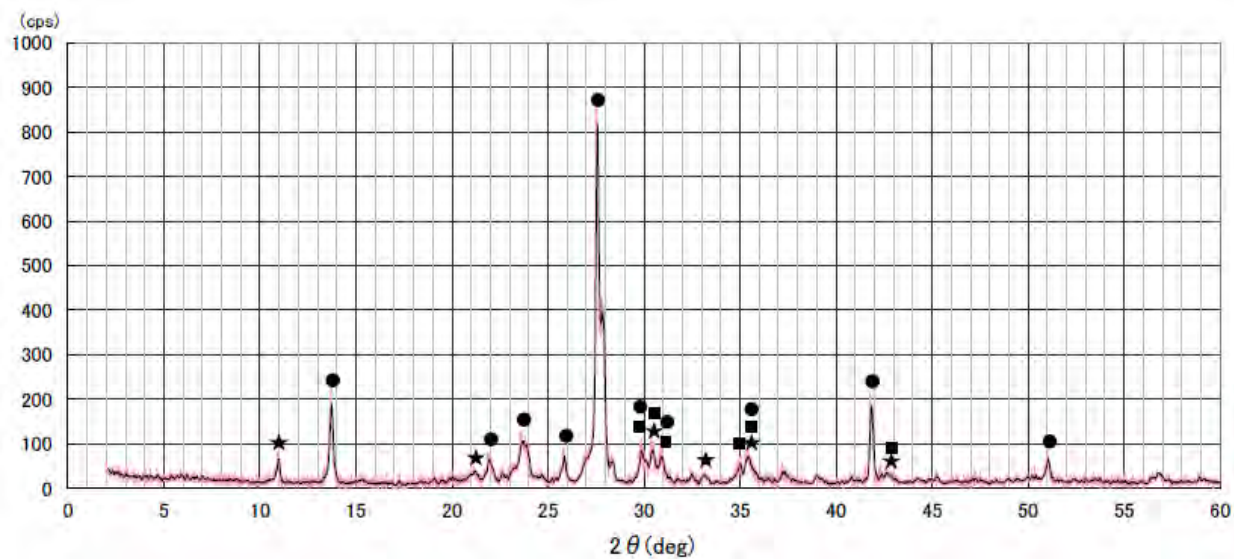


Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ⊙: Smectite

2015052704-X

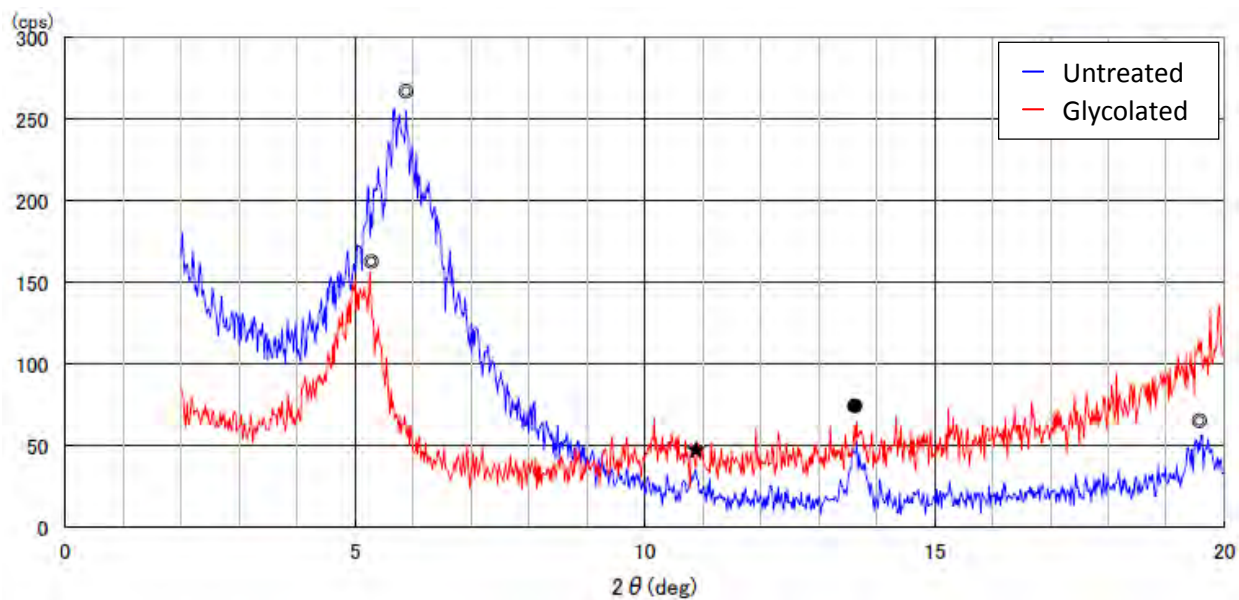
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ■: Clinopyroxene, ★: Aenigmatite

[Oriented]

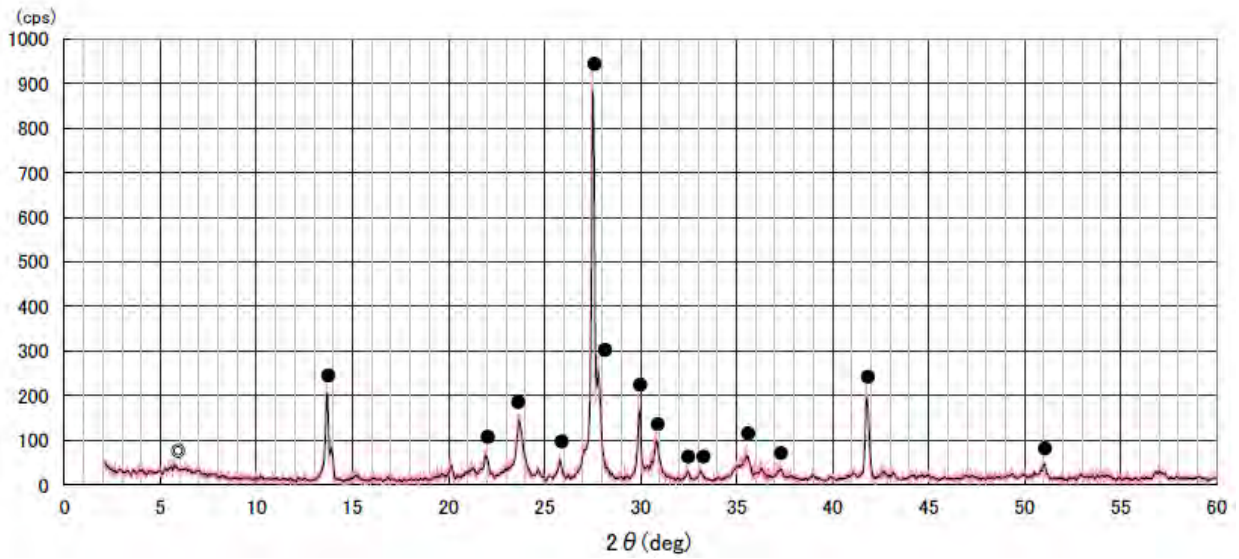


Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ⊙: Smectite, ★: Aenigmatite

2015052705-X

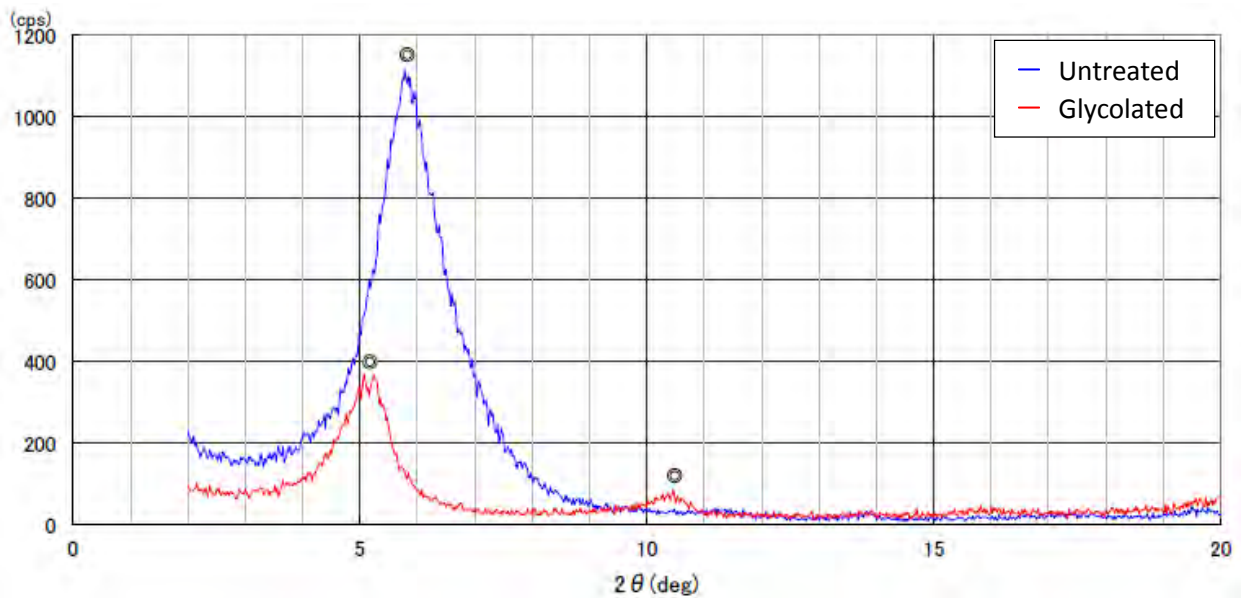
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ○: Smectite

[Oriented]

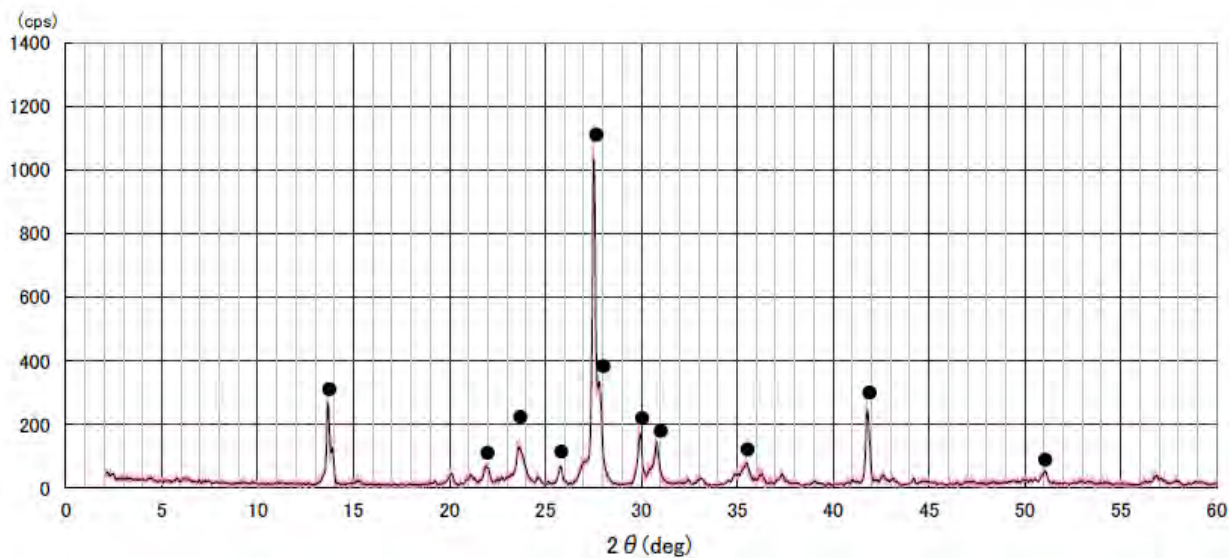


Measurement data	: 2015/8/13	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

○: Smectite

2015052706-X

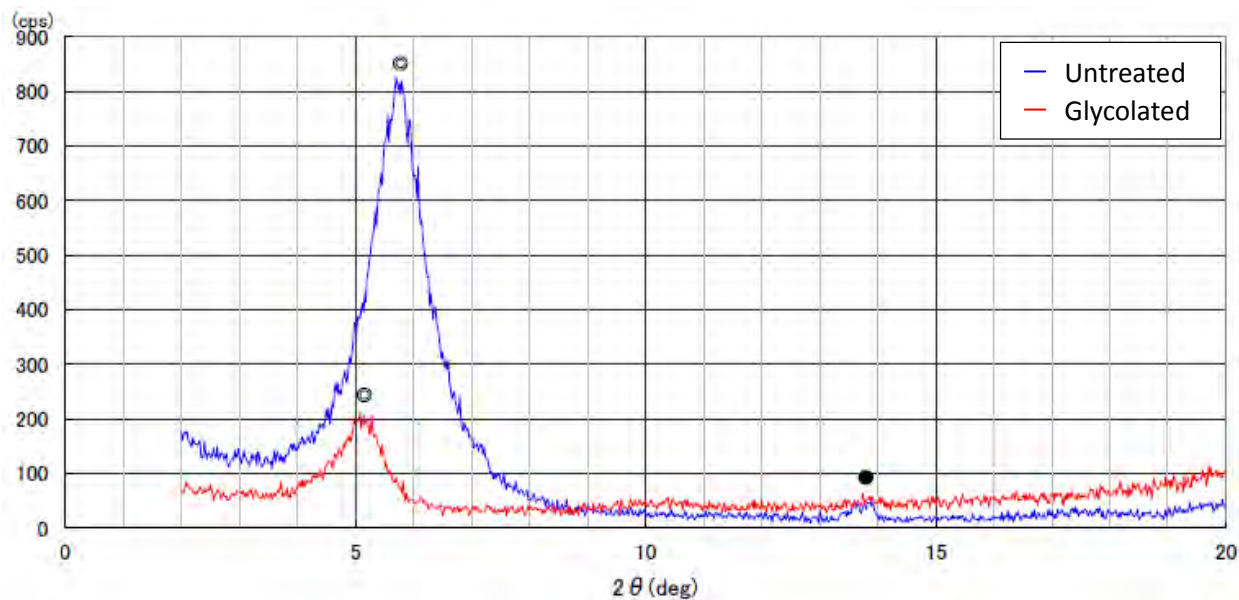
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar

[Oriented]

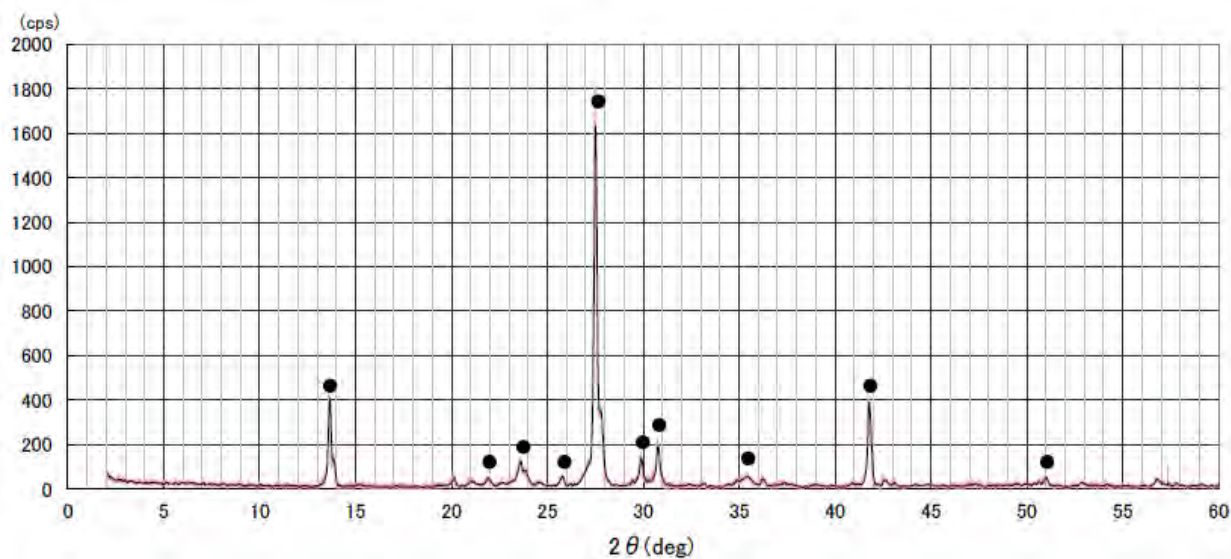


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ⊙: Smectite

2015052707-X

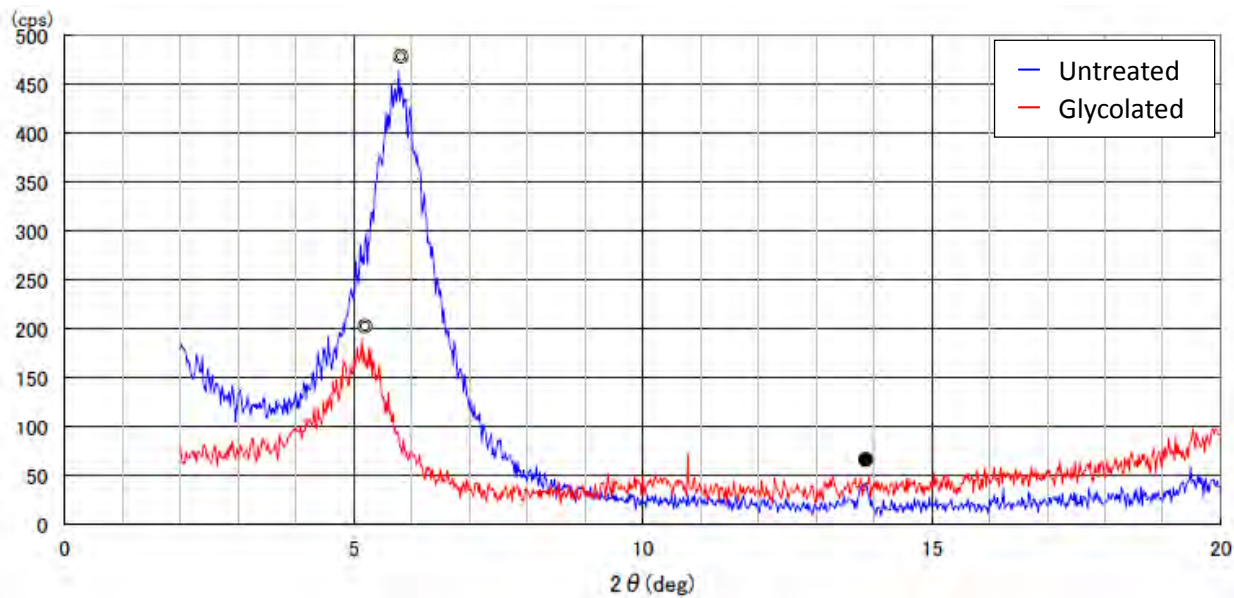
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: $\text{CuK}\alpha$ /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: $5/8^\circ$	Scan axis	: $2\theta / \theta$
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: $2.00 \sim 40.00^\circ$
Scattering slit	: $5/4^\circ$		

●: Feldspar

[Oriented]

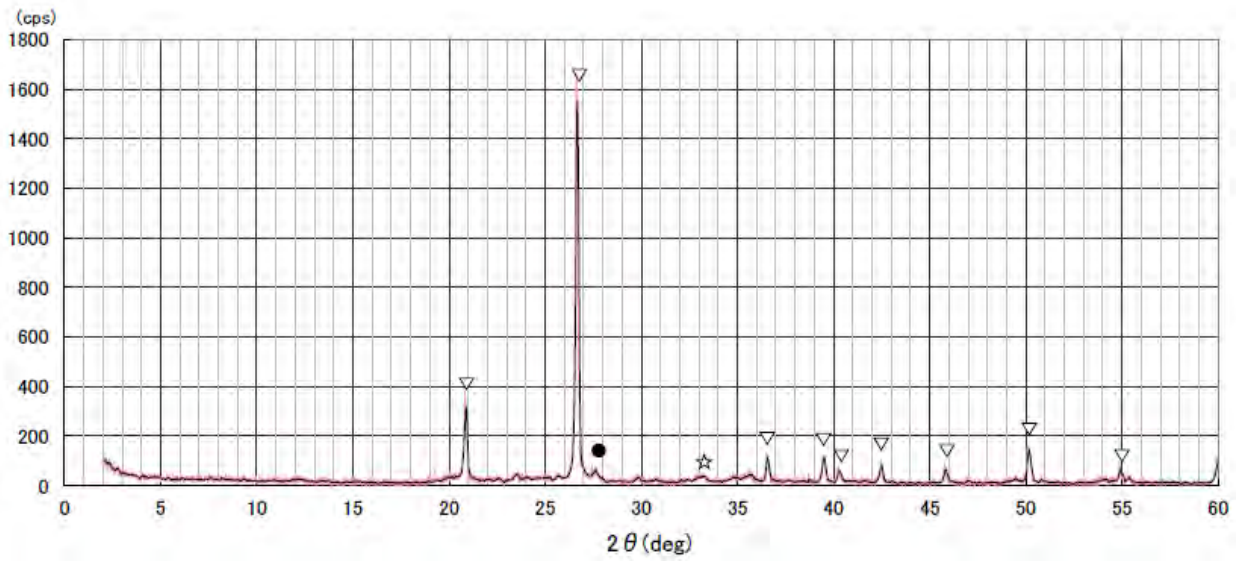


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: $\text{CuK}\alpha$ /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: $5/8^\circ$	Scan axis	: $2\theta / \theta$
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: $2.00 \sim 40.00^\circ$
Scattering slit	: $5/4^\circ$		

●: Feldspar, ○: Smectite

2015052801-X

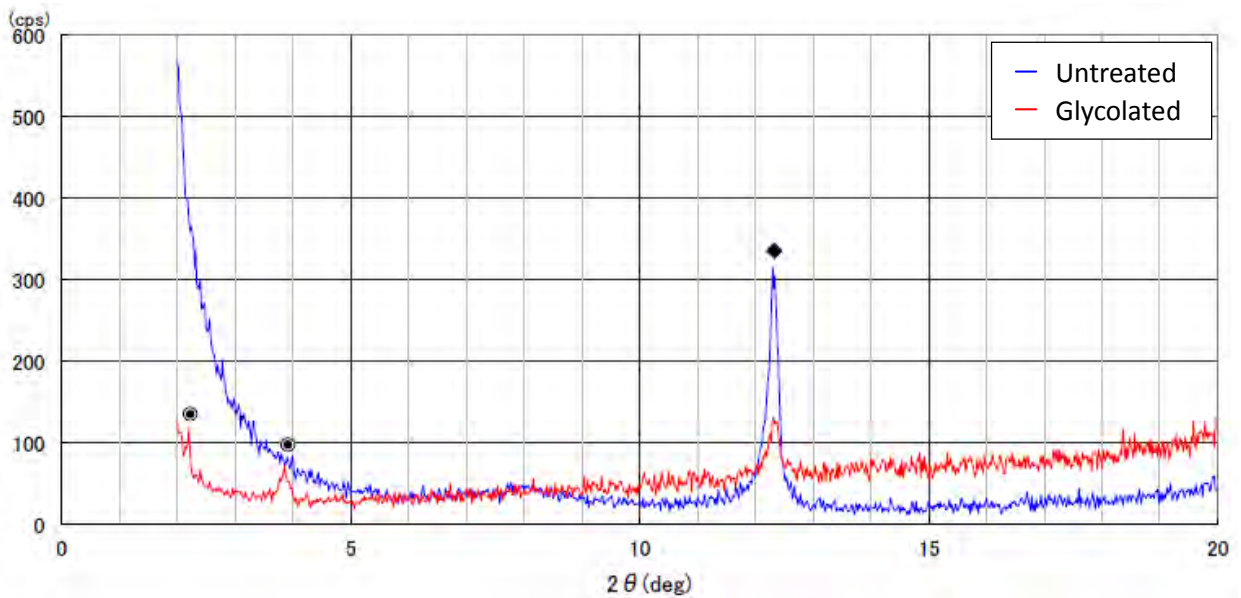
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ☆: Pyrite

[Oriented]

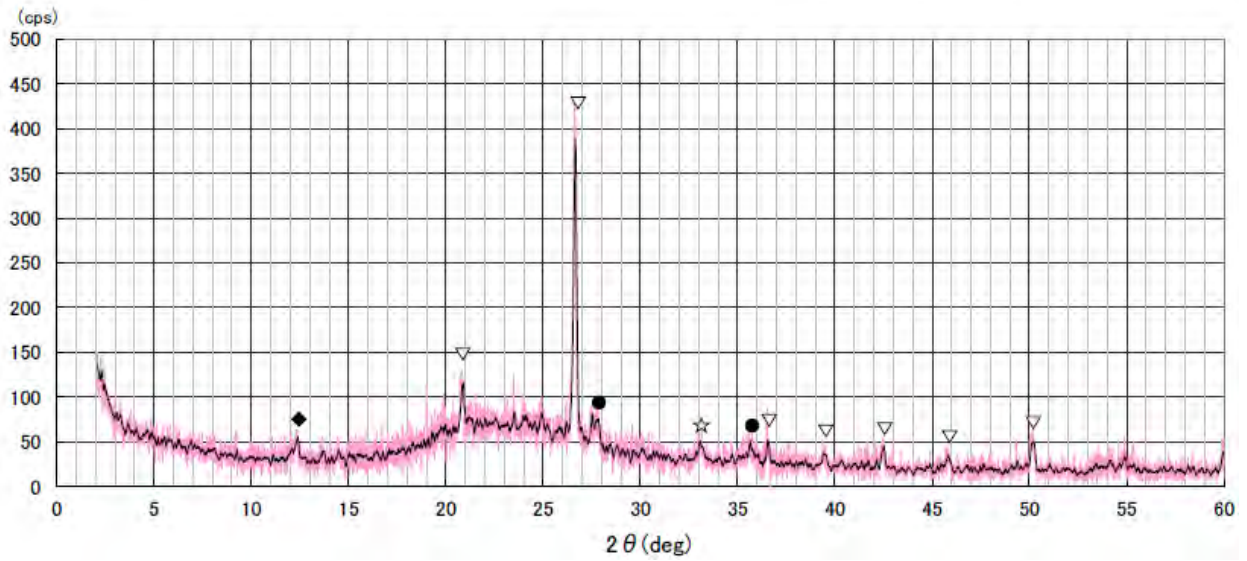


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ⊙: Mixed Layer

2015052802-X

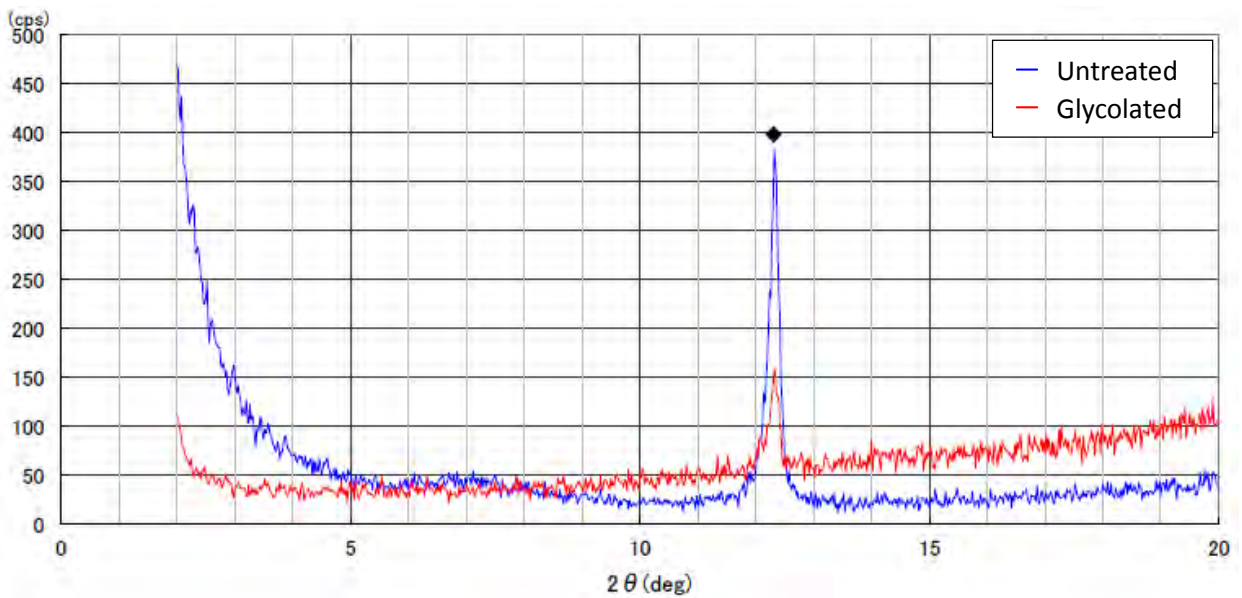
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ◆: Kaolinite, ☆: Pyrite

[Oriented]

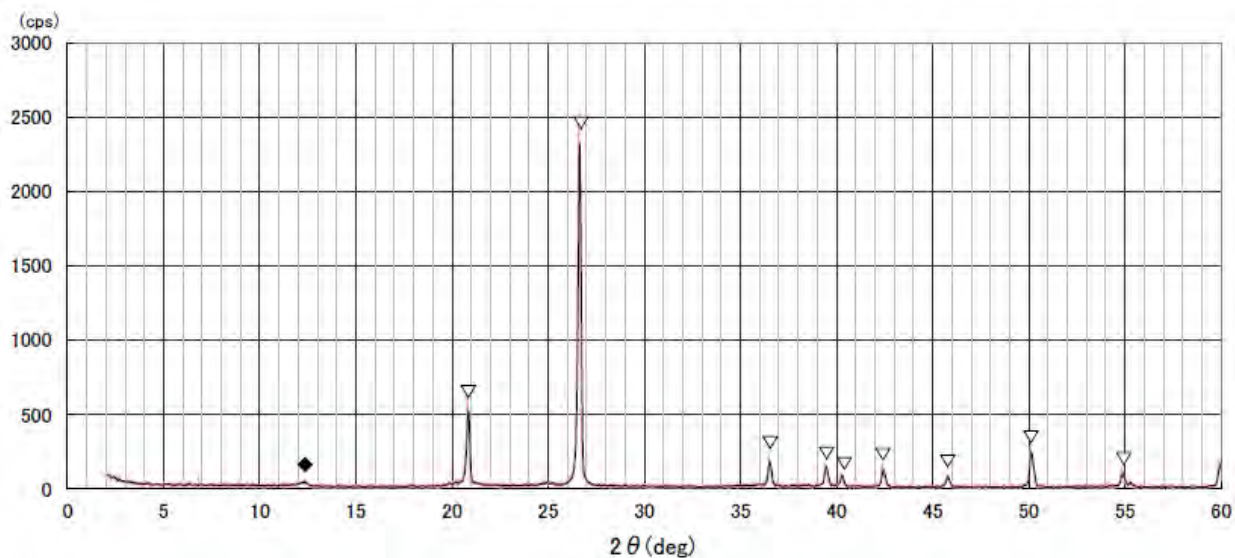


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite

2015052803-X

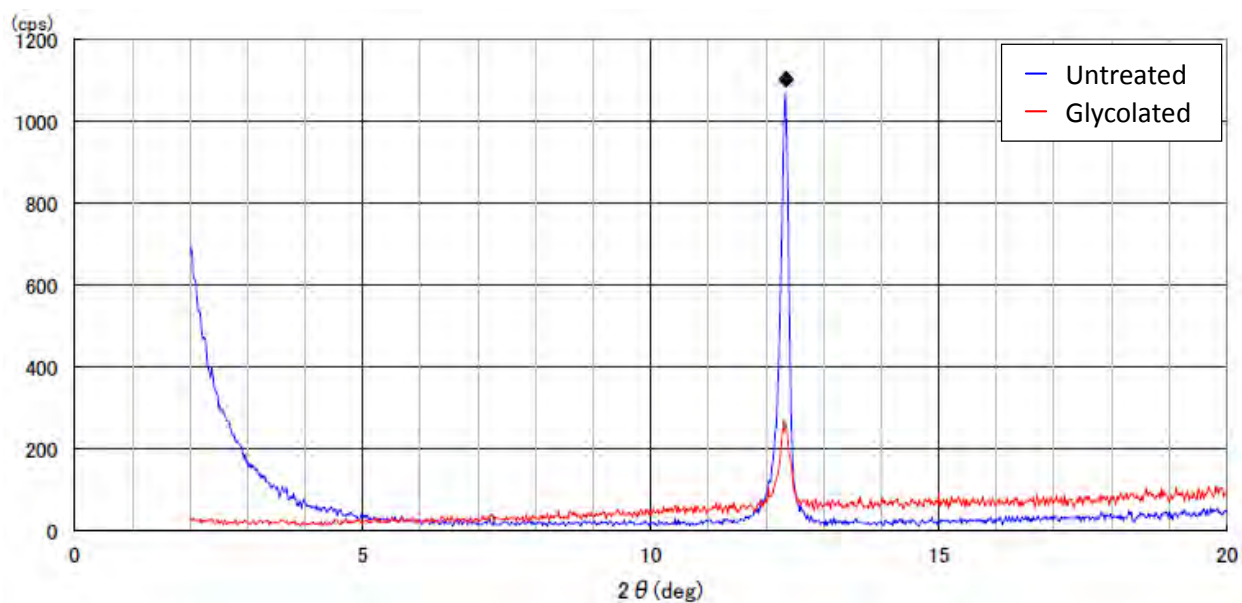
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ◆: Kaolinite

[Oriented]

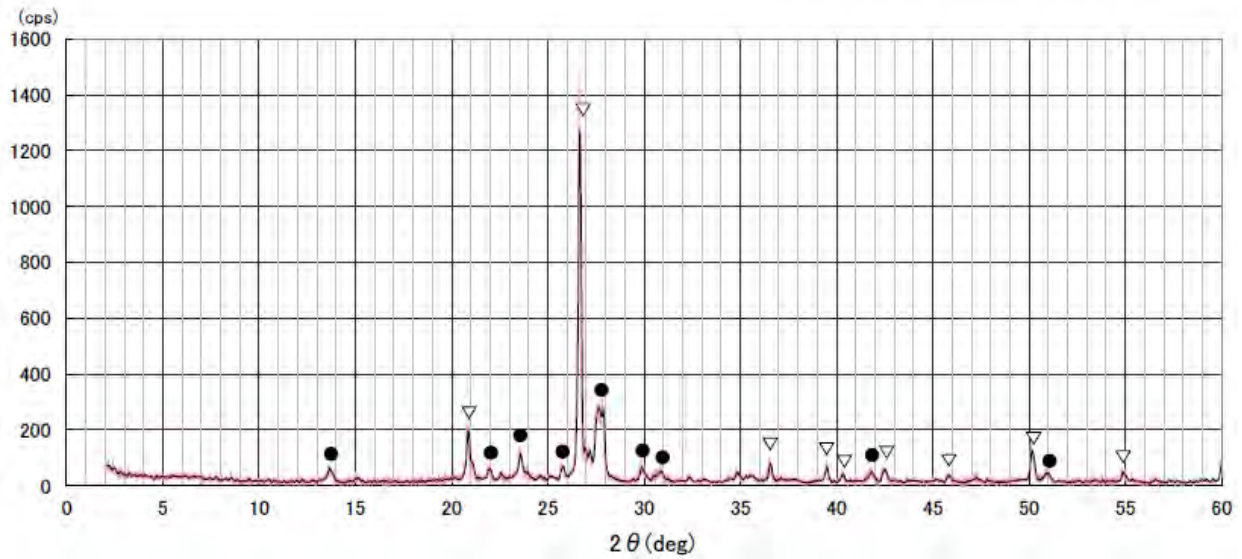


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite

2015052804-X

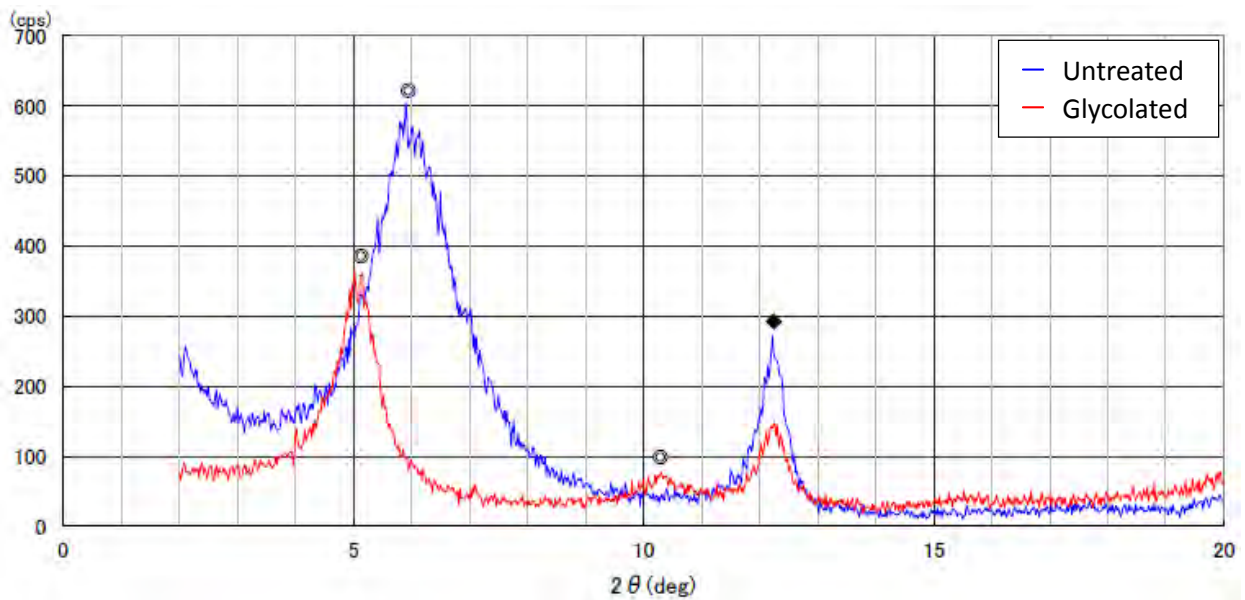
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ◆: Kaolinite

[Oriented]

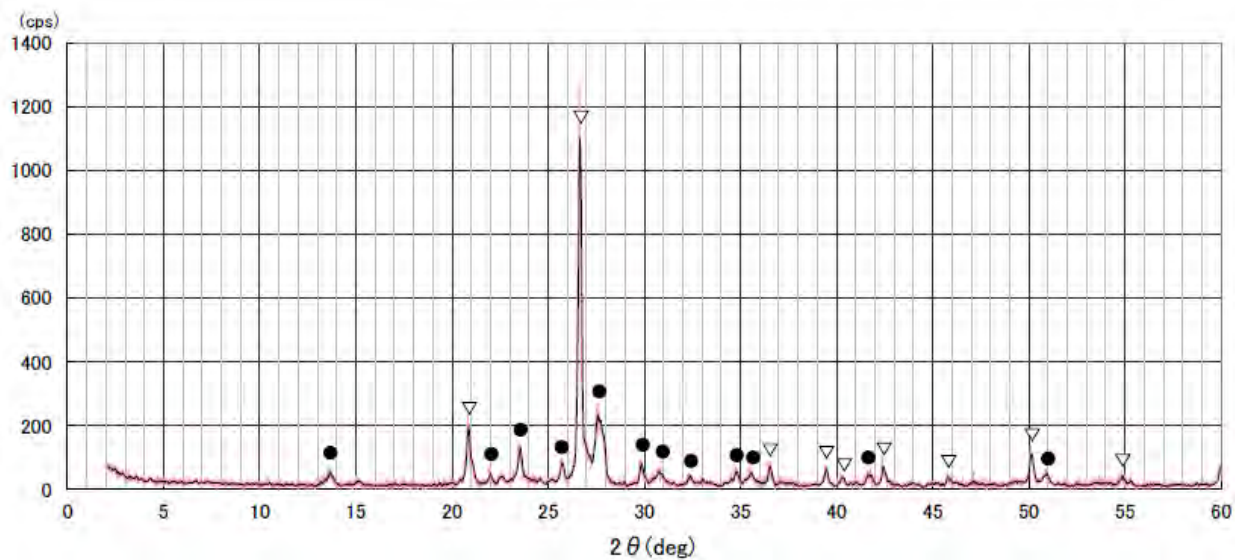


Measurement data	: 2015/8/14	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ◎: Smectite

2015052805-X

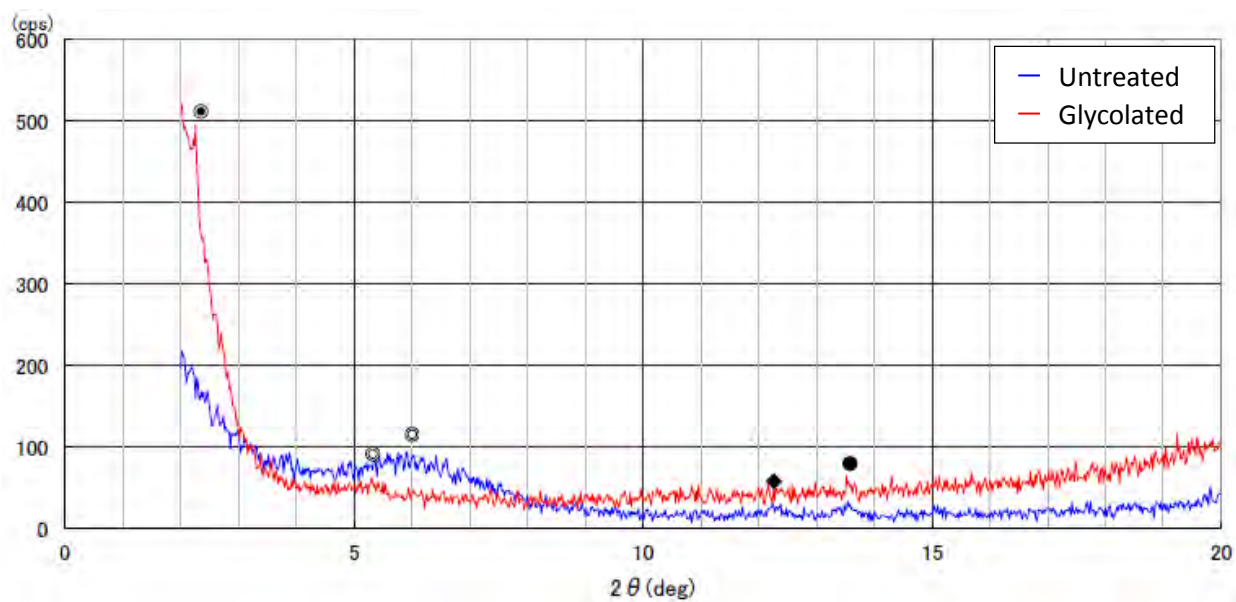
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar

[Oriented]

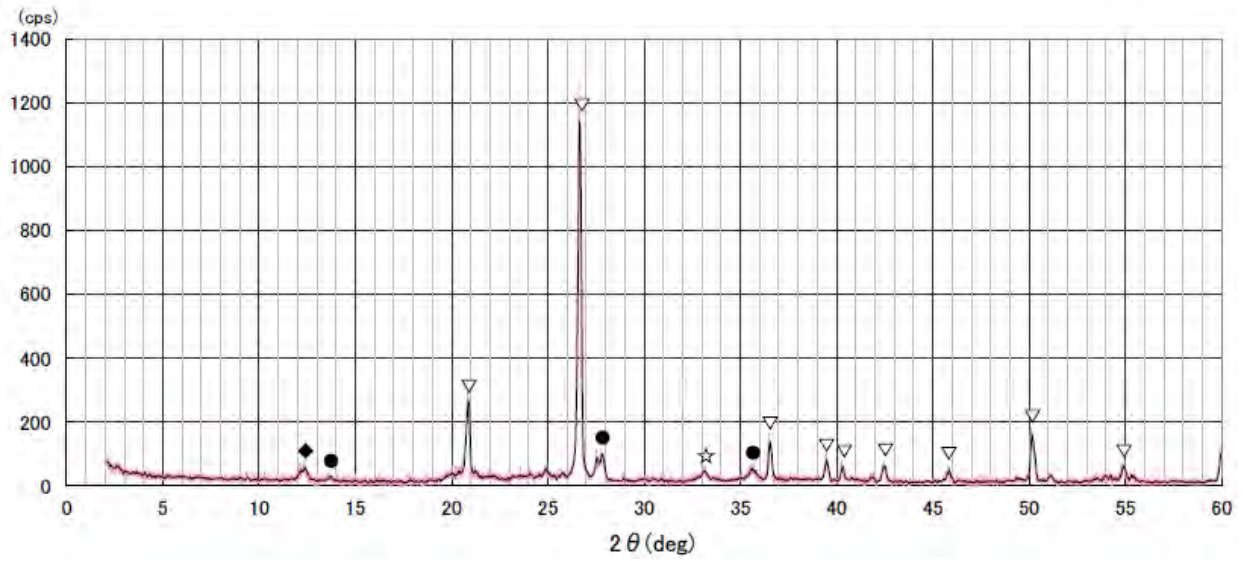


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ◆: Kaolinite, ⊙: Smectite, ⊖: Mixed Layer

2015052806-X

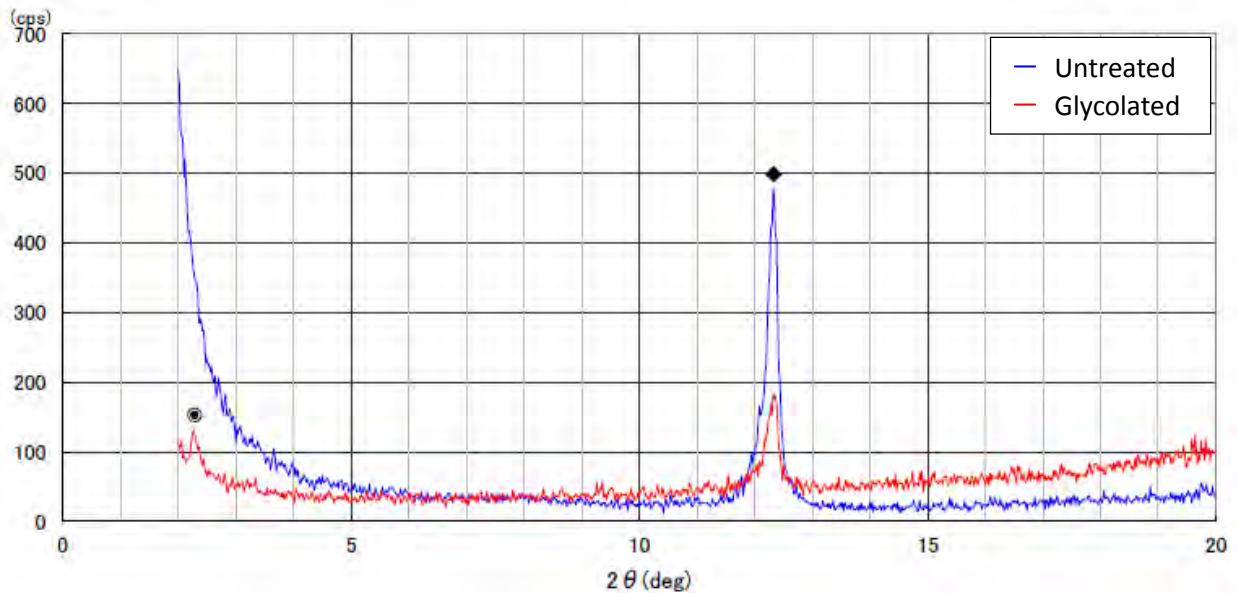
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ◆: Kaolinite, ☆: Pyrite

[Oriented]

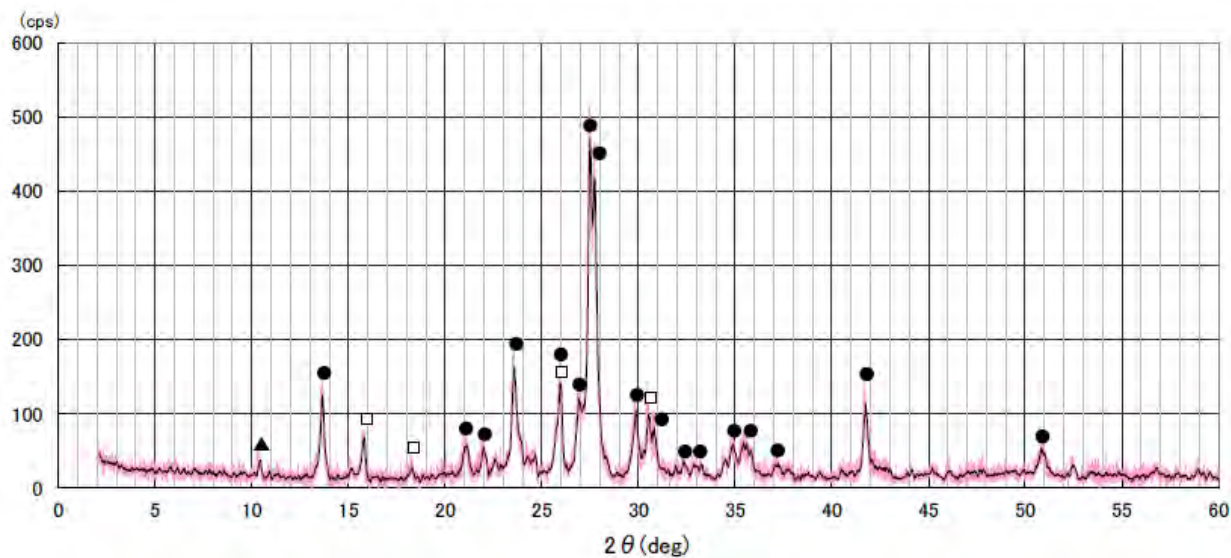


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ⊙: Mixed Layer

2015052807-X

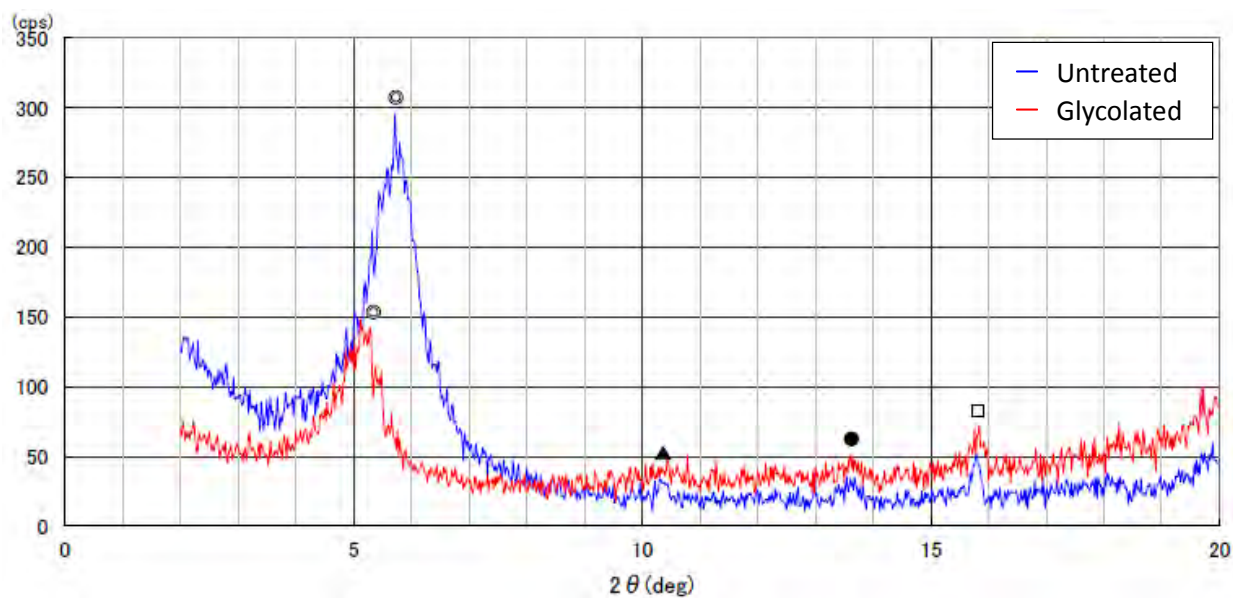
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ▲: Hornblende, □: Analcime

[Oriented]

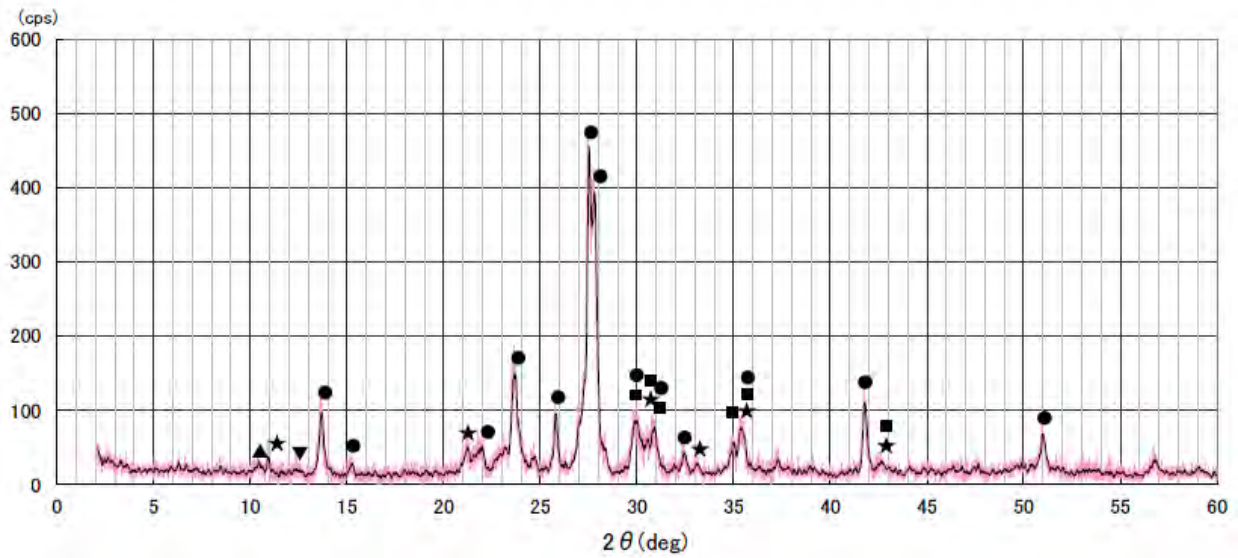


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ▲: Hornblende, □: Analcime, ⊙: Smectite

2015052901-X

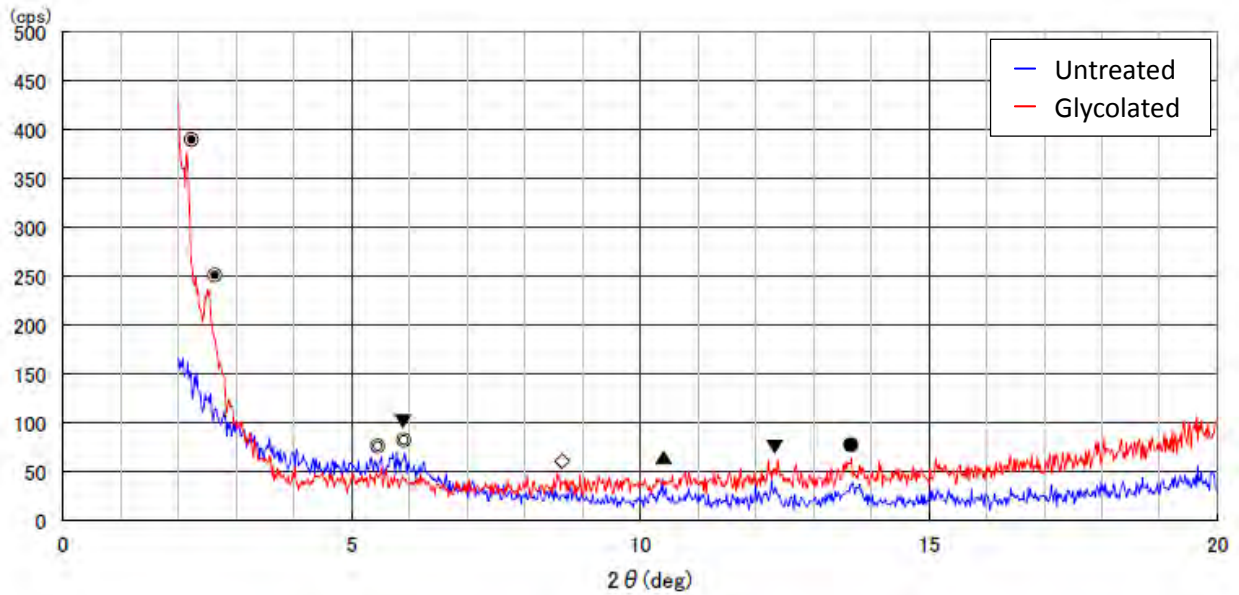
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ▲: Hornblende, ■: Clinopyroxene, ★: Aenigmatite, ▼: Chlorite

[Oriented]

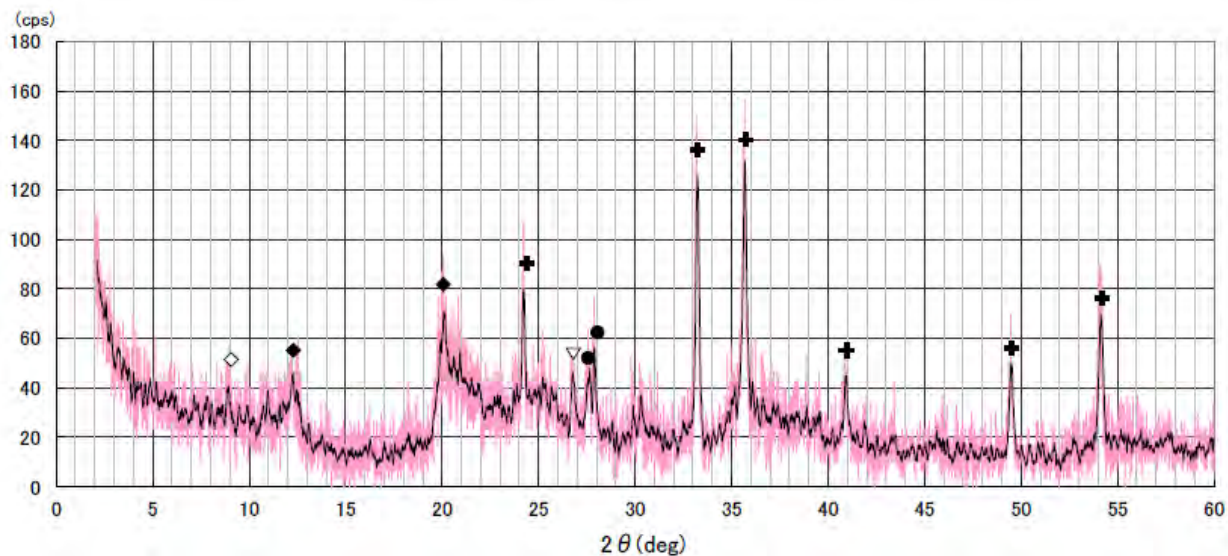


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ▲: Hornblende, ◇: Illite, ▼: Chlorite, ⊙: Smectite, ⊙: Mix Layer

2015053001-X

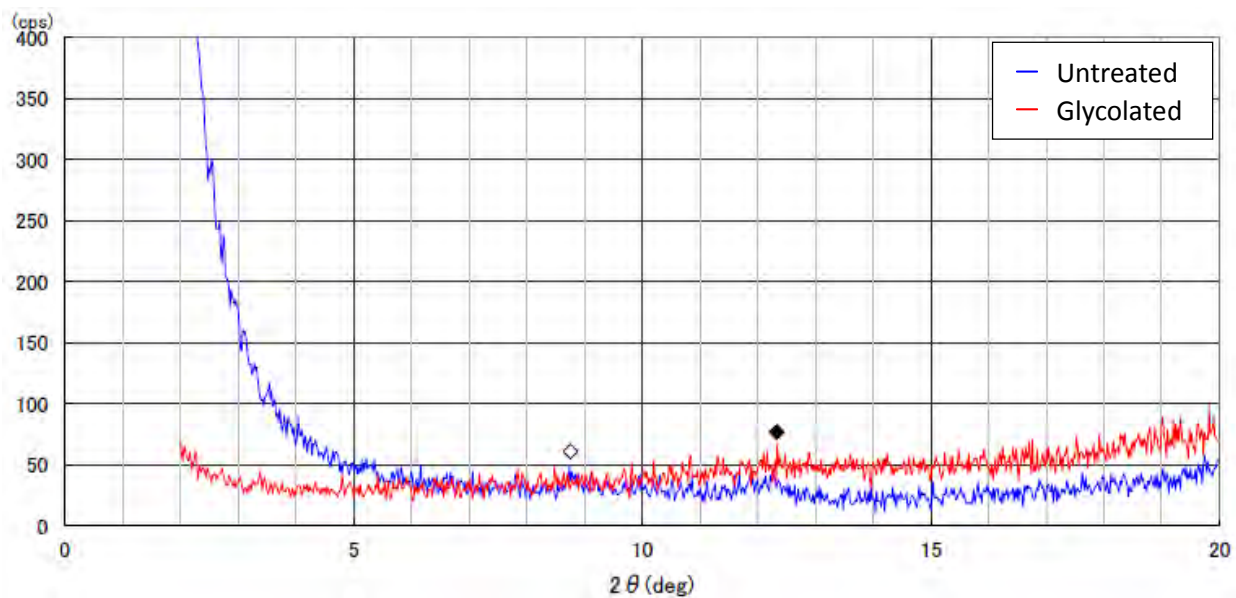
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ◇: Mica, ◆: Kaolinite, +: Ilmenite

[Oriented]

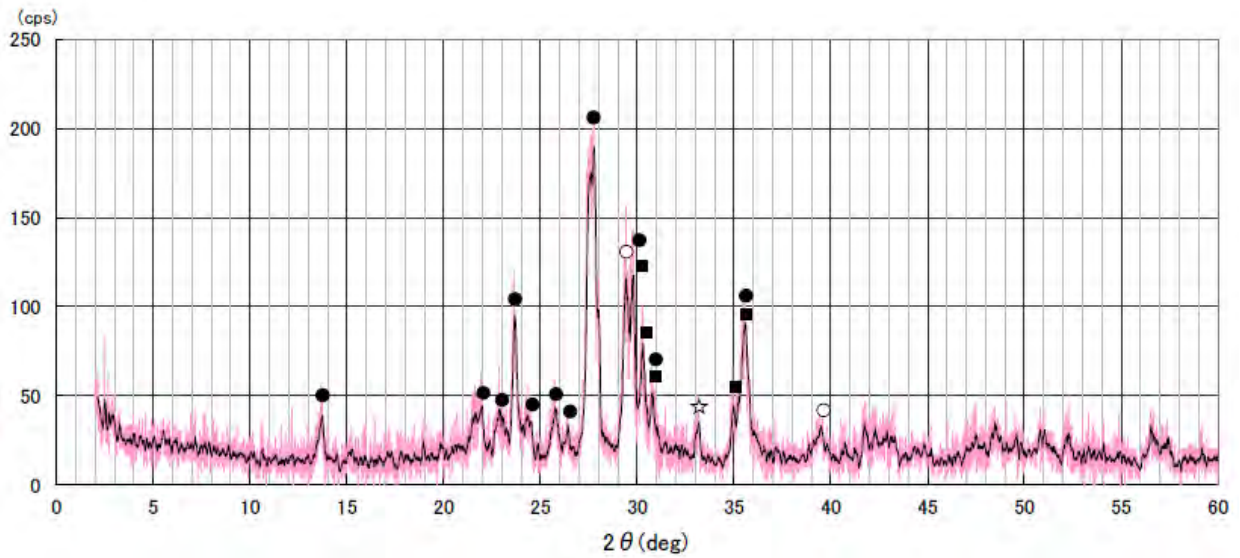


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◇: Illite, ◆: Kaolinite

2015053003-X

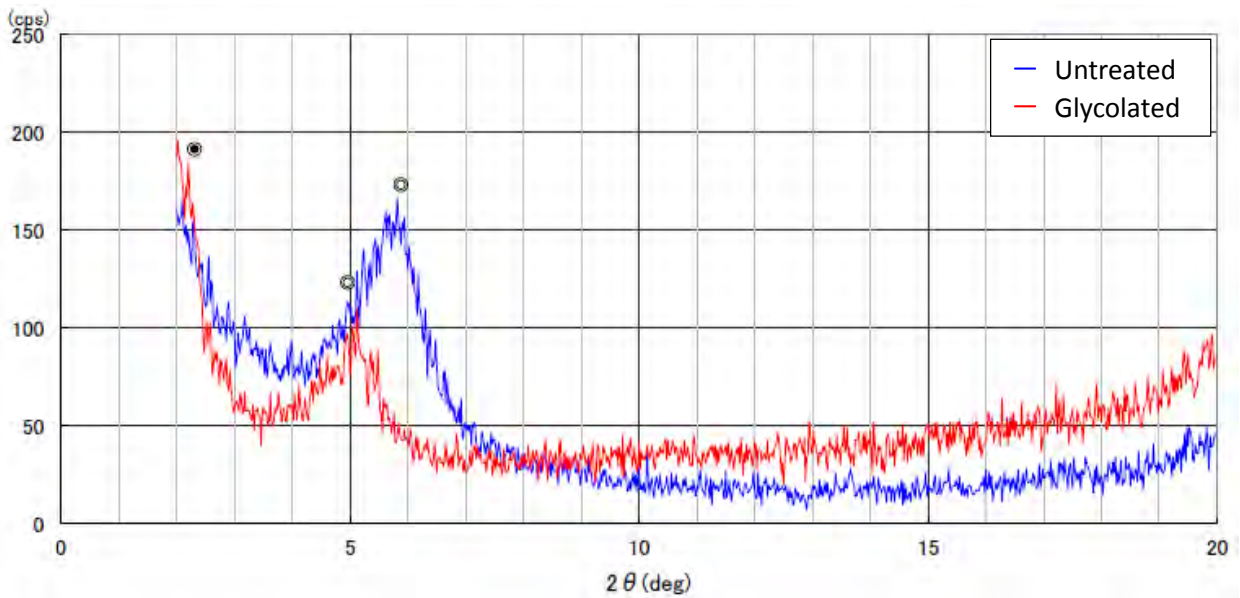
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ■: Clinopyroxene, ○: Calcite, ☆: Pyrite

[Oriented]

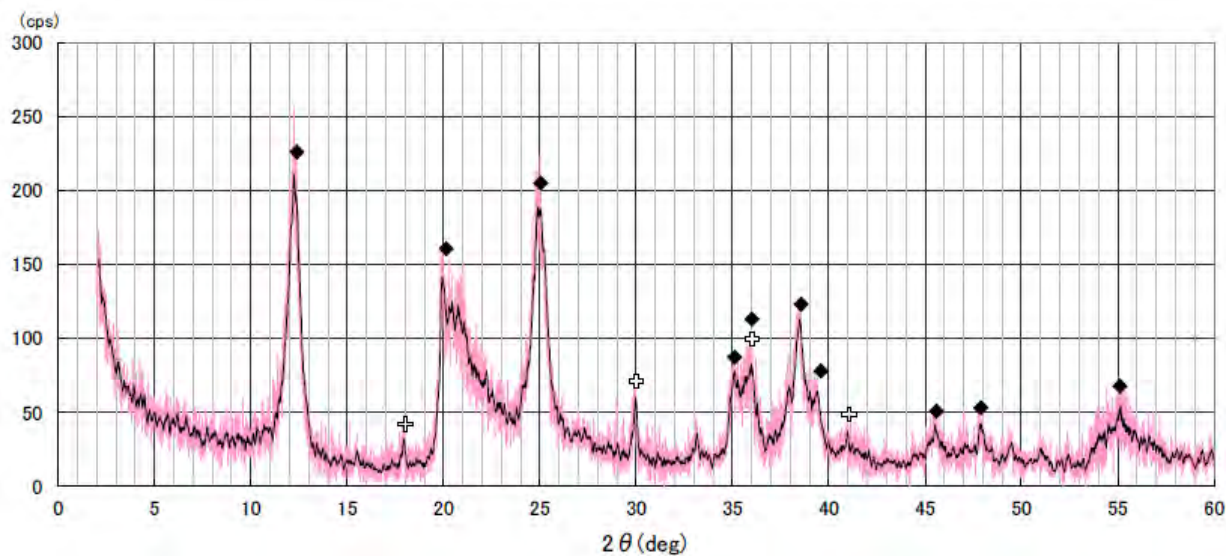


Measurement data	: 2015/8/17	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

⊙: Smectite, ⊙: Mix Layer

2015053004-X

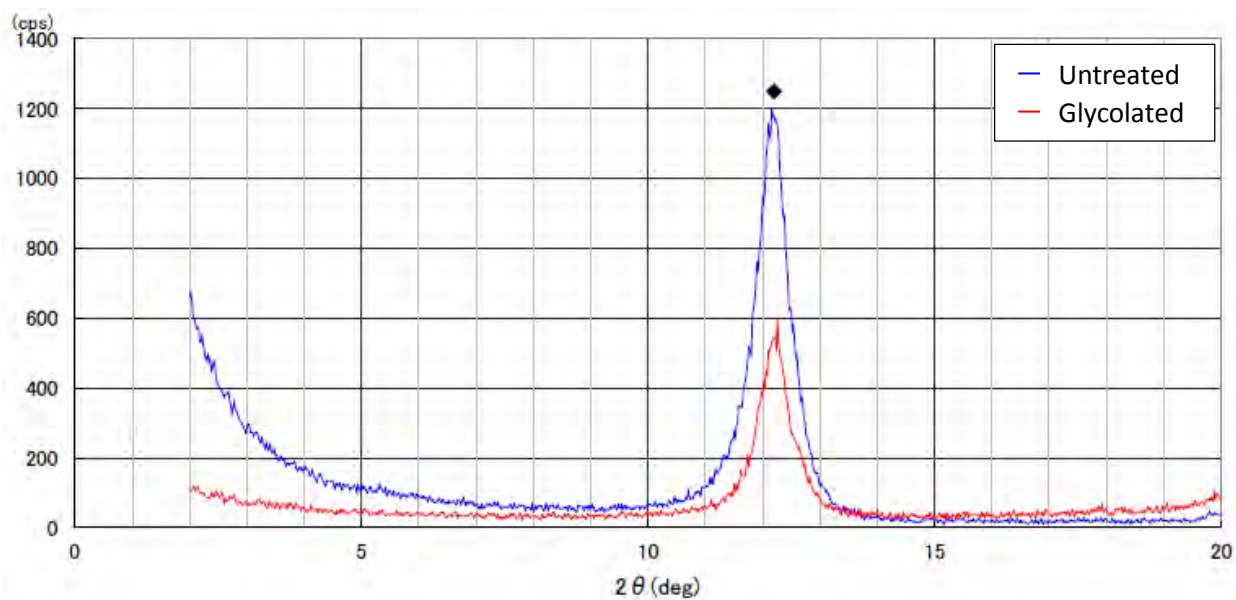
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, +: Heterosite

[Oriented]

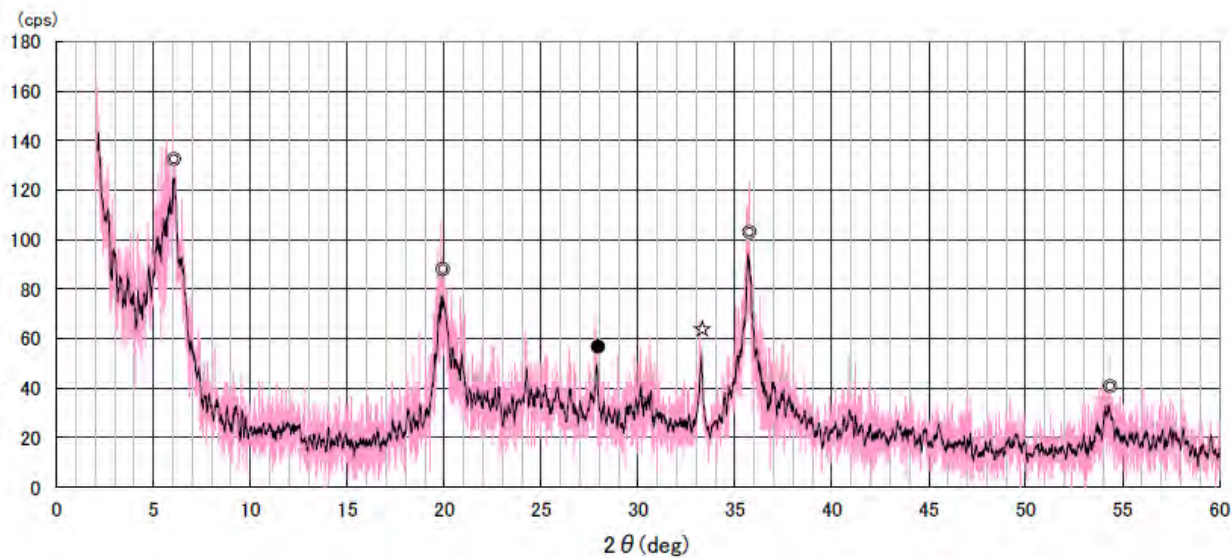


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite

2015053005-X

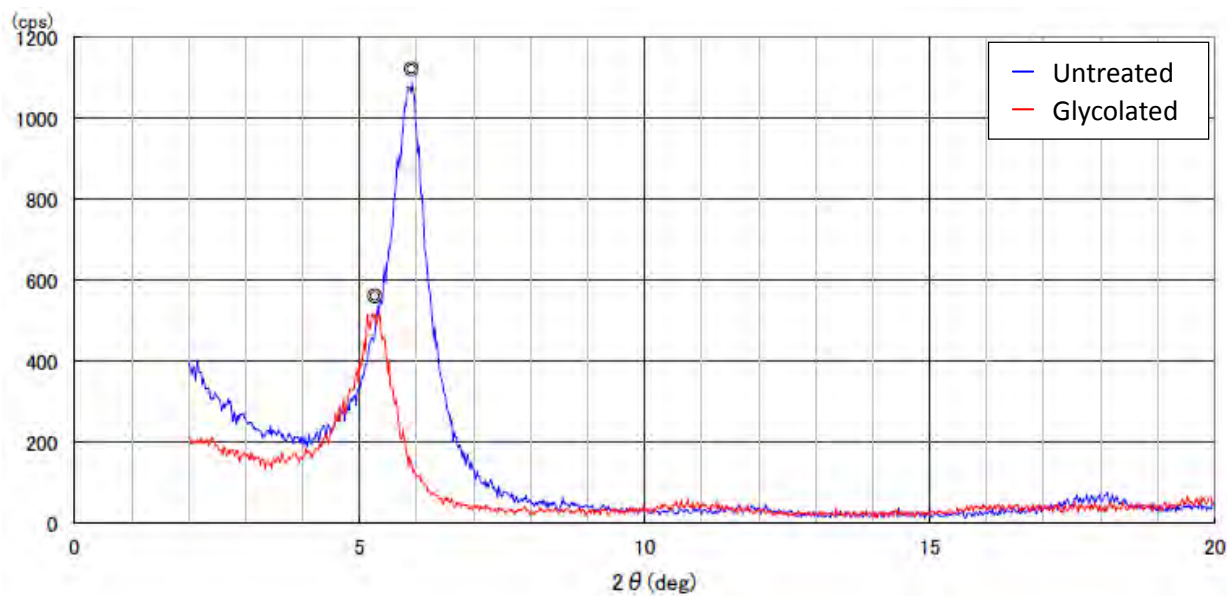
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ◎: Smectite, ☆: Pyrite

[Oriented]

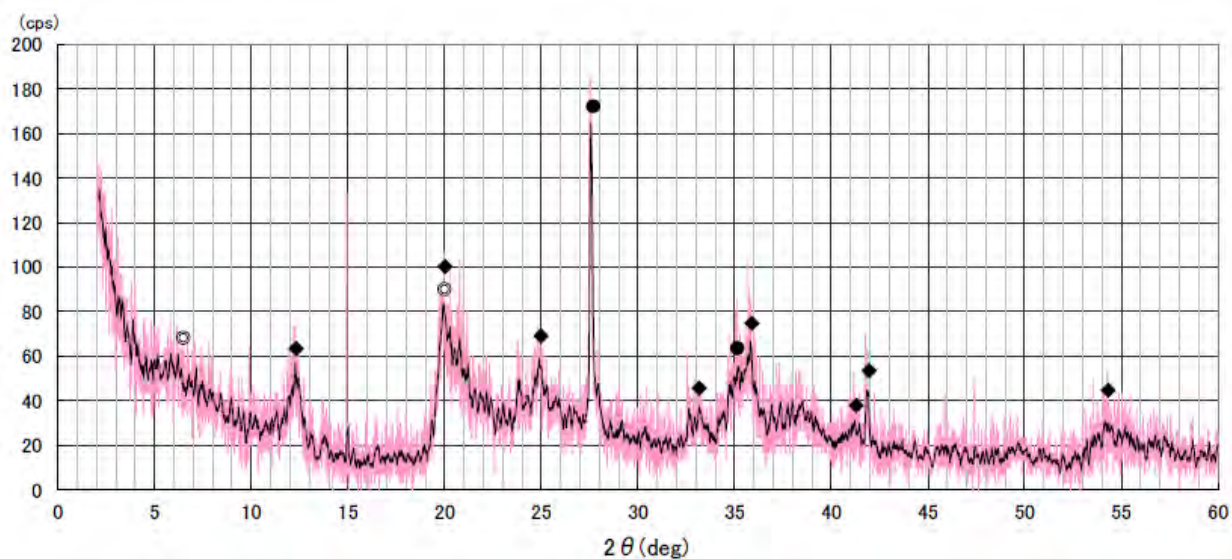


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◎: Smectite

2015060102-X

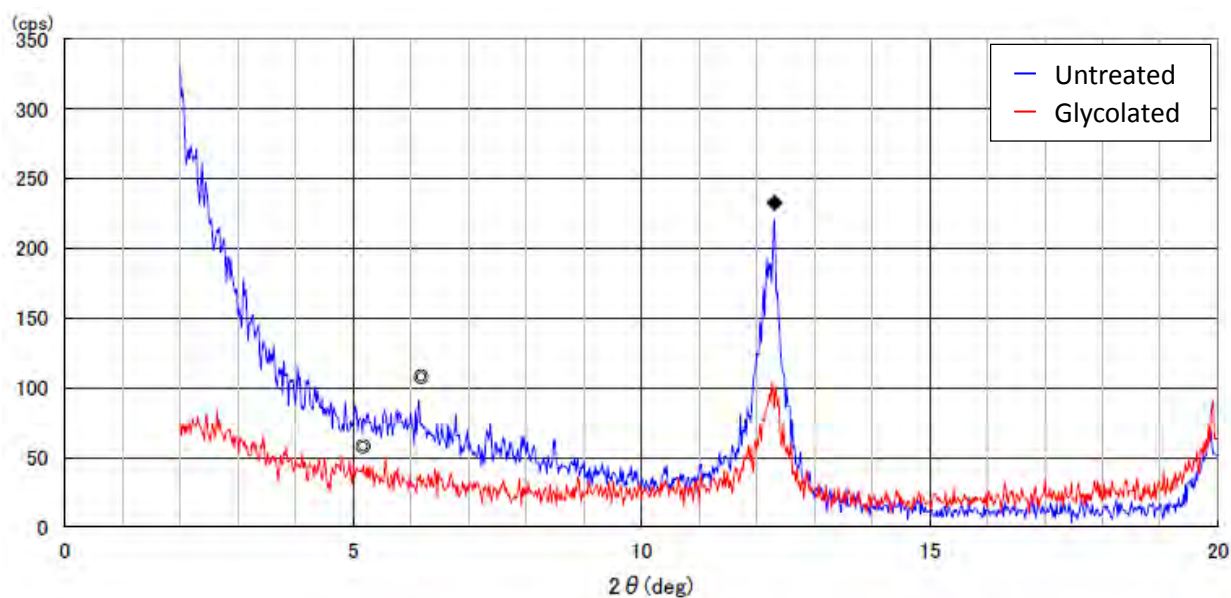
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ◆: Kaolinite, ⊙: Smectite

[Oriented]

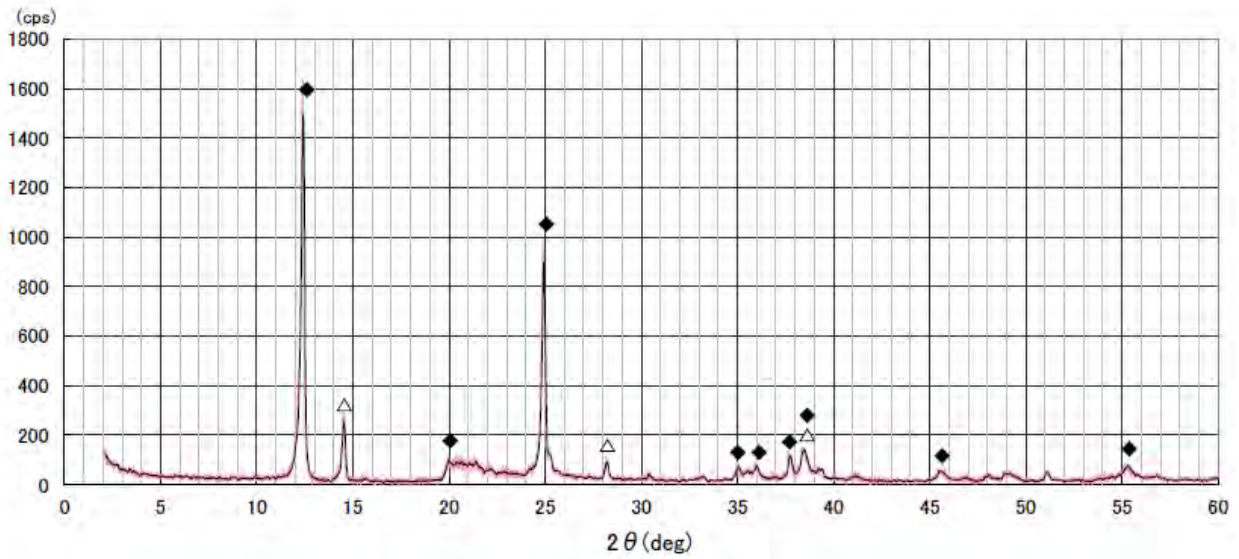


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ⊙: Smectite

2015060103-X1

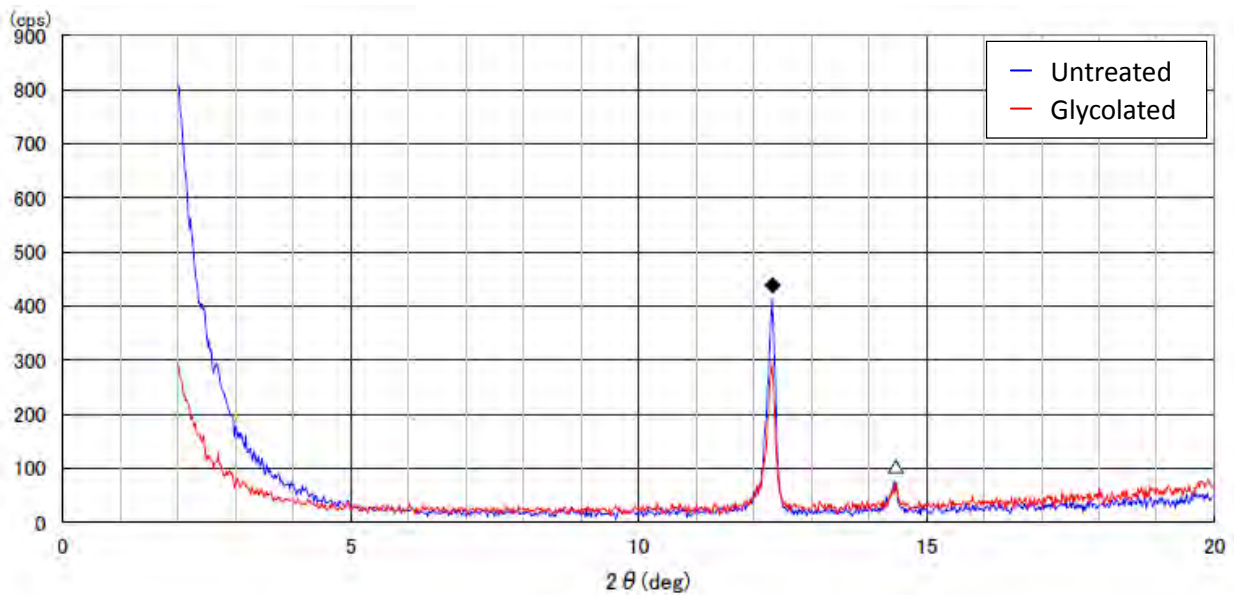
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, △: Boehmite

[Oriented]

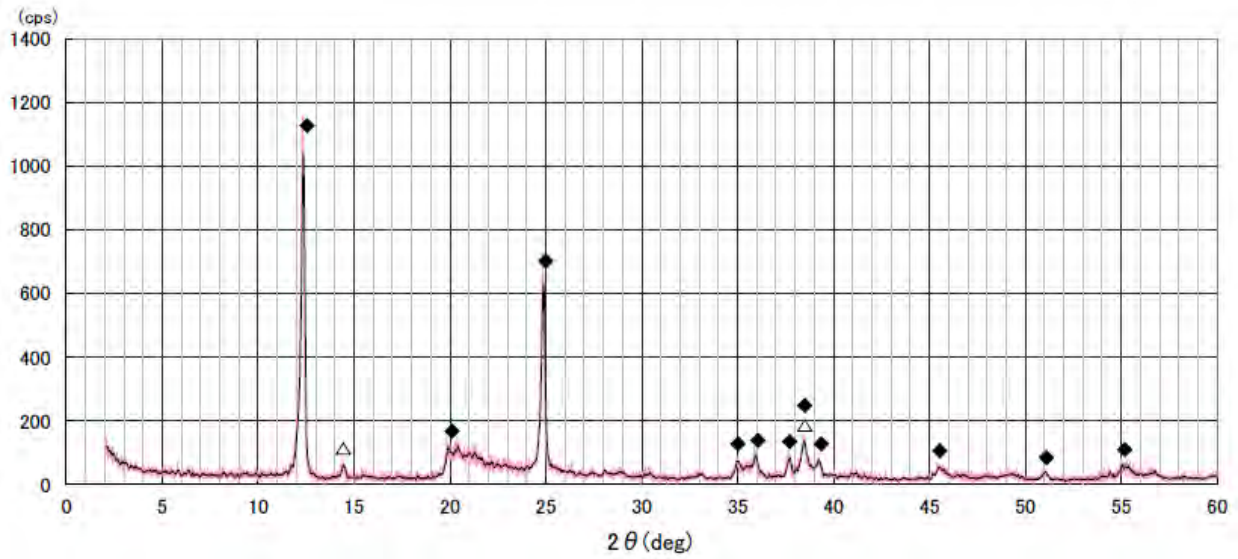


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, △: Boehmite

2015060103-X2

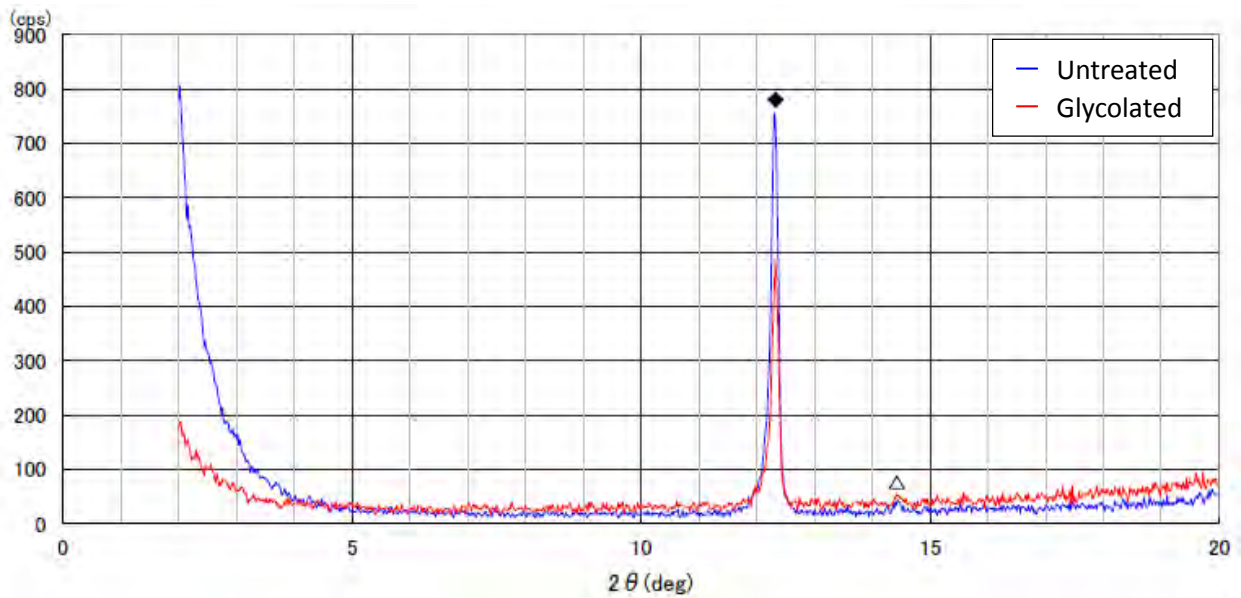
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, △: Boehmite

[Oriented]

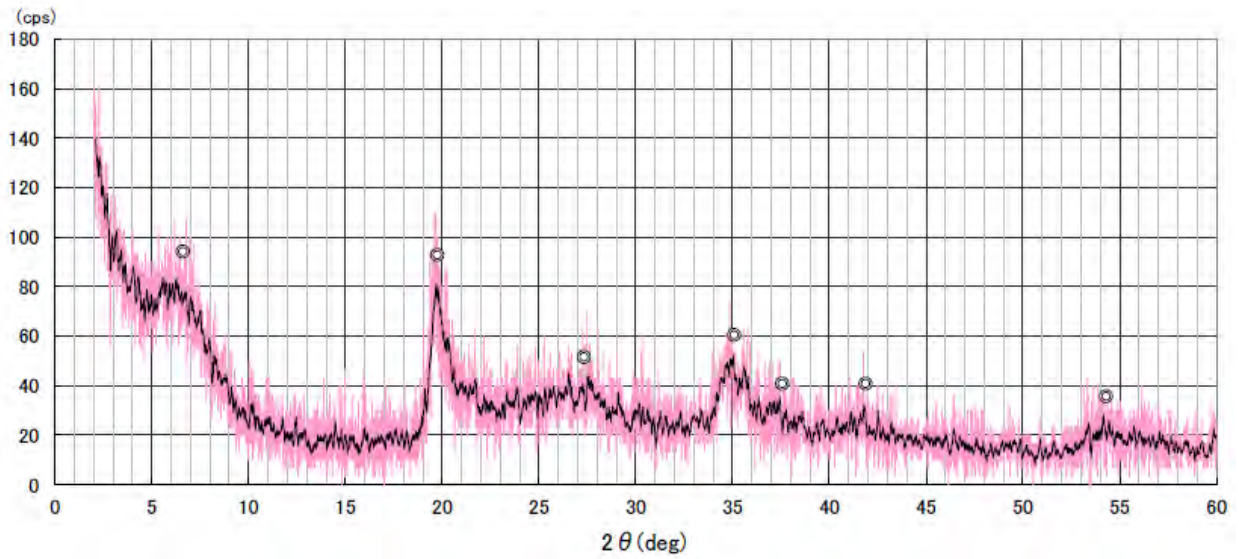


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, △: Boehmite

2015060105-X

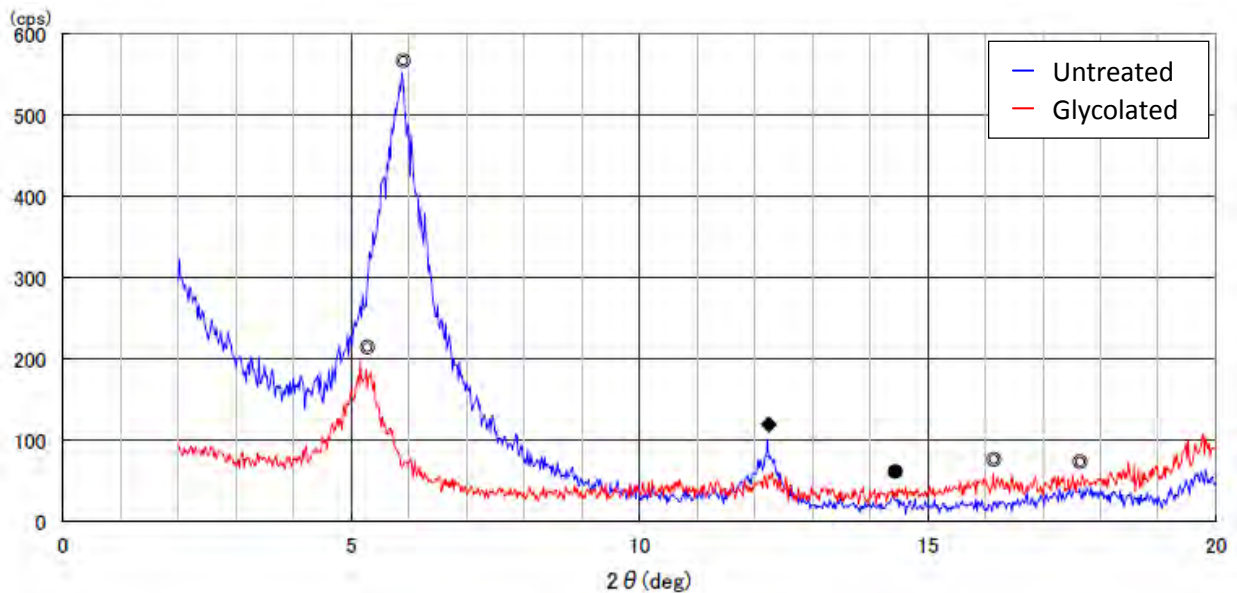
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◎: Smectite

[Oriented]

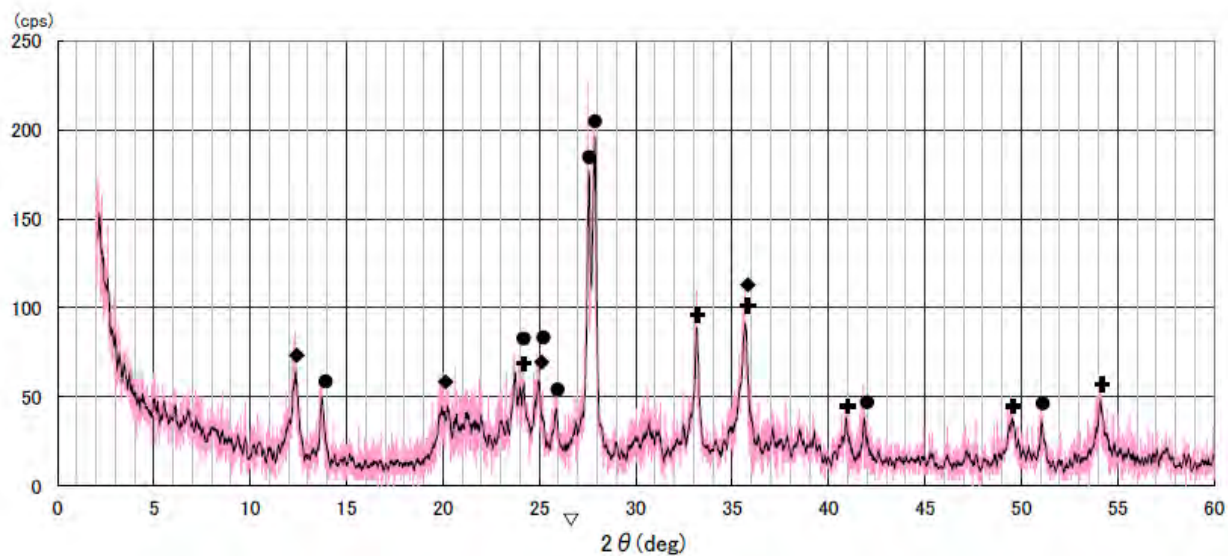


Measurement data	: 2015/8/18	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ◆: Kaolinite, ◎: Smectite

2015060201-X

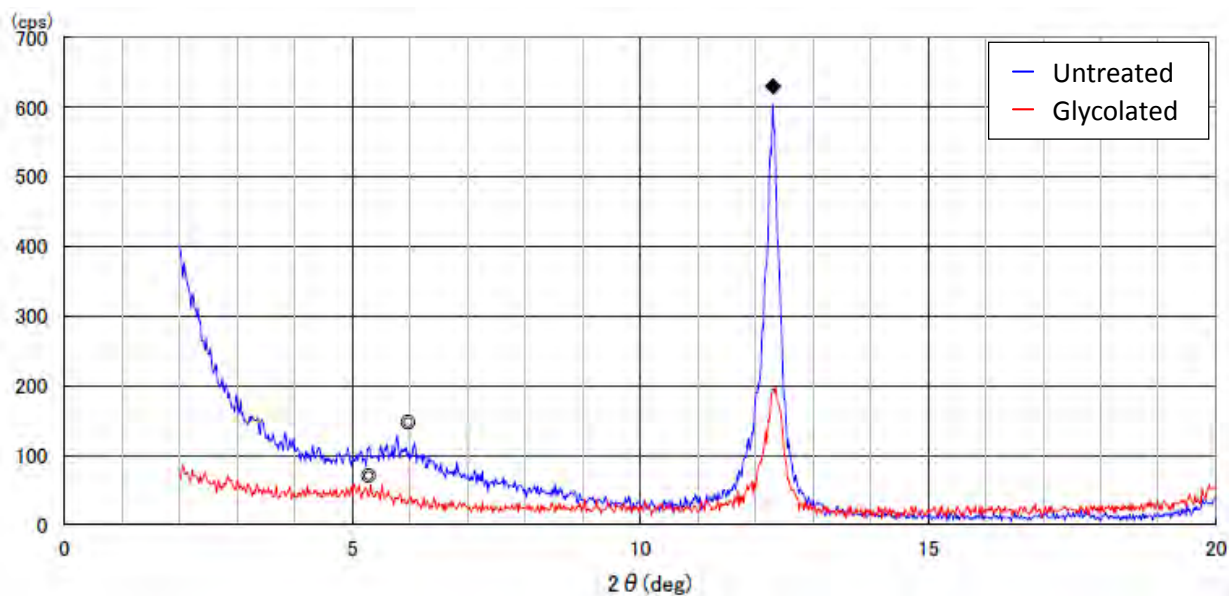
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

●: Feldspar, ◆: Kaolinite, +: Ilmenite

[Oriented]

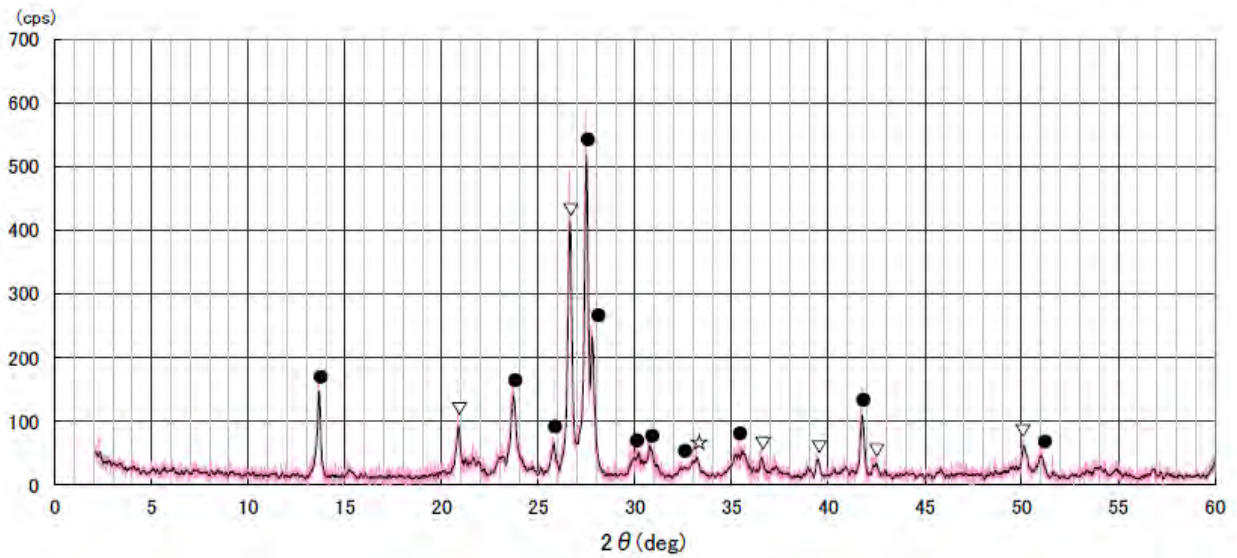


Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ⊙: Smectite

2015060203-S2

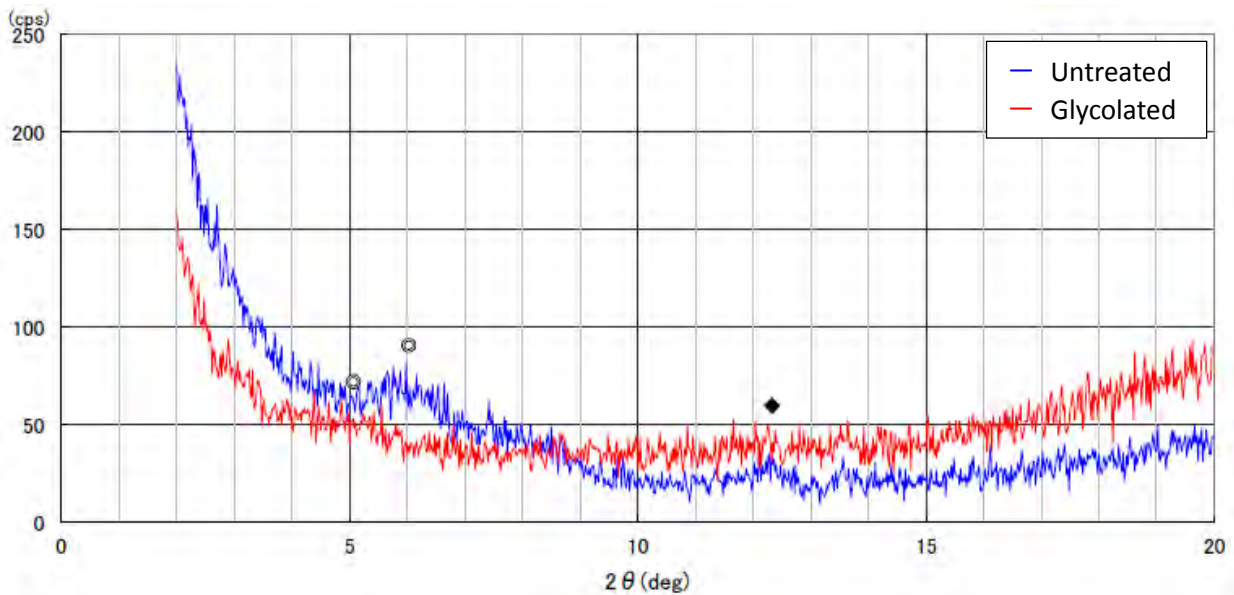
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ☆: Pyrite

[Oriented]

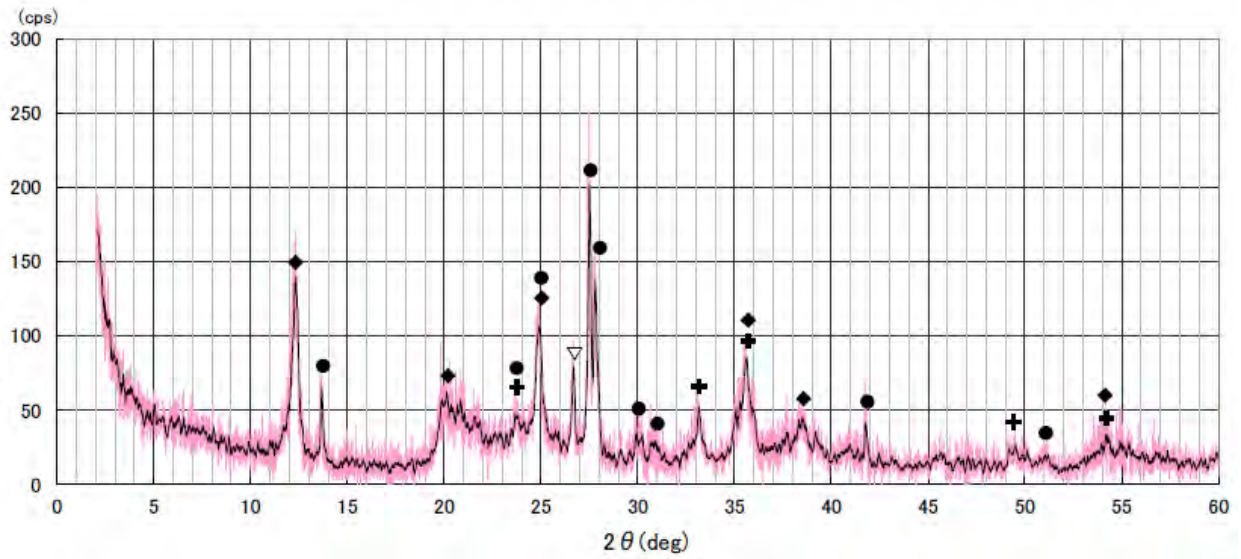


Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ◎: Smectite

2015060203-S2

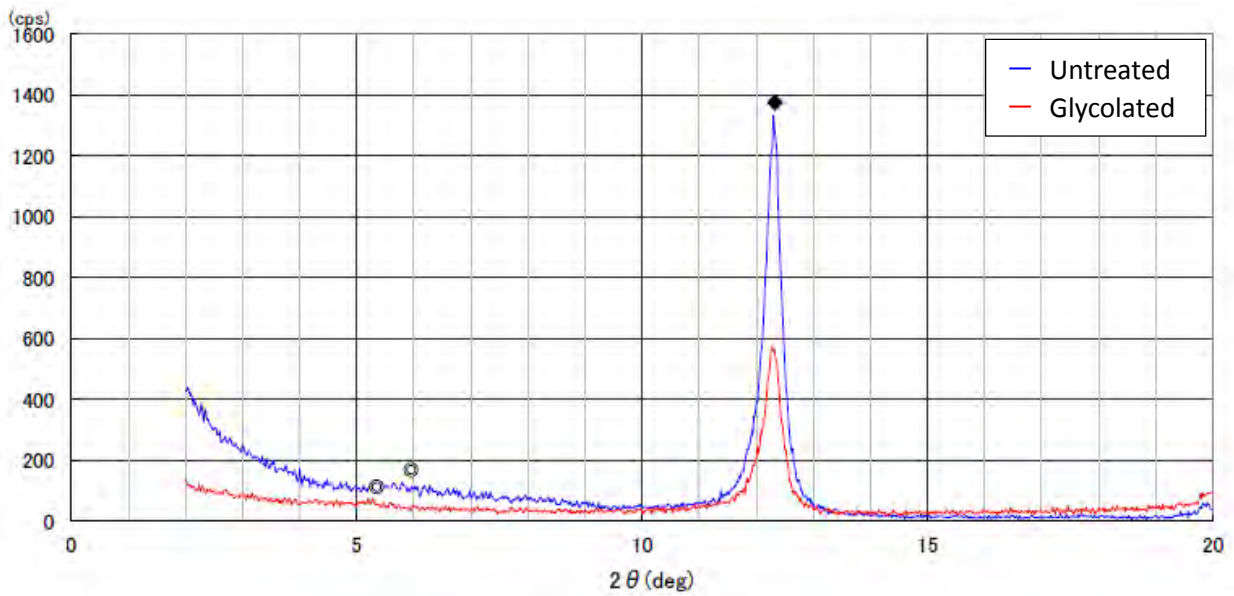
[Whole Rock]



Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

▽: Quartz, ●: Feldspar, ◆: Kaolinite, +: Ilmenite

[Oriented]



Measurement data	: 2015/8/19	Scan speed	: 2.0° /min
Incident X-ray	: CuK α /30kV/15mA	Sampling width	: 0.01°
Divergence slit	: 5/8°	Scan axis	: 2 θ / θ
Emission slit	: 0.3mm	Scanning range	: 2.00~40.00°
Scattering slit	: 5/4°		

◆: Kaolinite, ◎: Smectite