

ケニア共和国  
地熱開発のための能力向上プロジェクト  
詳細計画策定調査報告書

平成25年7月  
(2013年)

独立行政法人国際協力機構  
産業開発・公共政策部

産公
J R
13-140



ケニア共和国  
地熱開発のための能力向上プロジェクト  
詳細計画策定調査報告書

平成25年7月  
(2013年)

独立行政法人国際協力機構  
産業開発・公共政策部



# 目 次

地 図  
略語表

第1章 調査概要	1
1-1 調査の背景	1
1-2 調査の目的	1
1-3 調査団構成	2
1-4 調査日程	3
第2章 ケニアの政策・制度	5
2-1 ケニアのエネルギー政策〔Vision2030、最小費用電源開発計画（LCPDP）概要〕	5
2-2 ケニアの地熱開発政策（電力開発計画から地熱部分の概要）	9
2-3 地熱資源状況	12
2-4 環境影響評価制度・許認可手続き	20
2-4-1 環境基準及び排出基準	20
2-4-2 自然環境保全	21
2-4-3 森林保全	21
2-4-4 文化遺産	22
2-4-5 環境保全に関する国際条約の批准状況	22
2-4-6 水利用に係る制度	22
2-4-7 住民移転・用地取得に係る制度	22
2-4-8 環境影響評価	22
第3章 GDC の計画	24
3-1 GDC の地熱開発政策（GDC の全体計画について）	24
3-2 GDC の現状・問題点	30
3-2-1 掘削	30
3-2-2 探査・貯留層評価	49
3-2-3 環境社会配慮	59
3-3 GDC に対する他ドナーの支援	60
3-4 GDC の開発予定地の環境社会状況（予備的スコーピング含む）	61
3-4-1 開発予定地の環境影響評価実施状況	68
3-4-2 スクリーニング及びカテゴリ分類	72
3-4-3 予備的スコーピング	72
3-5 GDC に対して必要な協力内容	75
3-5-1 モジュール A	76
3-5-2 モジュール B	76
3-5-3 モジュール C	85

3-5-4	モジュール D	85
3-5-5	モジュール E	87
第4章	事前評価	89
4-1	評価結果総括	89
4-2	妥当性	89
4-2-1	ケニアの上位政策に係る妥当性	89
4-2-2	直接・間接裨益者（ターゲット・グループ）のニーズに係る妥当性	90
4-2-3	日本の対ケニア援助政策に係る妥当性	90
4-2-4	他ドナーの援助に係る妥当性	90
4-3	有効性	91
4-3-1	プロジェクト目標の達成による上位目標の達成の見込み	91
4-3-2	プロジェクトのアウトプットによるプロジェクト目標の達成の見込み	91
4-4	効率性	92
4-5	インパクト	93
4-6	持続性	93
付属資料		
1.	要請書	97
2.	Minutes of Meeting (M/M)	111
3.	Record of Discussions (R/D)	129
4.	事業事前評価表	144
5.	面談者リスト	152
6.	収集資料リスト	153

地 図



出所：CIA The World Factbook

ケニア共和国





## 略 語 表

略 語	正式名称	日本語（または説明）
EPP	Emergency Power Producers (EPPs)	緊急時発電事業者
ERB	Energy Regulation Board	電力規制委員会
ERC	Energy Regulatory Commission	エネルギー規制庁
ERS	Economic Recovery Strategy for Wealth and Employment Creation	経済再生戦略
ESIA	Environmental and Social Impact Assessment	環境社会影響評価
FIT	Feed in Tariff	固定価格買取制度
F/S	Feasibility Study	事業性調査
GDC	Geothermal Development Company	地熱開発公社
GManager	(Geothermal Energy New Zealand Limited	が開発商品化した地熱データベース)
GRA	Geothermal Resources Act	地熱資源法
GWDC	Greatwall Drilling Company	中国石油長城掘削工程公司
HSE	Health Safety and Environment	保健衛生・安全及び環境
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業者
KenGen	Kenya Generation Company	ケニア電源開発会社
KETRACO	Kenya Electricity Transmission Colt	ケニア送電公社
KPLC	Kenya Power and Lighting Company	ケニア送配電会社
LCPPD	Least Cost Power Development Plan	最小費用電源開発計画
NEMA	National Environment Management Authority	国家環境管理庁
MRV	Monitoring-Reporting and Verification	モニタリング・レポーティング・検証（温室効果ガスの排出削減の実施の方法論）
NEPC	Nuclear Electricity Project Committee	原子力発電計画委員会
ODLC	Oserian Development Company Ltd	Oserian 開発会社
OPIC	Overseas Private Investment Corporation	海外民間投資会社
Peak demand		電力尖頭負荷
PPA	Power Purchase Agreement	電力購入契約
PTDC	China Petroleum Technology and Development Corporation	中国石油技術開発公司
RAP	Resettlement Action Plan	住民移転計画
SSA	Steam Sales Agreement	蒸気供給契約
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	国連気候変動枠組条約



# 第1章 調査概要

## 1-1 調査の背景

ケニア共和国（以下、「ケニア」と記す）の電力開発計画である「最少費用電源開発計画（Least Cost Power Development Plan：LCPDP）」によると、ピーク電力需要は2010年の1,227MWから、20年後には12,738～22,985MWに増加すると予測されている。これに対し、2010年の総発電容量は約1,400MW、このうち70%以上を干ばつなどの天候の影響を受けやすい水力発電に依存している。このような状況の下、ケニア政府は豊富に有する地熱資源に着目し、低炭素かつベースロード電源として適している地熱を今後の主力電源と考えており、20年後までに地熱発電容量を5,530MWとする計画を進めている。

ケニア政府は全国の地熱資源開発を更に加速させるため、2009年にケニア電源開発公社から地熱部門を独立させ、地熱開発公社（Geothermal Development Company：GDC）を設立した。現在GDCは、アフリカ開発銀行等の融資を受け、ナイロビから北西約150kmのメネンガイ（Menengai）地区において地熱開発を実施している。なお、GDCがメネンガイ用に保有するリグは4基であるが、2014年までに2基追加購入予定である。このようにメネンガイのカルデラ内の地熱開発（蒸気開発）に関する資金と機材はおおむね充足しているが、貯留槽評価・探査/ターゲット選定等に係る能力は不足していることから、ケニア政府はわが国に対し、技術協力「地熱開発技術支援協力プロジェクト」（以下、「本プロジェクト」と記す）を要請してきた。

これに対し、2013年1月にJICAが要請内容を確認したところ、上記の貯留槽評価・探査に関する能力強化に加え、掘削技術者の養成に関するニーズも高いことが判明した。GDCは掘削クルーの90%以上を自社の技術者でまかなっているが、高度な技術が必要なDriller、Drilling Supervisor、Tool Pusher等については、外国人技術者に委託しており、これらの自社技術者の養成が課題となっている。加えて、今後、約200名の掘削クルーの雇用を予定しており、これらのトレーニングも必要な状況にある。更に、地熱発電計画、環境計画/モニタリング、公社経営、地熱の多目的利用の能力強化に係る要望があることも確認した。

## 1-2 調査の目的

ケニア側の要請内容を整理するとともに、GDCが地熱開発の実施機関として習得すべき能力を特定のうえ、協力内容の絞り込みを含めた本プロジェクトの詳細計画を策定することを目的とする。

### 1-3 調査団構成

#### <第1次調査>

担当分野	氏名	所属
総括	江口 秀夫	JICA ケニア事務所
副総括	久下 勝也	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギー第二課
地熱開発計画	花野 峰行	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギー第二課
協力企画	久保嶋 尚也	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギー第二課
総括（コンサルタントチーム） /掘削技術	池田 直継	西日本技術開発株式会社
地熱開発計画/貯留層評価	エンリケ リマ	西日本技術開発株式会社
環境社会配慮	湯本 登	株式会社エネルギー環境研究所
評価分析	大和田 慶	株式会社三菱総合研究所

#### <第2次調査>

担当分野	氏名	所属
総括	入柿 秀俊	JICA 産業開発・公共政策部
副総括	久下 勝也	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギー第二課
協力企画	久保嶋 尚也	JICA 産業開発・公共政策部 資源・エネルギー第二課
総括（コンサルタントチーム） /掘削技術	池田 直継	西日本技術開発株式会社
地熱開発計画/貯留層評価	エンリケ リマ	西日本技術開発株式会社
掘削アドバイザー	島田 邦明	帝石削井工業株式会社
掘削アドバイザー	佐々木 純一	エスケイエンジニアリング株式会社
掘削アドバイザー	大島 和夫	三菱マテリアルテクノ
掘削アドバイザー	藤貫 秀宣	日鉄鉱コンサルタント株式会社
掘削アドバイザー	菱 靖之	地熱エンジニアリング株式会社

#### 1-4 調査日程

本調査は、第1次調査を2013年5月22日から6月11日まで、第2次調査を6月22日から7月5日までの日程で行った。日程の詳細は以下のとおり。

##### < 第1次調査日程 >

Date		Mr. Kuge, Hanano, Kuboshima	Consultant team						
			Mr. Owada	Mr. Yumoto	Mr. Ikeda	Mr. Lima			
22 May	Wed	Dept from Tokyo (QR805, 22:30)	Dept from Tokyo (EK319, 21:20)	Dept from Tokyo (KE0002, 17:00)	Dept from Fukuoka (KE782, 21:05)				
23 May	Thu	Arrive at Nairobi (QR532, 13:00)	Arrive at Nairobi (EK719, 14:45)						
		(PM) Meeting with JICA Kenya Office							
24 May	Fri	(AM) 9:00 Courtesy Call on MOE (PM) 14:30 Kick-off Meeting with GDC							
25 May	Sat	Site Survey by GDC chopper							
26 May	Sun	Document review							
27 May	Mon	(AM) 9:00 EOJ	Meeting with GDC						
		(PM) Meeting with KenGen							
28 May	Tue	AM Meeting with GDC (PM) Meeting with GDC							
29 May	Wed	Meeting with GDC at Naivasha office Meeting with GDC	Meeting with GDC						
30 May	Thu	(AM) Meeting with JICA Kenya Office (PM) Signing on M/M							
31 May	Fri	(AM) Report to JICA Kenya Office							
01 Jun	Sat	Dept from Nairobi (QR533, 17:20)	Dept from Nairobi (EK720, 16:40)	Meeting with GDC	Travel to Nakuru				
02 Jun	Sun	Arrive at Tokyo (QR804, 17:50)	Arrive at Tokyo (EK318, 17:35)	Data compilation	Meeting with GDC at Menengai				
03 Jun	Mon	/			Data compilation	/			
04 Jun	Tue				Travel to Suswa - Nakuru			Meeting with GDC at Menengai	Travel to Nairobi Dept from Nairobi (EK720, 16:40)
05 Jun	Wed				Aruz				Arrive at Fukuoka (KE781, 19:55)
06 Jun	Thu				Menengai II				
07 Jun	Fri				Silali				
08 Jun	Sat				Travel to Nairobi				
09 Jun	Sun				Data compilation			Data compilation	
10 Jun	Mon							Travel to Nairobi	
					Dept from Nairobi (EK720, 16:40)				
11 Jun	Tue				Arrive at Tokyo (KE0705, 20:55)			Arrive at Fukuoka (KE781, 19:55)	

< 第 2 次調査日程 >

22 Jun	Sat			Dept from Fukuoka (KE782, 21:05)
23 Jun	Sun			Arrive at Nairobi (EK719, 14:45)
24 Jun	Mon	Dept from Narita (EY871, 21:20)		Meeting with GDC
25 Jun	Tue	Arrive at Nairobi (EY641, 13:25)		Meeting with GDC
		(PM) TBD	(PM) Security Briefing	
26 Jun	Wed	9:00? Mombasa SEZ (P.S. & Delito?)	(AM) Finalization of R/D with GDC (PM) Finalization of R/D with MOE	(AM) Travelling to Nakuru (PM) Site Survey at Menengai
		10:30? KAIZEN Expert 11:30 CR Eguchi 14:30 Courtesy Call to the Ambassador 17:00 OVOP Expert? 19:00 Supper w Experts?		
27 Jun	Thu	Site Survey by GDC chopper (Olkaria field & Bogoria-Silali)		Site Survey at Menengai
28 Jun	Fri	(AM) Signing on R/D		(AM) Site Survey at Menengai
		(PM) Meeting with VIPs (Pro. Hino) Dinner with Kenya Office		(PM) Traveling back to Nairobi
29 Jun	Sat	Dept from Nairobi (EY642, 14:25)		Data compilation
30 Jun	Sun	Arrive at Narita (EY878, 13:00)		Data compilation
01 Jul	Mon			Meeting with GDC
02 Jul	Tue			Meeting with GDC
03 Jul	Wed			Meeting with GDC
4 Jul	Thu			Dept from Nairobi (EK720, 16:40)
5 Jul	Fri			Arrive at Fukuoka (KE781, 19:55)

## 第2章 ケニアの政策・制度

### 2-1 ケニアのエネルギー政策〔Vision2030、最小費用電源開発計画（LCPDP）概要〕

エネルギー政策について、「ケニアビジョン 2030」策定に至るまでの経緯をみると、ケニアでは1987年に「国家エネルギー政策（National Energy Policy and Investment Plan）」が策定された。エネルギー政策の目標は、対外債務を軽減しつつ安定的な経済成長を維持するため、輸入石油の削減を図るとともに、エネルギー安全保障を促進することである。その後、経済は着実に成長していたが、2000年、2001年と大規模な干ばつに見舞われ、長期的な電力不足などの影響を受け経済活動は低迷した。長期的な電力不足は、総合的な視野に基づくエネルギー政策の必要性を浮き彫りにした。

このため、2001年にエネルギー省や電気事業関係者（KPLC、KenGen、ERB等）から構成されるワーキンググループが結成され、新たな「国家エネルギー政策」の策定が開始された。この下部組織として「再生可能エネルギー」「電力」「バイオマス」「石油」の4つのサブグループが設けられた。その結果、2004年に改訂版「国家エネルギー政策（Sessional Paper No. 4 of 2004 on ENERGY）」が策定された。

この「国家エネルギー政策」の目的は、経済成長を促進するために、環境に配慮し、適量、高品質、費用対効果、廉価で高品質なエネルギーを安定的に供給することである。政策の骨子は、①高品質のエネルギーを安定供給する（エネルギーの供給量を十分に確保する）、②各種のエネルギー価格を見直す、③全国的なエネルギー供給により各地域の経済を活性化する、④資源開発を促進する、⑤環境、健康、安全衛生を重視したエネルギー開発を行う、⑥エネルギー効率や節制を促進するといった6点から成っている。

なお、ケニア政府は、2003年、貧困削減の実現をめざした「経済再生戦略（Economic Recovery Strategy for Wealth and Employment Creation 2003-2007：ERS）」を発表しており、エネルギー分野は経済再生のための第三の柱として位置づけられている。

ケニア政府の電力開発政策については、1997年の電力政策法、2004～2007年間のエネルギー政策及び2006年のエネルギー法によりその展望が展開されている。これらの政策の基底にあるのは、垂直電力構造の解体及び民間投資の参入を通じた競争的市場の形成と、適正な電力料金体系の構築による健全な電力産業の育成にある。更にこのような電力産業の育成により、世紀開発目標に掲げられている貧困撲滅及びこれに関連する環境目標の達成に貢献するとしている。これは前述したようにエネルギーは上記に挙げた目標を達成するための主要な要因であると認識されているためである。

上記の観点から、政府は再生可能エネルギーを促進するために、「風力、バイオマス、小水力、地熱、バイオガス及び太陽光を用いた発電事業」についての固定価格買取制度（Feed in Tariff：FIT）政策を2008年3月に策定し、その後2010年1月に改定している。これは、上記の再生可能エネルギー資源を用いて発電された電力をあらかじめ定められた容量に達するまで一定の価格で20年間購入しようというものである。

すなわち、多岐にわたる再生可能エネルギーの開発・事業費用は異なっており、必然的に発電原価も異なってくる。したがって、再生可能エネルギーの種別ごとに事業に係る建設投資費用、運用保守費用、燃料費、金融コスト並びに利潤、発電設備の予想寿命及び発電量を考慮して固定価格買取条件を設定している。各再生エネルギーの買取価格は変電所における引取りポイントと

されている。換言すれば、電力の受け渡しポイントまでの送電変電設備費用もこの買取価格に含まれる。

- ①風力発電については、上限を 12US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、100MW 以下の事業について適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (300MW) を設定している。
- ②バイオマス発電については、電力供給を保証する電源については上限を 8US ¢ /kWh として 20 年間での条件が適用される。化石燃料との混焼発電については、バイオマスの比率は 70% 以上であることが必要。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (200MW) を設定している。
- ③電力供給を保証しないバイオマス発電については、上限を 6US ¢ /kWh として 20 年間での条件が適用される。本制度の適用は国全体の上限値 (50MW) を設定している。なお、②のうち、混焼型及び③の供給非保証のバイオマス発電については、各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、100MW 以下の事業について適用される。
- ④小規模水力発電は、各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、10MW 以下の事業について発電規模ごとに区別された買取価格が 20 年間適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (供給保証電力 150MW、供給非保証電力 50MW) を設定している。

表 2-1 ケニアの小規模水力発電買取価格

送電端出力 (MW)	供給保証電力買取価格 (US ¢ /kWh)	供給非保証電力買取価格 (US ¢ /kWh)
<1	12.0	10
1-5	10.0	8.0
5-10	8.0	6.0

- ⑤地熱発電については、上限を 8.5US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 700MW 以下の事業について適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (500MW) を設定している。
- ⑥バイオガス発電は、電力供給を保証するものについては上限を 8US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、40MW 以下までについて適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (100MW) を設定している。
- ⑦電力供給を保証しないバイオガス発電については上限を 6US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、40MW 以下までについて適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (50MW) を設定している。
- ⑧太陽光発電は、電力供給を保証するものについては上限を 20.0US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、10MW 以下までについて適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (100MW) を設定している。
- ⑨電力供給を保証しないバイオガス発電については上限を 10US ¢ /kWh として 20 年間の条件を各発電所の発電設備容量が 500kW 以上、10MW 以下までについて適用される。なお、本制度の適用は国全体の上限値 (50MW) を設定している。

一方、国内のエネルギー資源についてみると、石炭については商業規模の炭鉱は存在しない。政府系機関が Taru 盆地の Kwale と Klifi 地区において地表探鉱を実施しているほか、Mui 盆地の



Kitui と Mwingi 地区において試掘を行っている。特に、Kitui 地区では、石炭試掘用リグ（7,500 万 Ksh. で購入）により 20 カ所の試掘が行われ、8 カ所で瀝青炭が発見されている。このため、発電用燃料として期待が寄せられており、Kitui 地区の埋蔵量を確認するとともに、石炭火力発電所での利用について調査を行っている。石油と天然ガスについては、探査活動が行われているが、現在までのところ商業規模の資源の存在は確認されていない。石油系燃料は全量を輸入しているが、原油はモンバサにある 9 万 bbl/日の石油精製施設によって精製されている。非商業エネルギーは、エネルギー消費量全体の 74% を占めており（2007 年）、なかでも薪などが大部分を占めている。今後も人口の増加や貧困の拡大により、ますます非商業エネルギーの消費が増加することが予想され、森林伐採などによる環境破壊が懸念されている。

表 2-2 ケニアのエネルギー資源の埋蔵量

資源	推定埋蔵量	備考
水 力	大規模水力 1,558 MW	10MW 以上の水力 年間発電電力量は 6,600GWh と推定。
	小規模水力 3,000MW 以上	10MW 以下の水力
地 熱	10,000MW 以上	現在の地熱発電所の設備容量は約 240MW。オルカリア I-4、5 号機及び IV プロジェクトで計 280MW を建設中。
木質バイオマス (薪、木炭など)	現存量 18 億 m <sup>3</sup> 年間平均収量 2,430 万 m <sup>3</sup>	年間消費量 4,000 万 m <sup>3</sup>
バガス	バガスを利用した発電： 300MW	砂糖産業において、コージェネとして利用。 余剰電力を送電系統に供給している企業は、7 社中 1 社（Mumias 社、余剰電力は 2MW）。
風 力	346 W/m <sup>2</sup>	—
太陽エネルギー	4~6kWh/m <sup>2</sup> /day	2003 年時点で 140,000m <sup>2</sup> の太陽熱集熱器を利用、200,000 戸で太陽光発電を利用。

出所：エネルギー省資料

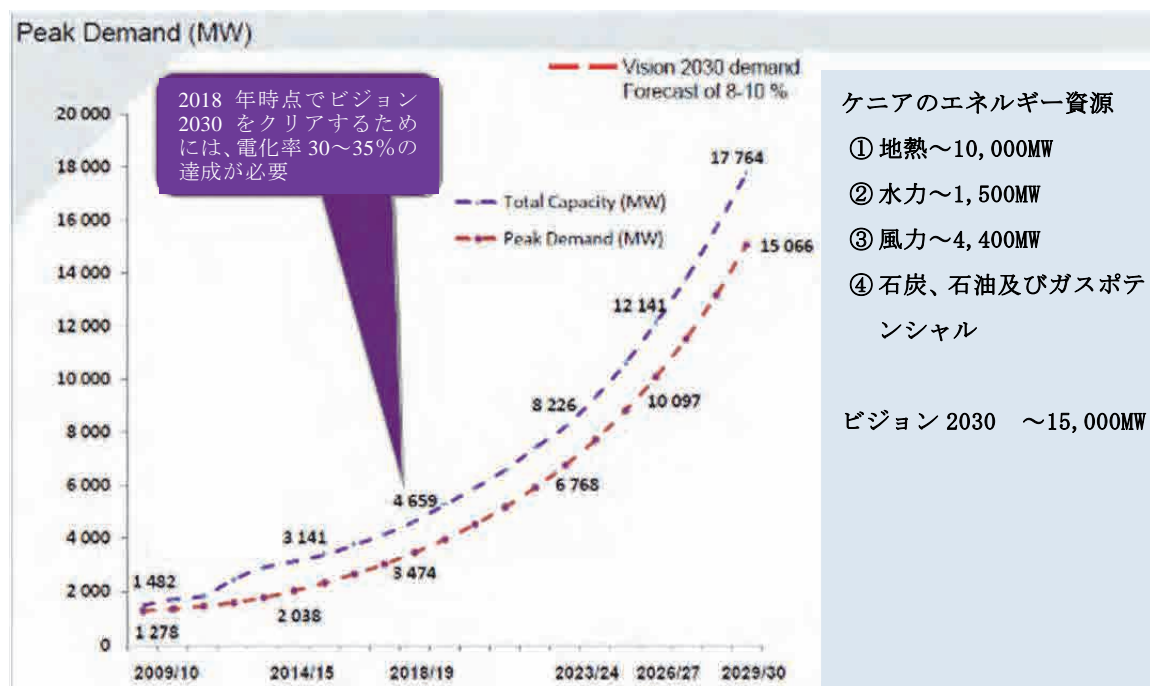
「ケニアビジョン 2030」とは、ケニアを 2030 年までにいわゆるミドルインカムグループに押し上げるための、以後約 20 年間にわたる包括的政策を網羅した開発計画であり、2008 年 6 月にケニア政府により策定、実施に移された。このサブプログラムとして 2030 年までの各 5 年ごとに開発目標を掲げた中期計画が実施されている。ケニアの国内総生産額の伸び率を 2015 年までに年間 10% とすることなどが掲げられている。

本開発計画の対象は広範囲にわたるもので大きく以下の分野に分けられる。

- ・ 長期にわたるマクロ経済の安定
- ・ 政治・統治組織の改革の推進
- ・ 貧困層に対する富の再配分及び経済的機会の創出の推進
- ・ 社会インフラの整備
- ・ エネルギー政策
- ・ 科学・技術及び創造性 (STI)

- ・ 土地改革
- ・ 教育
- ・ 安全保障

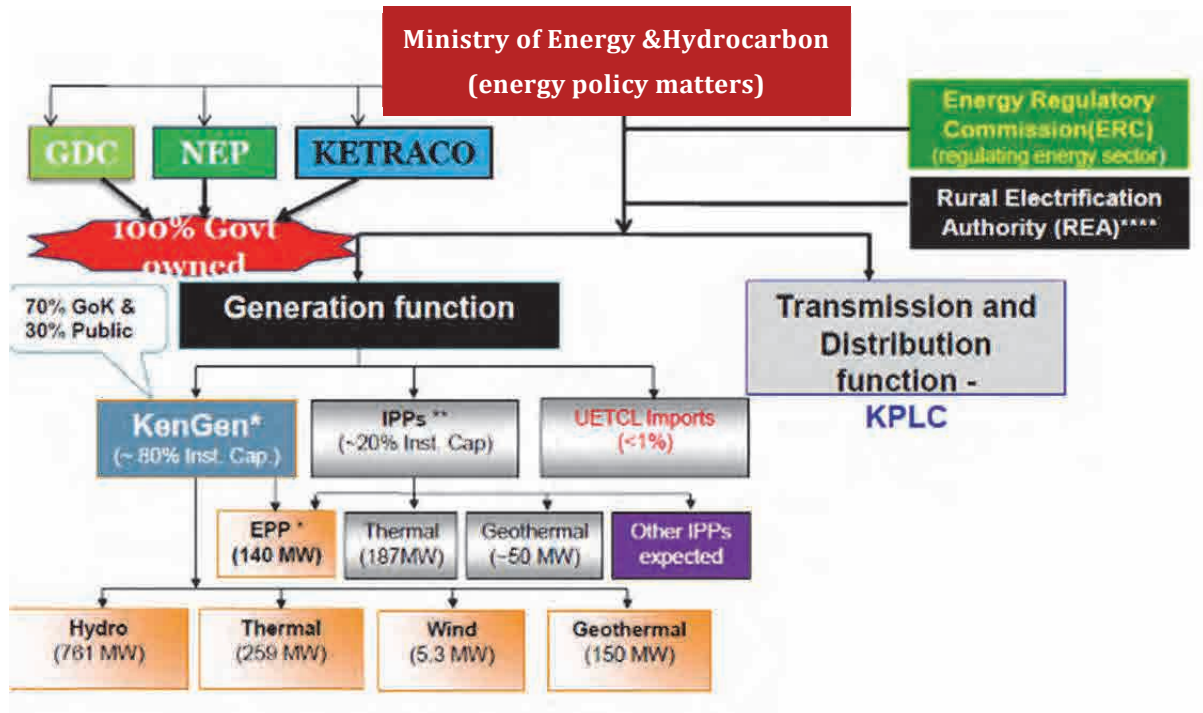
電力は国民経済及び生活レベル向上に不可欠の要素であり、電力需要と経済規模には強い相関性があることは知られている。「ケニアビジョン 2030」で計画されている経済規模の拡大から予想される電力需要とこれに必要な発電設備の推移は図 2-1 に示しているが、年率で 10%以上の増加を見込むという非常に積極的な計画となっている。



出所：KenGen

図 2-1 「ケニアビジョン 2030」で予想されるピーク電力需要の推移

この積極的な電源開発を担うケニア政府及び電力事業者の当面の体制としては、図 2-2 に示したような、発送電それぞれ独立した事業者構成を基本とする、現在既に構築された組織体制を踏襲していくものと思われる。



出所：NEPC

図 2-2 現時点におけるケニア電力セクターの体制

一方で実際には、多くの開発諸国の電力セクターと同様、いまだ解決しなければならない以下に挙げるような問題を抱えている。

- ・ 電力の窃盗問題
- ・ 低電化率
- ・ 高い電力価格
- ・ 供給系統システムにおける高い電力ロス
- ・ 頻繁に発生する停電
- ・ 電力不足
- ・ 不安定な化石燃料価格による電力価格の不安定

これらの課題を克服するためにはさまざまな側面からの取り組みが必要であるが、このなかでも電源の確保は、すべての基本となる要素であり電源開発計画は核心となる課題である。

## 2-2 ケニアの地熱開発政策（電力開発計画から地熱部分の概要）

従来ケニアにおける地熱政策としては、資源調査のプレ F/S 及び F/S は政府の責任で実施し、この成果は広く民間に提供することで開発段階における民間の参画を促すことや、更にこうした F/S を民間自身が実施した場合には、その結果を用いて KPLC (Kenya Power and Lighting Company) との電力購入契約 (Power Purchase Agreement : PPA) 交渉を行えること、またこのような民間による地熱開発を促すために、再生可能エネルギーに対する電力買取制度を制定して開発促進を行うことになった。

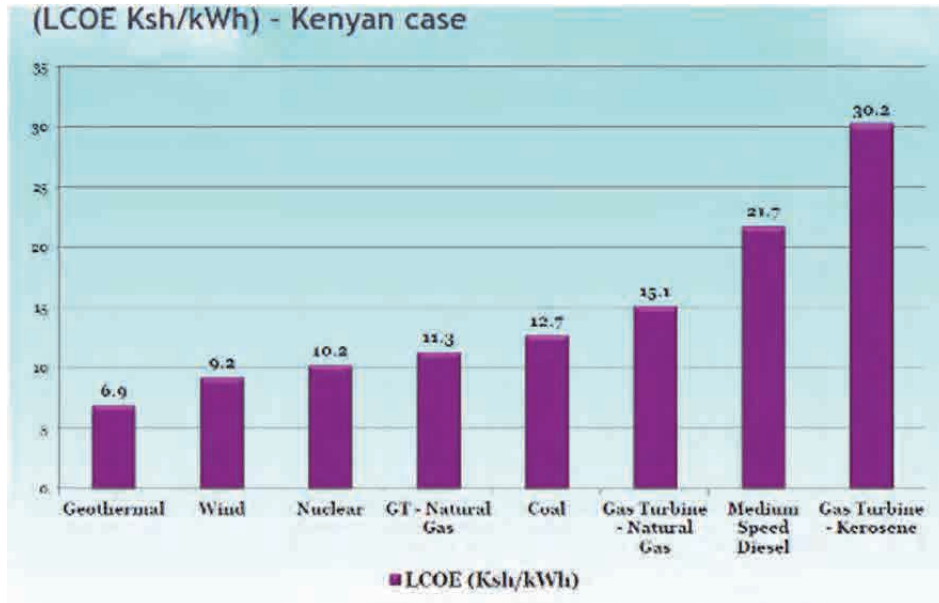
更に地熱開発に係る法規としては、地熱資源法 (Geothermal Resources Act : GRA) を基本としてあり、その他の周辺法規が存在する。GRA は 1982 年に施行されており概略以下の内容が規定

されている。

- (1) 地熱資源は政府が管轄し、その所管官庁はエネルギー省とする
- (2) 所轄官庁の許可・認可を得ない地熱資源開発の禁止
- (3) エネルギー省は以下の地熱資源探査活動に関して認可権を有する
  - ① 調査研究、探査、試験、測定、坑井掘削、その他調査に係る行為
  - ② 1年間の期間限定で譲渡不可
  - ③ 1年間の更新可
- (4) エネルギー省は以下の条件で地熱資源免許を発行する
  - ① 30年間を超えない範囲の事業期間
  - ② 5年間を超えない範囲で免許期間を更新できる
  - ③ エネルギー省の同意無しに免許の譲渡は不可
  - ④ 規定の年間免許費を期限の3カ月前までに支払うこと
- (5) エネルギー省の同意なしに6カ月以上事業を停止した場合の免許のはく奪
- (6) 地熱資源免許を得た事業者の権利
  - ① 地熱資源を開発する権利
  - ② 地熱井掘削及びこれに関連する作業の実施
  - ③ 建屋や設備機材の建設とこれらを維持する権利
  - ④ 地熱資源を利用する権利

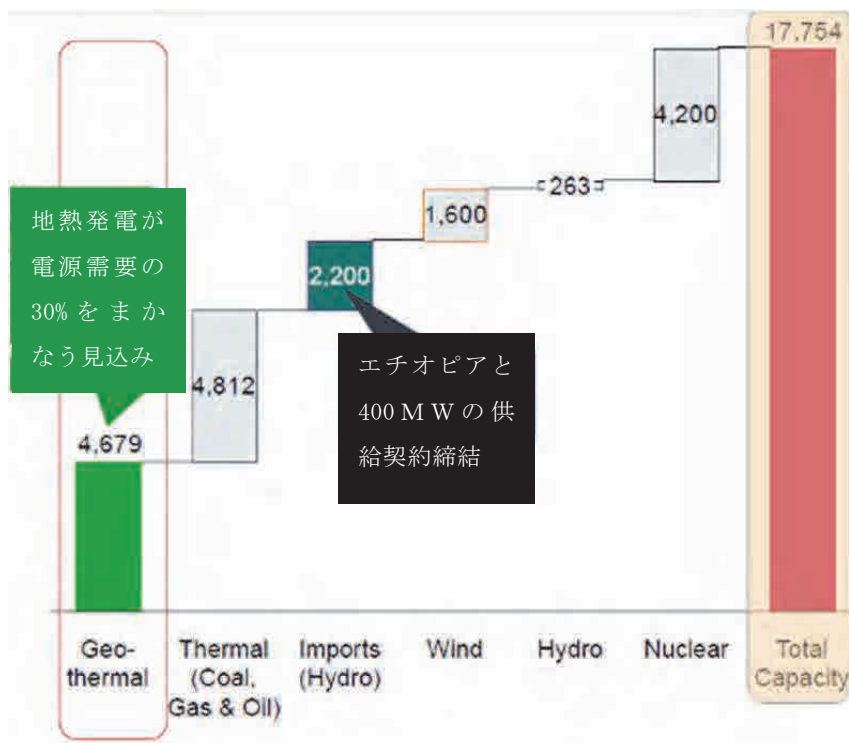
なお、地熱事業に係る法規にはこの他、電気事業法（1997年11法）、環境管理調整法、水資源法（1972年第372章、2000年改定）、工場法（1972年第514章）、地方自治法第265章、公共健康法（1986年第242章）、野生動物保護管理法（第376章）、管理取引、商慣習、独占的取引、並びに価格に関する管理法（第504章）、工業標準化法（第496章）、森林法（第385章）に係る規定が存在する。

「ビジョン2030」において、電源開発計画を策定するうえでさまざまな電源のなかで最も費用の低い電源の開発を優先する戦略が採用された。さまざまな電源の開発費用を比較した結果、図2-3に示すように、現状ケニアにおいては地熱が最も開発費用が安価な電源として評価されることとなった。この結果を受けて、少なくとも今後、短中期的には地熱エネルギーの開発は最優先の案件として積極的な開発計画が策定され、LCPDP 2010-2030によると、2030年までに地熱発電の総設備容量を5,000MWとする開発目標を掲げている（図2-4）。



出所：NEPC

図 2-3 将来における電源別発電コストの比較



出所：KenGen

図 2-4 最小費用電源開発計画 2010～2030 に基づいた 2030 年の電源別予想設備容量

一方で、この計画を実現するためには膨大な資金調達が必要となる。この費用すべてを政府のみでまかなうことは、可能であるとしても他に必要な政策や投資への制約を課すこととなり望ましいことではない。すなわち地熱発電を含めた電力開発において長期的には民間投資の導入は不可欠であるとの認識とともに、民間の参画をよりスムーズに導くためにリスクが大きい蒸気開発部門は国の責任で行い、リスクの少ない発電部門への独立系発電事業者（Independent Power

Producer : IPP) の導入を促進するとした政策を打ち出している。

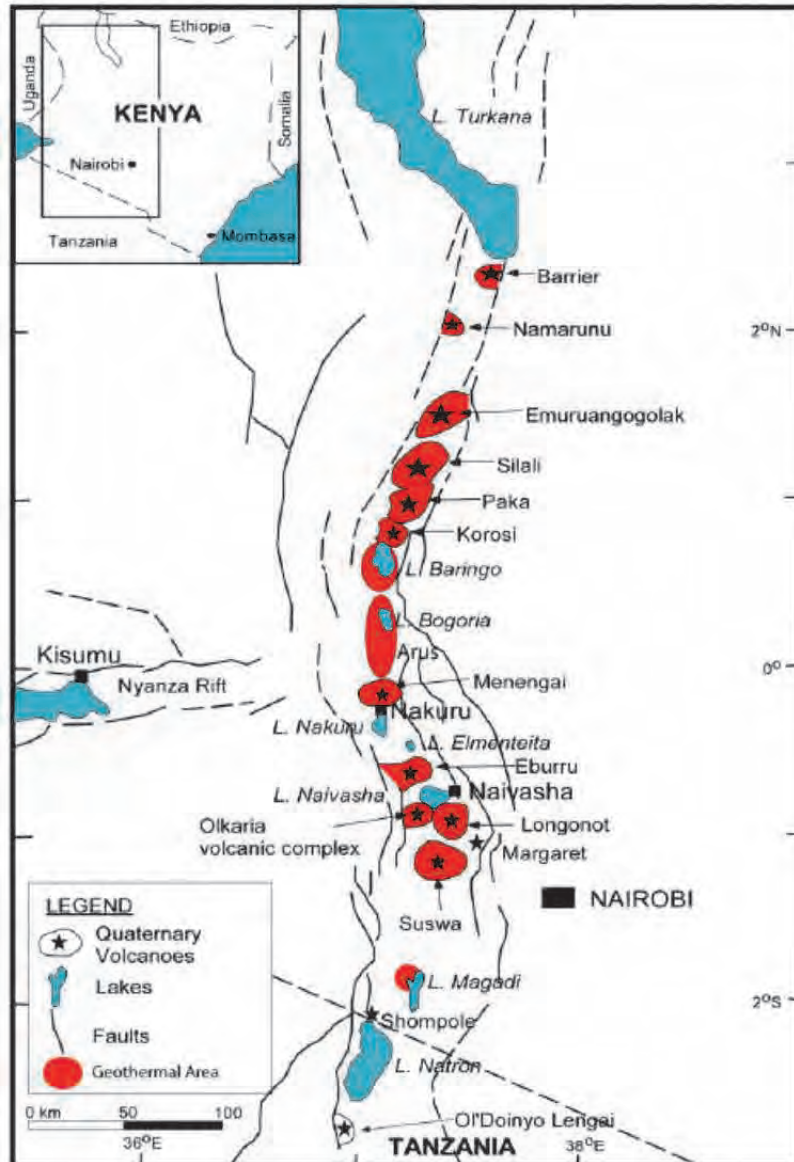
すなわち、地熱開発における最も大きな障害要因となっているのは、地下資源リスクであり、地熱資源量を確認するためには高価な調査井掘削を必要とする。民間事業者がこの資源リスクを負いながら事業に参入することは、特に開発途上国においては極めて困難であるし、もし参入したとしてもリスクに対する対価を当然要求する。この結果、地熱発電原価を押し上げる要因となる。また調査段階の試掘に要する費用について、銀行のプロジェクト融資は存在しないため、すべてエクイティでまかなわれることとなり、これも資金調達費用を押し上げる要員となる。さらに、民間事業者による掘削調査には海外の掘削請負業者を使うことが考えられ、掘削機器・機材の輸送費だけでも費用は高くなることが予想される。

このような状況を分析評価した結果、ケニアでは地熱資源リスクは政府が一括して責任をとるとして 2008 年に国営の GDC が設立された。GDC は自前の掘削リグと掘削技術者を擁し、自ら掘削を行うことで掘削費用の低減と金融費用の低減を実現できる。さらに、GDC は国営であるために、国際機関からの資金援助の対象となり得るために安価な資金を調達できる。蒸気が蒸気開発会社から供給されることで資源リスクが低減され、IPP に対する障壁は格段と小さくなる。すなわち IPP は基本的にエネルギーコンバージョンとしての役割を担うものとされて、これにより約半分の開発資金を占める発電事業の参入を促すといった効用を期待している。

### 2-3 地熱資源状況

この項は、2010 年に実施したアフリカ地熱開発に係る現状確認調査を基に、新たに判明した知見を加筆した。

ケニアにおける地熱資源探査の歴史は 1960 年代に始まり、オルカリア (Olkaria) 地熱地域での 2 本の地熱掘削を含む地上探査が実施された。1970 年代にはボゴリア湖 (Lake Bogoria) 地域と Olkaria 地域との間で、更なる地質調査及び物理探査が行われた。この調査によって、複数の地域で有望地域が見つかり、国連開発計画 (UNDP) の資金を使った深部調査井掘削も Olkaria 地域で 1973 年までに開始された。これまで、エネルギー省、GDC、ケニア電源開発会社 (Kenya Generation Company : KenGen) 及びその他民間会社により、国内の幾つかの地熱有望地域において、詳細調査が実施されてきている。ススワ (Suswa)、ロンゴノット (Longonot)、オルカリア、エブル (Eburru)、メネンガイ (Menengai)、アルスボゴリア (Arus-Bogoria)、ボコリア湖、コロジ (Korosi) 及びパカ (Paka) 地域では既に詳細な調査が行われており、マガディ湖 (Lake Magadi)、バッドランズ (Badlands)、シラリ (Silali)、エムルアンゴゴラク (Emurangogolak)、ハマルヌ (Hamarunu) 及びバリアー (Barrier) 地域では、まだ初期段階の調査しか行われていない。これらの調査データから総合して、高温の地熱資源から発電量として、10,000MW 以上もの発電ポテンシャルが推定されている。エネルギー省は、継続した調査を切に望んでおり、有望地域での地熱井掘削を計画している。



出所：KenGen

図 2-5 ケニアにおける有力地熱地帯

(1) Olkaria 地熱地域

現在、ケニアでは、地熱発電は Olkaria 地域のみで実施されている。7 鉱区のうち、3 鉱区 (Olkaria East、Olkari West 及び Olkaria Northeast 鉱区) から合計 204MW が発電されている。Olkaria 地熱とこれに隣接する地熱地帯全体の資源量は 1,000MW 以上と予想されている。

1) Olkaria-I 発電設備

Olkaria-I 発電設備は Olkaria East 鉱区内に位置し KenGen によって 15MW 発電機×3 基で運転されている。これらの発電機 3 基は順番に 1981 年、1982 年及び 1985 年に運転開始し、操業期間は 30 年近くになっている。Olkaria-I 発電設備運転のためにこれまで 33 本の井戸が掘削された。このうち、31 本が蒸気供給設備に連結され、9 本は補充井として掘削された。今日、生産井 26 本が稼働し、残りは廃棄もしくは還元井として使用されている。現在、4 及び 5 号機 (計 140MW) の建設が行われている。

## 2) Olkaria-II 発電設備

Olkaria-II 発電設備は Olkaria Northeast 鉱区内に位置し、KenGen によって 35MW 発電機×2 基（2000 年 9 月、2003 年 11 月）で運転されている。Olkaria-I 発電機より発電稼働率は高く、1MW 当たりの蒸気消費量は 7.2t/時である（Olkaria-I 発電機の 1MW 当たりの蒸気消費量：9.2t/時）。発電設備の効率化を図ったことにより、余剰蒸気が発生したことから、KenGen は新たに 3 号機建設（35MW）を計画し、2010 年に運用を開始した。

## 3) Olkaria-IV 発電設備（ドーム地区）

本地域内の地表調査は 1993～1994 年に行われ、掘削計画が策定された。1998～1999 年に 3 本の探査井が掘削され、地熱貯留層に逢着（ほうちやく）している。2007 年 6 月から開始した評価井掘削に関しては、中国石油長城掘削工程公司（Greatwall Drilling Company：GWDC）のリグが使用された。これまで、約 10 本程度の評価井が掘削されており、坑井の噴出能力は 1 本当たり 4～13MW と良好である。

現在、GWDC のリグ 5 基及び KenGen 自身にリグ 3 基を用いて生産井を掘削中であり、140MW（70MW×2 基）発電所が建設中である。

## 4) Olkaria-III 発電設備

Olkaria-III プロジェクトは、ケニア初の IPP 地熱発電所である。将来的に 100MW まで増量を念頭に入れた 20 年契約の電力購入契約（PPA）が、世界銀行の監督の下、Orpower-IV 社とケニア送配電会社（Kenya Power and Lighting Company：KPLC）の間で取り交わされた。プロジェクトの第 1 段階は評価井掘削と 12MW パイロットプラント建設であったが、最初の 8MW 出力は 2000 年 9 月に、残りの 4MW 出力は同年 12 月に始まった。2000 年 2 月に始まった評価井・生産井掘削は 2003 年 3 月に完了した。合計 9 本の地熱井掘削（掘削長 1,850～2,750m）の結果、PPA 期間 20 年にわたる 48MW 発電のための十分な蒸気が確保されたことから、2008 年より 48MW 発電が開始された。さらに 2013 年 5 月には第 3 期の拡張として新たに 36MW の追加の発電設備の運用を開始した。これらの事業には海外民間投資会社（Overseas Private Investment Corporation：OPIC）からの融資を受けており、この額は 1 期と 2 期には合計 265 百万米ドル、第 3 期として新たに 45 百万米ドルとされている。

## 5) Oserian 発電設備

Oserian 開発会社（Oserian Development Company Ltd：ODLC）は、KenGen からリースされた坑井 OW-306 の蒸気を活用して、Olkaria Central 鉱区内に 2.0MW バイナリー発電機（Ormat 社製）を自家発用として 2004 年 7 月に設置した。輸出用の切花を生産している ODLC 社は、1.28MW の出力を有する坑井の蒸気を用いて、熱交換による熱水供給、CO<sub>2</sub> 供給による光合成促進、土壌の消毒を行っている。熱水供給は温室内の保温に寄与しており、運転コストの削減に大いに役立っている。

## 6) Olkaria 井戸元発電設備

KenGen は、系統に接続されていない蒸気生産井の活用を促すために井戸元発電と呼ばれるモジュール型の発電設備の普及を促進している。その第 1 号として、ノルウェーやインドのメーカー（Green Energy Group：GEG）によるコンデンサー式発電機（2.5MW×2 基）を導入して運用を開始した。





出所：KenGen

図 2-6 オルカリアで稼働中の井戸元発電

## (2) Eburru 地熱地域

Eburru 火山複合体は Olkaria 地熱地域の北方に位置している。KenGen は、1987～1990 年の間に詳細な地表調査を実施し、1989～1991 年の間に Eburru 地域において、6 本の探査井を掘削した。さらに、2006 年に MT 探査を実施し、60MW 強の地熱ポテンシャルを推定している。掘削結果から、本地域深部の温度は 300℃ 近く推定されており、局所的な貫入岩の存在が想定されている。

坑井からの噴出流体の化学特性から、本地域の地熱貯留層は、高塩濃度の流体で、高い非凝縮性ガス（NCG）の存在を示唆している。地質的には Olkaria 地域に類似しているものの、坑井の Cl 濃度は 956～1,976ppm と高くなっている。流体の最高温度は 285℃ 程度であり、2 坑井の出力を合計すると 29MW 相当が推定されている。本地域周辺のインフラはかなり整備されており、2.5MW の背圧式発電機を用いた井戸元発電の運用を行っている。

## (3) Suswa 地熱地域

Suswa 火山は中央ケニア地溝帯の最南端の第四紀火山である。最新の火山活動は約 200 年前の環状溝内のカルデラで発生したと推定される。溶岩の班状組織から半深成のマグマ溜まりから噴出したものと思われるが、本地熱地域の熱源の役割を果たしているものと思われる。低 pH の噴気が集中していることから、マグマ本体の中心付近もしくは深部地熱流体の上昇域に近いことを示唆している。カルデラ内北部で実施した MT 探査結果から、約 10km 深に熱源の存在が推定されている。また、重力探査結果からは、ブーゲー異常地域がカルデラ深部の NE-SW 方向に推定され、4～8km 深部に熱源の存在を推定している。

KenGen は 1992 年から 1993 年にかけて本地域内で、地質・地化学・物理探査に関する詳細な地球科学的探査を実施している。この調査結果から Suswa 火山地域は非常に有望な地域

と判断され、カルデラ深部の比較的浅い部分に熱源が存在することが確認された。3本の掘削候補地点がカルデラ内部に設定されており、本地域内から200MW強の地熱発電が期待されている。

#### (4) Longonot 地熱地域

Longonot 火山は Olkaria 地域の東方に位置し、アフリカ地溝帯の底部に存在する。古 Longonot カルデラの形成活動は約80年前に開始し、広範な盾状火山を形成していた。火山活動はその後も継続し、約9,000年前にカルデラの崩壊が起きた。後続の火山活動がカルデラの中心部に発生し、粗面岩状山塊及び厚層の軽石堆積物が、カルデラ内部及びその周辺部に堆積した。最新の火山活動は、約200年前に北北西～南南東方向の火山構造軸に沿って、山頂火口内で発生している。

KenGen は1998年に本地域内で、地質・地化学・物理探査及び環境調査を含む地表探査を実施した。熱水変質した岩屑の分析から、Longonot 火山深部の地熱貯留層は250°C以上の温度に達していることが推定される。比抵抗探査結果からもカルデラの南側斜面に異常地が推定されており、最初の探査井掘削候補地もカルデラ構造により画された Longonot 火山南部に設定されている。各種科学的データを総合すると、有望地域は60km<sup>2</sup>を上回り、200MW以上の発電ポテンシャルが期待される。

#### (5) Menengai 地熱地域

本地熱系の熱源は、Menengai カルデラ深部に胚胎する高温のマグマ岩体と関連しているものと推定されるが、類似ではあるが、おそらくより古い熱源となる岩体が本地域北部にも存在し、これらが Menengai 地熱系の形成に影響を与えているものとする。低非抵抗と一致する正の磁気異常が比較的浅い深度でみられることからマグマ岩体の存在を示している。微小地震データから、マグマ岩体が約12kmの深度に存在することを示唆している。Menengai 地域の地熱貯留層は、累積した厚い火山岩の下位に胚胎する破碎した粗面岩溶岩や溶結した火砕流堆積物中に賦存しているものと思われる。浅部において地熱徴候が乏しいことは、変質した火砕流堆積物が広範囲に分布し、この堆積物が帽岩の役割を果たしているものと考えられる。

主要なリチャージ域は、東部及び西部において隣接する地溝帯崖に関連づけられている。これらの標高の高い地溝帯両翼の尾根部では、比較的降雨量が多い。リフトバレーを形成している断層構造は水理構造と密接な関係があり、リフトバレー周辺部で浸透した天水は、地溝帯中央底部に向かって流動している。断層構造のほとんどは、Solai 構造に沿って発達していることから、リフトバレーの構造に沿って地下流体も流動しているものと思われる。

比抵抗探査結果に基づくと、有望地域は90km<sup>2</sup>を上回り、200MW以上の発電ポテンシャルが期待される。開発対象貯留層の頂部は、標高1,000mの深度に位置し、ほぼ Olakaria 地域と同じである。この深度での低比抵抗値から解釈すると、220°C以上の地下温度を有するものと思われる。

#### (6) Lake Bogoria 地熱地域

Arus-Lake Bogoria 地域には中新世～鮮新世に広範囲にわたって噴出した火山岩溶岩が分布

しているが、明確な火山活動の中心は特定されていない。おそらくこれらの溶岩は、地溝帯底部の割れ目に沿って噴出したものと思われる。広範囲にわたって正の磁気異常地域がみられるが、深部において高温を有する岩体の存在を示唆している。微小地震探査結果から、**Bogoria** 湖東部において、**Marmanet** 断層に沿った地域の比較的浅部で地震活動が集中しているところがみられる。

**Lake Bogoria** 地域周辺には多くの地熱徴候がみられ、その流体の地化学温度結果から 145～245℃の地下貯留層温度が推定される。一方、**Arus** 地域では 170～192℃と比較的低温を示している。温泉水の高いホウ素濃度のデータから、深部における流体の流動が推定される。すなわち、本地域の地熱構造は東アフリカ地溝帯の翼部で浸透した天水が地下深部まで浸み込み、地溝帯中央底部付近の断層に沿って流動したものと思われる。**Bogoria** 湖周辺に多くの温泉がみられることは、リフトバレー中央部の断層構造に沿って、地熱流体の上昇・流動に関係している。本地域内の地熱資源ポテンシャルはあまり大きくないが、バイナリー発電技術を導入することにより 20MW 程度は確保できるものと思われる。

#### (7) **Lake Baringo** 地熱地域

**Lake Baringo** 地熱地域はケニア地溝帯地域の北部に位置する。噴気、温泉、高温変質地帯及び異常地下水の水井戸などの地熱徴候がみられる。ケニア政府及び **KenGen** は 2004 年に地表調査を実施している。地質的には、粗面岩玄武岩、沖積層及び河川堆積物の分布が報告されているが、火山活動の中心地及びカルデラ構造がみられないことから、上記で述べてきた地域とは地熱貯留層の特徴において異なっている。

比抵抗解析によると、海水準レベルの深度において断層支配型の比抵抗分布の特徴がみられ、**Baringo** 湖の西部において地熱貯留層が分布しているものと思われる。流体地化学温度の解析結果から、**Baringo** 湖西部の **Chepkoiyo** 付近深部で 200℃以上もの貯留層温度が推定されている。本地域は、火山活動の中心となる火山も特定されてなく、熱源も分かっていないが、おそらく断層構造に沿った深部貫入岩に起因しているものと思われる。貯留層温度も中～低温であり、地熱流体の熱利用もしくはバイナリーサイクル発電の適用が考えられる。

#### (8) **Korosi** 地熱地域

**Korosi** 地域における最新の火山活動は、数 100 年前に起きた玄武岩の噴出に関連づけられる。しかしながら、珪酸塩鉱物起源（安山岩質）の最後の火山活動は、約 1 万年前の噴出であり、現在の **Korosi** 地域の地熱システムの熱源として、いまなお影響を与えている。正の磁気異常もまた、**Korosi** 火山と関連している。本地域の深部に賦存する地熱貯留層は、**Lake Baringo** 地熱地域の北方延長と考えられ、広域的な浅部での微小地震分布も裏づけている。また、地熱徴候の広範囲な広がり、地熱地帯が **Lake Baringo** 地域から **Korosi** 地域まで伸長していることを示唆している。

本地域の主な熱源は、**Korosi** 火山及び **Ol Kokwe** 火山の深部に位置するものと思われる。しかしながら、両火山とも最新の火山活動は玄武岩質火山活動である。水理地質学的には本地域南方の **Lake Baringo** 地域の地熱構造に強くコントロールされている。水理地質構造からも裏づけられるように **Baringo** 湖の水が北方に流動している。地熱系システムのディスチャージ域もまた、北方である。噴気ガスの地化学温度結果から、貯留層温度は 250℃以上であ

ることが推定されている。それゆえ、高温の地熱貯留層が Korosi 火山深部に賦存し、南方の Lake Baringo 地域に向かって広がっているものと思われる。本地域内だけでも 100MW 以上の地熱ポテンシャルが推定される。

#### (9) Chepchuk 地熱地域

本地域の熱源は、おそらく Chepchuk 古カルデラと関連し、Paka 地域の地熱系システムの下流側に相当するものと思われる。火山岩の年代測定の結果は、最新のもので 120 万年前を示しており、もはや高温の地熱システムが存在する可能性は期待できない。また、主要な断層が地熱地帯を通過するにもかかわらず、地熱徴候はあまり活発ではなく、地熱活動の低下を示唆している。噴気中の特に高いアンモニウム濃度は地熱系システムがあまり高温ではないことを示している。しかしながら、バイナリー発電技術を用いることによって、10~20MW 程度の発電所建設の可能性がある。

#### (10) Paka 地熱地域

Paka 火山は約 1 万年前にカルデラを形成した際に噴出した粗面岩、玄武岩溶岩及び火砕流堆積物から構成されている。新期の割れ目を形成している玄武岩溶岩や溶岩噴出のマグマシステムは、まだアクティブであり、高温の熱源を保存している可能性があることを示唆している。正の磁気異常も高温の地下温度の存在を示している。微小地震の調査から、Paka 地域の地下比較的浅部においてイベントを確認しており、2.5~5km の深度において高温岩体が存在することを示唆している。この高温岩体が Paka 火山と関連した地熱系システムの熱源の働きをしている可能性がある。

優勢な地熱徴候を示している地域は Paka 地域全体で 45km<sup>2</sup> 以上を占めている。地熱徴候の広範囲な分布は熱源が大きく、Paka 火山の深部に存在することを示唆している。また、流体地化学温度は、地熱貯留層が 300°C を超える高温であることを示している。本地域の水理地質調査から、リフトバレー地域の東翼及び南方から流体が供給され、北方もしくは北東方へディスチャージしていることを結果が得られている。

#### (11) Silali 地熱地域

Silali 地熱地域は、直径 7.5km×5km の広さを有し、約 7,000 年前に生じたカルデラ状構造を形成している。最新の火山活動は約 200~300 年前の玄武岩質噴出である。最近の火山活動から、火山深部に存在するマグマ岩体は依然高温を有し、地熱系システムを制御していることを示している。正の磁気異常の広がり、カルデラの大きさとも調和的であり、深部に高温岩体が存在する証拠ともなっている。微小地震探査結果は、カルデラ底部の東部及び南東部において地熱システムと関連する可能性のある活発な活動を示唆している。

Silali 地域には、ケニア地溝帯内において最大級の温泉がいくつもあり、これらの温泉は火山の深部において、地熱システムの存在可能性が高いことを示している。このうちの 1 つ Kapedo 温泉は、Silali 地熱システムとも関連しており、50~55°C の熱水が毎秒 1,000 リットルの割合で湧出している。これは、湧出地域だけでも約 100MW の出力に相当する。しかし、流体地化学解析の結果から、この温泉水は地熱流体上昇域からの直接の湧出ではなく、浅部地下水との熱交換が行われていることを示している。地熱構造として、75km<sup>2</sup> 以上の広がり

をもつ地熱資源分布地域が存在し、Silali カルデラ内部にその上昇域が存在するモデルが想定される。地熱流体は地層境界・断層及び破砕帯を經由して主に西方及び北方に流動し、Kapedo 温泉地やその他地表徴候地を形成している。本地域内の資源ポテンシャルとして、25 年間にわたって 300MW 以上の出力が期待される。

#### (12) Emuruangogolak 地熱地域

Emuruangogolak カルデラは盾状火山の頂部に位置し、直径 5km×3.5km を有している。最新の火山活動は約 100 年前に火山の南斜面上部で発生した粗面岩状火山の噴火であった。若い粗面岩状マグマがカルデラ深部にある大規模な高温マグマ岩体の存在を意味している。また、正の磁気異常分布地からも、火山の中心部に高温のマグマ岩体が存在することが示されている。地熱徴候の幾つかは、ほとんど沸点に近い温度を示し、200～350℃の貯留層温度をもつ地熱系システムの存在を示している。カルデラの東半部では高温の噴気が濃集しており、良好な地熱システムが形成されているものと考えられる。地熱系システムにおけるリチャージ域として、火山の東部斜面の温泉が分布している地域付近が想定される。地熱流体はカルデラ底部を北方もしくは西方へ流動している。本地域内の資源ポテンシャルとして、25 年間にわたって 200MW 以上の出力が期待される。

#### (13) Namarunu 地熱地域

Namarunu 地熱地域は、約 50 万年前に噴出した玄武岩が最新の火山岩と報告されており、鮮新世～更新世の火山活動と考えられている。その他に玄武岩質スコリア丘が地域内に点在する。

30～100℃の温度の噴気がリフトバレー地域の東部と西部の断層崖の麓に多くみられる。流体地化学温度から、200℃以上の貯留層温度が推定されている。最も温度の高い温泉群は東部断層崖に沿って分布しており、Namarunu 地域における水理地質的な流動パターンは、東方及び南方からリチャージされている。地域西部にみられる温泉付近がディスチャージ域となっている。本地域の地熱資源はバイナリー発電技術を用いることによって 20MW 以上の出力が期待できる。

#### (14) Barrier 地熱地域

本地域は、3つの火山から構成される複合火山帯であり、このうち、Kakorinya 火山が最も地熱ポテンシャルが有望と考えられる。Kakorinya 火山は安山岩質火山岩体であり、そのカルデラ形成は約 9 万 2,000 年の火山崩壊に関連しており、約 5 万 8,000 年前ころから本格的な火山活動を展開している。このカルデラの浅部にはマグマ溜まりが存在し、本地域の地熱システムに影響を与えている。約 100 年前に起きた Teleki 火山からの玄武岩噴出は、地域内の新しいマグマの流入を示唆しており、地熱ポテンシャルを高めるものとなっている。Barrier 地域の地熱系モデルの構築は、物理探査データが不足していること、更には良好な地化学データが得られていないことから、まだ不完全である。噴気中のガスを用いた地化学温度結果からは、218～328℃の高温の貯留層の存在を示唆している。

Kakorinya 火山深部には高温の地熱システムが存在している可能性がある。まだ初期段階の調査であるが、100MW 以上の地熱資源ポテンシャルの存在が期待される。

## 2-4 環境影響評価制度・許認可手続き

ケニア国憲法（2010年改訂版）は、第69条において国及び国民が環境と天然資源の持続可能な開発、利用、管理及び保全を行うことを規定している。また、同条は国が環境影響評価、環境監査及び環境モニタリングのための制度を整備すべき旨規定している。環境保全及び調整に関する法律（Environmental Management and Coordination Act、1999）が大気汚染、水質汚染、廃棄物処理、環境影響評価、環境管理等環境保全に関する事項を包括的に規定している。同法に基づき環境行政を担当する組織として国家環境員会（National Environmental Council）及び国家環境管理庁（National Environment Management Authority : NEMA）が設立されている。環境保全のための排出規制等は、同法に基づく規制として整備が進められている。現在までに水質、騒音・振動、廃棄物については具体的な規制が整備されているが、大気については規制案を審議中の段階である。環境影響評価制度についても同法に規定されている。自然環境の保全に関しては、野生生物法〔Wildlife (Conservation and Management) Act〕が制定されており、ケニア野生生物サービス（Kenya Wildlife Service）が国立公園、自然保護区の管理を行っている。このようにケニアの環境保全に関する法制度及び体制はよく整備されている。

### 2-4-1 環境基準及び排出基準

#### (1) 水質汚濁

水質に関する基準及び規制は、Environmental Management and Coordination (Water Quality) Regulation、2006に規定されている。水質基準は水の用途（住宅、灌漑、下水道、レクリエーション）による定められており、排水を排出する者は、排水許可を取得しなければならない。排水を排出する者は、モニタリングを行い、四半期ごとにNEMAに提出しなければならない。表2-3に工場などの排水基準を示す。

表2-3 排水基準（主要な項目のみ記載）

水質項目	排水基準 (mg/l)
BOD (5日間、20°C)	30
COD	50
pH (海域以外)	6.5~8.5
Total Suspended Solid (TSS)	30
水温 (外気温に対する温度差)	±3°C
ノルマルヘキサン抽出物質 (鉱油)	5
石油及びグリース	検出限界以下
大腸菌 (大腸菌数/100ml)	同上
ヒ素	0.02

#### (2) 騒音・振動

騒音・振動に関する規制は、Environmental Management and Coordination (Noise and excessive vibration) Regulation、2009に規定されている。表2-4に工場等の騒音規制値、表2-5に建設工事の騒音基準を示す。振動については、敷地境界または移動発生源から

30m の地点において、0.5cm/秒を超えないことと規定されている。

表 2 - 4 工場等の騒音規制値

		騒音基準 (dB (A)) (Sound level limits)		騒音評価基準 (NR) <sup>1</sup> (Noise rating level)	
		昼間	夜間	昼間	夜間
A	静粛な地域	40	35	30	25
B	宗教施設	40	35	30	25
C	住宅地域	屋内	35	30	25
		屋外	50	35	40
D	商業・住宅混合地域	55	35	50	25
E	商業地域	60	35	55	25

昼間：午前 6 時 1 分～午後 8 時 (14 時間)、夜間：午後 8 時 1 分～午前 6 時 (10 時間)

表 2 - 5 建設工事の騒音基準

		騒音基準 (dB (A))	
		昼間	夜間
(i)	医療移設、教育施設及び身体障害者の住宅等	60	35
(ii)	住宅地域	60	35
(iii)	上記の地域以外	75	65

昼間：午前 6 時 1 分～午後 6 時 (12 時間)、夜間：午後 6 時 1 分～午前 6 時 (12 時間)

廃棄物処理に係る規制は、Environmental Management and Coordination (Waste Management) Regulation、2006 に規定されている。

#### 2 - 4 - 2 自然環境保全

自然環境の保全に関しては、Wildlife Conservation and Management Act (2009 年改正) に基づき、Kenya Wildlife Service (KWS) の設立、国立公園等の保全地域の指定等が行われている。同法に基づく自然環境の保全地域には下記の区分がある。これらの保全地域は官報で公示される。

- ・ 国立公園 (National Park)
- ・ 国立保全地域 (National Reserve) : 所管省庁との合意に基づき指定する保全地域。
- ・ ローカルサンクチュアリー (Local Sanctuary) : 指定された種を保存するための保護区で、面積が 2,600ha 以下の保護区。

#### 2 - 4 - 3 森林保全

森林保全については、Forest Act (2005 年) に基づき、Kenya Forest Service (KFS) の設立、森林保護区 (Forest Conservation Area) の指定等が行われている。自然環境保全等の観点から特に重要な森林については Nature reserve に指定され、すべての開発行為、狩猟等が禁止される。

<sup>1</sup> Noise Rating : ISO が室内騒音の評価のために作成した Noise rating curve による騒音基準

同法の対象となる森林は以下の森林である。

- ・ 国有林
- ・ 地方自治体森林 (Local authority forest) : community の共有林等地方自治体が権限を有する森林で、水源等としての管理、生物多様性等の観点から保全が必要な森林
- ・ 民有林 : 民有林の所有者が、保全が必要な森林として KFS に登録した森林

森林内において開発を行う場合には、同法に基づき許可を取得しなければならない。

#### 2-4-4 文化遺産

文化遺産の保全については、National Museums and Heritage Act (2009年改正)に基づき、国立博物館の設立、文化遺産の指定等が行われている。

#### 2-4-5 環境保全に関する国際条約の批准状況

ケニアは、環境保全に関する以下に示す国際条約を批准している。

- ・ Montreal Protocol for Substances Deletion the Ozone Layer
- ・ Framework Convention on United Nations on Climate Change
- ・ Convention on Biodiversity
- ・ Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat

#### 2-4-6 水利用に係る制度

水利用については、Water Act、2002年に基づき、Water Resources Management Authority (WRMA) が設立されており、地下水の取水等にあたっては WRMA の許可を取得する必要がある。

#### 2-4-7 住民移転・用地取得に係る制度

憲法第64条により個人の土地所有権が認められている。また第63条によりコミュニティが community land を所有する権利も認められている。また、Land Act (2012年)は、公有地の管理・利用、私有地の取引、国及び county が公共目的のために土地を収用する際の手続きと補償等を規定している。

#### 2-4-8 環境影響評価

環境評価制度は、環境保全及び調整に関する法律 (Environmental Management and Coordination Act、1999) の第6章に規定されており、具体的な手続きや環境影響評価報告書の内容等は、Environmental (Impact Assessment and Audit) Regulations、2003に規定されている。地熱開発については、同法別表2において、地熱開発のための井戸掘削 (drilling for the purpose of utilizing ground water resources including geothermal energy) 及び発電変電設備の建設 (electricity generation stations, electrical transmission lines, electrical sub-stations) が環境影響評価の対象事業となっている。

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、環境影響評価報告書を作成する必要があると判断された事業については、環境影響評価報告書を作成し、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。環境影響評価報告書の作成は、NEMA の資格基準を満たして NEMA に登録された専門家が行わなければならない。図 2-7 に環境影響評価の手続きを示す。

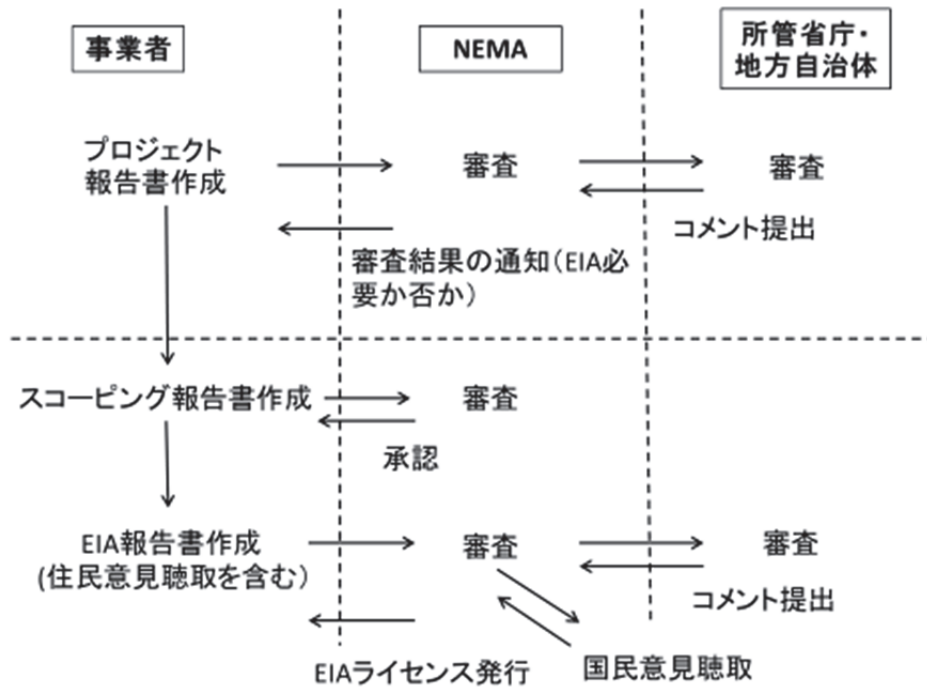


図 2-7 環境影響評価の手続き

地熱発電開発にあたり必要となる事業許可と環境影響評価の関係を表 2-6 に示す。

表 2-6 地熱発電開発に必要な事業許可と環境影響評価

事業		事業許可	環境影響評価 (EIA)
調査	地表調査	Geothermal Resources Act に基づく 探査許可 (MOE)	不要
	井戸掘削・噴気試験	同上	EIA 必要 (NEMA)
事業化	蒸気生産	Geothermal Resources Act に基づく 地熱資源ライセンス (MOE)	EIA 必要 (NEMA)
	地熱発電	エネルギー法に基づく発電事業 ライセンス (ERC)	同上
	送電	エネルギー法に基づく送電事業 ライセンス (ERC)	同上

ERC : Energy Regulatory Commission

## 第3章 GDC の計画

### 3-1 GDC の地熱開発政策（GDC の全体計画について）

地熱の電源開発費用が最も安価であるとの評価を受けて、ケニア政府は当面の電源開発を地熱を中心にして行うことを決定し、地熱開発を加速するため 2008 年に政府の特別目的会社として GDC を設立した。これは地熱開発を促進するうえで最も大きな障害となっている要因は資源開発リスクであるとの分析から、資源リスクを政府機関が担う、すなわち、公的機関である GDC が地熱の探査や生産井の掘削に伴うリスクを負担することにより、地熱発電開発における民間部門の参加を促進させるというものである。GDC は、地熱蒸気を開発して、図 2-2 に示したように KenGen を含めた IPP に蒸気供給販売を行うビジネスモデルがつけられた。

なお、GDC の業務範囲は、既に KenGen や IPP に認可されている地熱地帯以外のすべての地熱地帯となっている。最近の GDC が公募しているプロジェクトの内容によれば、蒸気開発についても IPP の参画を期待しているものもある。Menengai 地区のように大規模な地熱フィールドにおいて、開発が軌道に乗れば資源リスクも低減し、IPP による資源開発に対するリスク評価も低減することを期待しているものと思われる。

GDC の基幹業務として想定されていたものは以下に示すものである。

- ① 地熱資源の探査・開発
- ② 掘削－試掘井、評価井、生産井、還元井、補充井及び井戸の補修・保全（ワークオーバー）
- ③ 地熱フィールドの開発
- ④ 噴気試験・坑井試験
- ⑤ 貯留層及び坑井管理
- ⑥ 蒸気販売

当初 GDC の経営計画は非常に積極的なものであり、表 3-1 に示すように、掘削業務を請負っていた Olkariai 地区から始めて Menengai 地区の I 発電所から VI 発電所の開発、また Silali I 発電所から IV 発電所、更に PakaI 発電所から III 発電所と、これらの開発を同時並行して進めようとしていた。この事業に必要な予算の想定額の推移を表 3-2 に示すが、2017 年までに総額 10 億米ドルを超えるとしていた。なお、この事業に供する掘削リグは表 3-3 に示すように Olkariai 地区におけるサブコントラクター 3 基を除いて、2012 年までに 12 基を購入する計画であった。これらの資金のファイナンスの内訳は表 3-4 に示す（ただし 2009 年～2018 年の 10 年間の総額）。

しかしこれまでの実績をみるとこれらの計画は大きく後退または遅延しているといわざるを得ない。2013 年 6 月時点で Menengai 地区における掘削井の数は 13 本程度であり、当初 2012/2013 に予定していた累計 38 本には、到底達するとは考えられない。また掘削リグの購入実績にしても、予定の 2012 年までに総計 12 基の 3 分の 1 にとどまっており、追加の 3 基がおそらく 2014 年初頭に納入される状況である。

このような状況から判断して、GDC の事業への実際の投資額も大幅に減額されているものと考えられる。また大きなキャッシュフローが見込める Menengai I の運転開始は、当初予定していた 2015/2016 年での実現は到底困難と思われる。したがって、今後もしばらくは投資の抑制は続くものと思われる。

現在の GDC の財務状況について、GDC より開示がないために分析することはできないが、額

は不明であるが、Olkariai 地区開発に係る政府関与分が GDC に支払われており、ケニア政府からの援助及びドナーからの有償無償の支援を除いて、現在これが唯一の収入源となっているものと思われる。

図 3-2 に GDC の組織概要を示しているが、現在 GDC の要員の 3 分の 1 ほどは元 KenGen の地熱開発に従事していた従業員であり、多くの専門家を GDC に雇い入れている。最高経営責任者を含めて 2 名の職員は、地熱技術の博士号を取得している。しかし、それでもいまだ多くの専門家を迅速に養成する必要がある。GDC はまた、これまでケニアでは経験したことがない蒸気供給契約 (Steam Sales Agreement : SSA) に関する文書の作成や交渉に当たる要員を養成する必要がある。

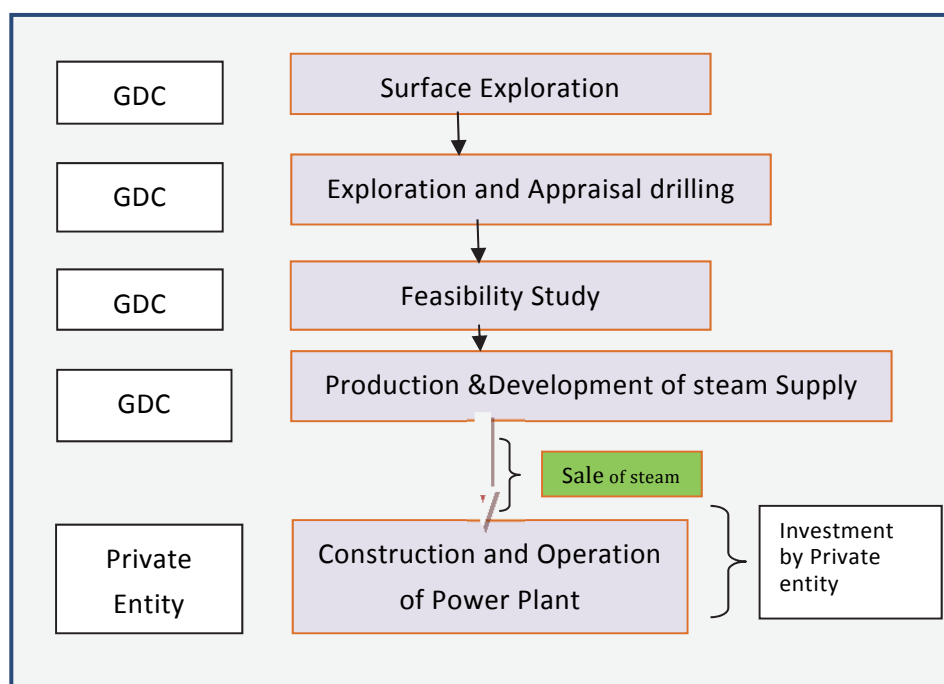


図 3-1 GDC のビジネスモデル

表 3-1 2010 年における GDC の地熱開発計画（掘削坑井数）

フィールド	発電容量	井戸総数	掘削リグ	2009 / 10	2010 / 11	2011 / 12	2012 / 13	2013 / 14	2014 / 15	2015 / 16	2016 / 17	2017 / 18	2018 / 19
OLKARIA IV	140	18	請負 1&2	6	10	2	運開						
OLKARIA I	140	23	請負 3		5	8	10	運開					
MENENGAI I	140	41	GDC 1,2		8	15	15	3		運開			
MENENGAI II	140	40	GDC 1,2,3					12	15	13		運開	
MENENGAI III	140	40	GDC 1-3							2	15	15	8
MENENGAI IV	140	40	GDC 1-3										7
MENENGAI V	140	40	GDC 1-3										
MENENGAI VI	140	40	GDC 1-3										
SILALI I	140	41	GDC 4,5			14	15	12		運開			
SILALI II	140	40	GDC 4,5					3	15	15	7		運開
SILALI III	140	40	GDC 4,5								8	15	15
SILALI IV	140	40	GDC 4,5										
PAKA I	140	41	GDC 6,7			8	15	15	3		運開		
PAKA II	140	40	GDC 6,7						12	15	13		運開
PAKA III	140	40	GDC 6,7								2	15	15

出所：収集資料・文献 33

表3-2 2009年当初におけるビジネスプランに基づく2009年~2017年にかけてのGDCの想定予算

SUMMARY OF CASHFLOWS									
A: Capital Equipment									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Rigs & accessories	70	105	105	140	0	0	0	0	0
B: Operating Expenses									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Staff and administration cost	5.71	10.09	12.56	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67
Infrastructure	7.34	20.19	40.28	159.72	0.06	2.33	0.53	0.44	0.71
Scientific	0.75	2.75	2.75	4.25	4.25	0.25	2.25	4.25	2.25
Well testing	0.78	2.67	4.63	6.70	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
Drilling	39.00	121.50	176.00	245.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
Total (MUS\$)	53.58	157.20	236.23	428.33	202.37	200.65	200.85	202.76	201.03
	4.29	12.58	18.90	34.27	16.19	16.05	16.07	16.22	16.08
Total expenditure	123.58	262.20	341.23	568.33	202.37	200.65	200.85	202.76	201.03
C: Funding Inflows									
Revenue From steam sales(MUS\$)		-	31	114	203	273	397	479	520
GoK - budget support	73	125	125	125					-
China Exim Bank (26 wells drilling services)		55	40						
AFD - Two rigs			73						
French Ministry of Finance			42						
China Exim Bank (3 rigs)			90						
China Exim Bank - (130 wells worth of materials)				80					
China Exim Bank - (40 wells worth of materials)				203					
KfW			16						
EIB			38						
World Bank			40						
Funding Deficit	51	133							
Total	124	313	495	522	203	273	397	479	520
Financing Gap (mUS\$)	(0)	51	154	(46)	1	72	196	276	319
Cummulative (MUS\$)	(0)	51	204	158	158	231	427	703	1,022
Cummulative (BKshs)	(0)	4	16	13	13	18	34	56	82

出所：収集資料・文献 33

表 3 - 3 2009 年当初における GDC の掘削リグ購入計画

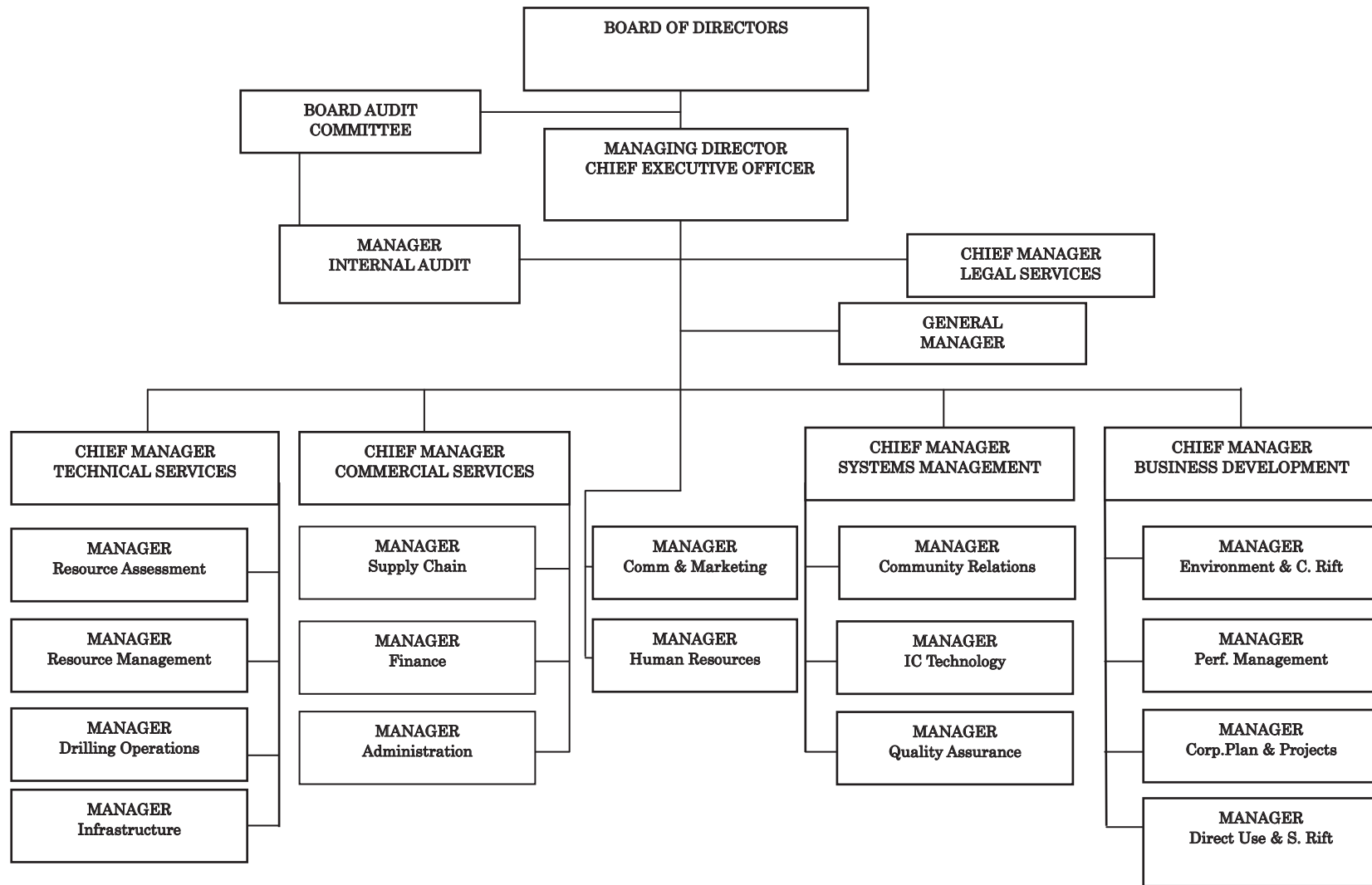
	2009	2010	2011	2012	2013	
サブコン-1&2	3					
GDC Rig 1、2、3、4 & 5		5		ケニア政府及び中国輸銀		
GDC Rigs 6、7 & 8			3	AFD 及びフランス政府		
GDC Rigs 9、10、11 & 12				4	GDC 自己資金	
総数	3	8	11	15		

出所：収集資料・文献 33

表 3 - 4 2009 年当初における 10 年間（2009～2018 年）の GDC の想定予算内訳

Description	Financing(MUSD)			Total
	GoK	GDC (Net Revenue	Development Partners	
Rigs & Equipment	130	177	205	512
Drilling Works	264.3	1,184	394	1,842
Scientific Services	25.3	58		83
Staff & Admin Costs	28.4	102		130
Total(MUSD)	448	1,520	599	2,567
% of Total	17%	59%	23%	100%

出所：収集資料・文献 33



出所：GDC

図 3 - 2 GDC の組織概要

## 3-2 GDC の現状・問題点

### 3-2-1 掘削

#### (1) 実施体制・人員育成計画

GDC における掘削にかかわる組織形態の概要を図 3-3 に示す。また現在 4 基の掘削リグにおける運用を行っているが、この 4 基の運用を支える要員のリストを表 3-5 に示す。組織体系図に示されていないが、掘削作業と深くかかわるロジスティクスサポート体制や資材調達及び HSE にかかわる要員組織体系が体制表に加わる。

GDC は、現在保有する 4 基のほかに、新たに 3 基のリグを購入中であり、このうち 2 基を Menengai 地区に投入する予定である。この後更に 2 基を購入して掘削リグ 9 基の体制を構築する計画のようである。

現在掘削リグ 4 基が稼働しているなかで、掘削関連要員の数は 207 名であるが、これが将来的に 9 基のリグが運用する際には、GDC は合計 776 名の要員を必要とするものと予想している。本年度 3 基が新たに加わるケースの必要要員数は約 604 名であり、現在の要員数に更に 400 名を超す人員の補強を早急に必要とする。

一方で、現在従事している掘削要員の熟練度は決して高いとはいえず、またこれらの要員に対する教育訓練制度は、いわゆる現場での OJT に依存するのみであり、何らの指導書あるいは指導教育を専門に行う専門家が配置されているわけではない。すなわち、要員に対する教育・指導は実質的にほとんど存在しないといっても過言ではない。

無論 GDC の経営層は、掘削要員の育成の重要性は十分に意識しており、掘削リグの購入契約には、メーカーに対して一定期間、GDC 要員への技術教育を施すように課していた。また、フィリピン人やインドネシア人の掘削専門家を各掘削リグに配置し、彼らが実質的にリグの運用を行っているわけであるが、その雇用契約にも GDC 要員に対する教育指導の役割を要求している。

しかし、これらいずれの教育訓練も機能していないのが実情である。メーカー及び外国人ドリラーにとって自らのビジネスの機会をなくしてしまうような行為を意図的に避けている可能性がある。

以上のほかに、使用資機材の品質や量、あるいは構造の理解不足といった問題、また後述するが Menengai 地区で採用されている掘削技術や手法にも課題があると考えている。すなわち、一般的ではない掘削方法（例えば特殊なフォームドリリングによる掘削など）の採用や、抑留事故に対する原因理解の不足など、エンジニアリング的な理解が不足していることも教育を困難にしている原因の 1 つとなっているように思われる。



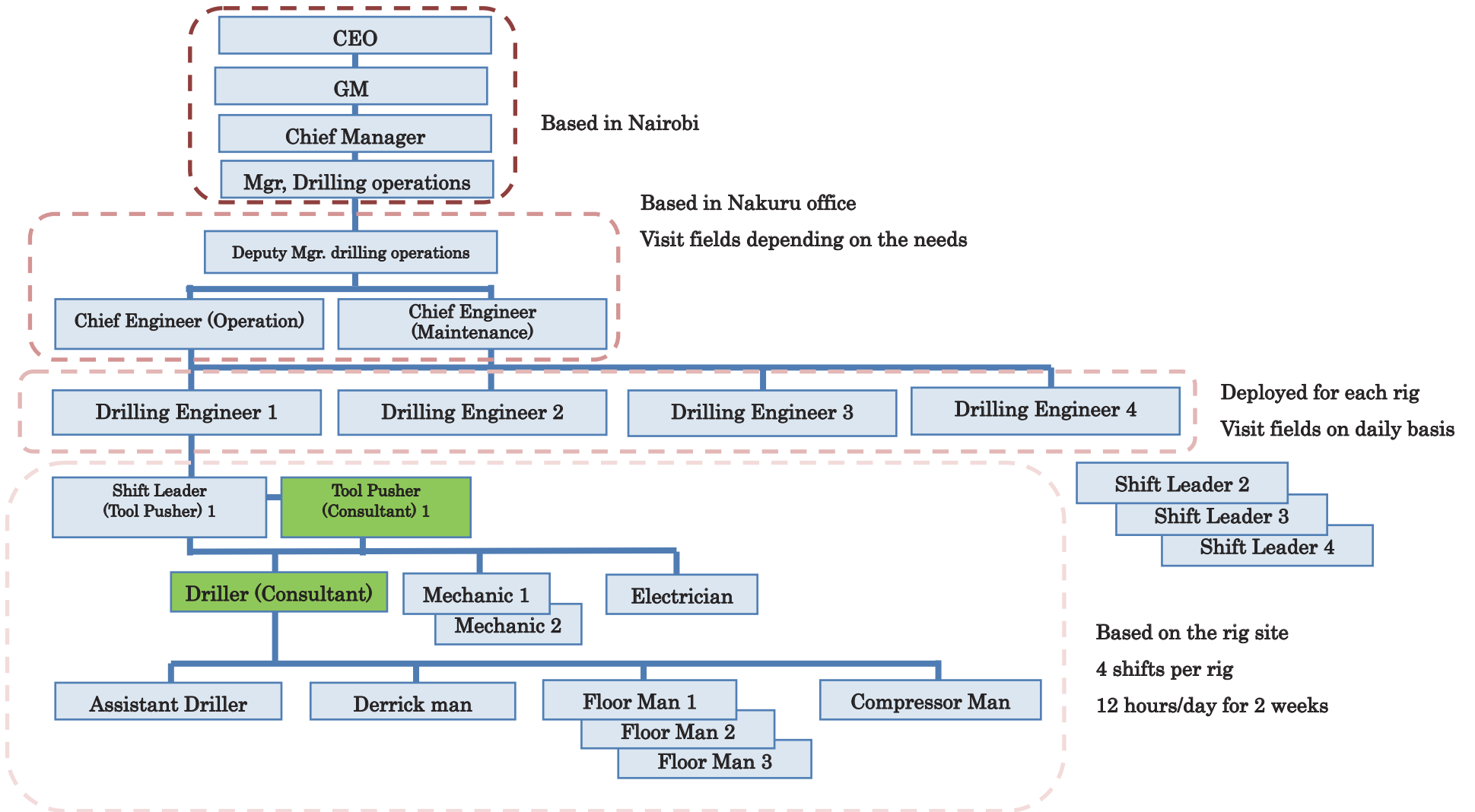


図 3 - 3 GDC の掘削運用にかかわる体制

表 3-5 現在の掘削要員数（4 基稼動）及び 9 基における必要要員数

	現在の要員数	9 基体制の必要数
マネジャー	1	1
次長	1	1
主任技師・スーパーインテndan ト	5	9
小計	7	11
<b>保守・保全関連</b>		
シニア技師/掘削リグ	4	9
機械技師	0	9
電気技師	1	9
メカニック	13	72
電気工	16	36
機械作業員	0	36
電気作業員	3	36
コンプレッサー工	0	36
溶接工	3	18
小計	40	261
<b>キャンプ運用関連</b>		
掘削スーパーインテndan ト・キャンプボス	1	3
配管工	2	6
小計	3	9
<b>掘削作業関連</b>		
各掘削リグの主任技師	8	9
傾斜掘専門家	0	3
ドリリングエンジニア	0	9
掘削スーパーバイザー/シフトリーダー	4	36
掘削作業員	8	36
デリックマン	16	36
フロアマン	54	144
ラストバウト	34	72
車両運転手	7	36
小計	131	381
<b>セメンチング関連</b>		
主任セメンチング技師	2	3
セメンチングエンジニア	0	5
セメンチング作業員	5	20
実験室スタッフ	1	4
ラストバウト	1	20
小計	9	52
<b>ロジスティクス・プランニング関連</b>		
主任技師	1	3
エンジニア	2	4
ロジスティクス・プランニング所員	1	6
ロジスティクス補佐	2	2
クレーン・フォークリフト運転手	9	16
特殊車両運転士	5	14
ラストバウト・補佐作業員	0	14
小計	20	59
<b>HSE 関連</b>		
主任技師	0	3
HSE エンジニア	0	9
小計	0	12
<b>総計</b>	<b>207</b>	<b>776</b>

出所：GDC

(2) 実施能力、保有設備機器

1) 掘削作業の概要

SIMBA-1 (トップドライブ) 及び SIMBA-2 (ケリー) は 2010 年に導入され、その後 KIFARU-1 (ケリー) 及び KIFARU-2 (トップドライブ) が導入されて運用されている。これまで GDC は Menengai 地区に 14 本程度の掘削実績を有するが、すべて垂直井の掘削のみの経験しかない。なお、6 月初旬時点で、SIMBA-1 は 2,000m 強の坑井の掘削を終了、SIMBA-2 は 12 1/4" (12 インチクォーター) 坑の掘削中にドリルパイプが抑留されて 1 カ月作業が停滞、結局掘削機器の回収に失敗してビットやドリルカラー、ヘビータンクドリルパイプ及びドリルパイプを坑内に残してセメントプラグを打ち、サイドトラックの作業を行っている。ただし、これらのフィッシングやサイドトラックの作業についての機材や専門家は GWDC (CNPC Greatwall Drilling Company 中国石油長城掘削工程公司) からレンタル及び派遣のサービス提供を受けて実施している。

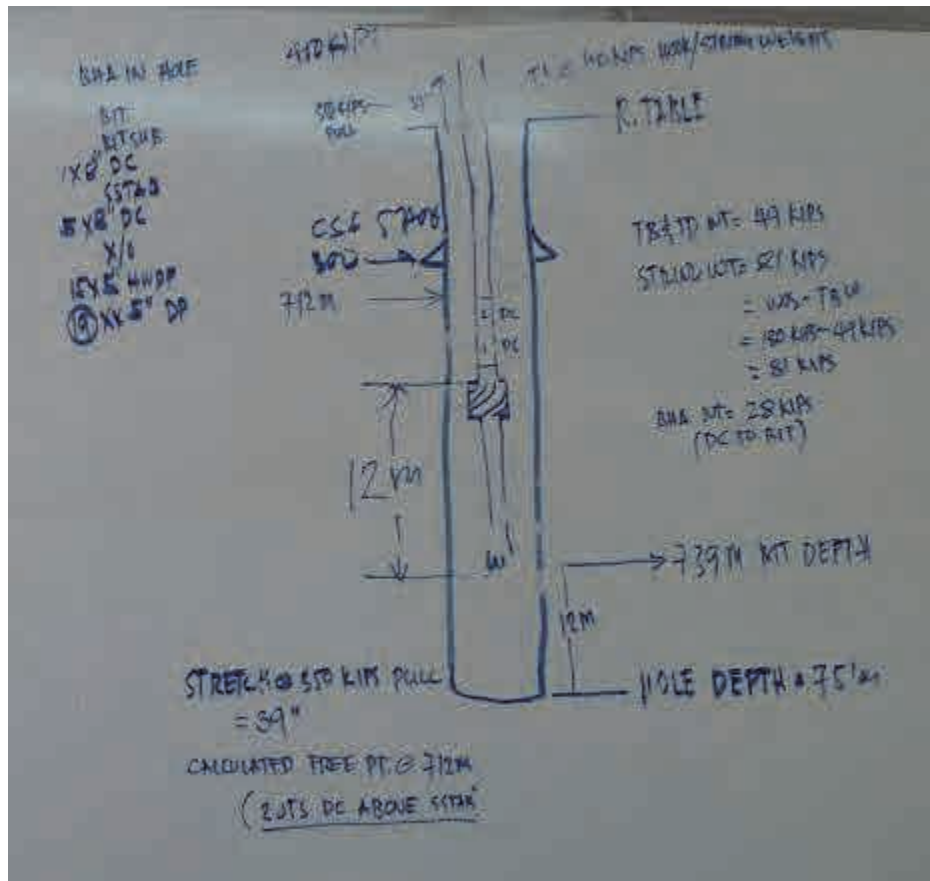


図 3-4 SIMBA-2 における坑内抑留状況—多くの掘削配管を遺失した

KIFARU-1 は、当初 2,200m 弱の予定であったが、硬い岩相が予想外に続き有望層は見込めないとして 1,680m で打ち切りとなって次の掘削地点に移動作業中、KIFARU-2 は 17 1/2" (17 インチハーフ) 坑の掘削を完了、13 3/8" ケーシング敷設及びそのセメンチングを終えて、12 1/4" 坑の掘削中である。なお、これまでの掘削実績に関して、多くのトラブル、特に抑留事故に見舞われているとの話である。

SIMBA-1 及び 2 の 2 つのリグについてはメーカーのサービス期間を終えており技術者中国石油技術開発公司 (China Petroleum Technology and Development Corporation : CPTDC) の常駐はない。後者については CPTDC の技術者が 1 名常駐。更に状況に応じて KenGen の Oikaria 地区でも掘削を請け負っている GWDC に資機材や技術者のサービス提供を依頼している。

各リグにおける要員は 12 時間交代の 4 シフト (このうち 2 シフトは休暇。各シフトは機械工及び電気工をいれて GDC の従業員が 8 名と外国人ドリラー 1 名) から成っている。外国人ドリラーは、實際上、機器の運用を担っておりフィリピン人やインドネシア人が主体である。彼らは主に石油掘削の経験をもっているものが多い。

GDC クルーのうち、作井部に属する要員は、現場責任者であるツールプッシャーと次に重要な地位を占めるアシスタントドリラー及びデリックマン (モンキーボードに昇り上階にてパイプの操作を仕切る) があり、その下位のラストバウトと呼ばれる作業員、更に機械工、電気工及びコンプレッサーマンとがいる。これらの GDC クルー以外に下請けのディーラー保守要員 (発電機やコンプレッサーのエンジン部の保守を行うキャタピラーなど) や数名のカジュアル作業員がいた。なお、ケニア人掘削作業員のなかには数は少ないが女性従業員もいる。この他、貯留層評価チームから掘削屑の採集などを行う地質エンジニアがいる。

実質的な作業責任者は外国人ドリラーであり、フロアーにあるコンソールキャビン内においてフロアー上の一切の作業を取り仕切っている。コンソールの運転ができるケニア人要員の数は極めて限られている。ツールプッシャーレベルでも、適切な教育を受けているとはいえない。

なお、通常の掘削現場において重要な役割を果たすマッドエンジニアはいない。

## 2) 掘削作業に関する現状の問題点・課題

上記の現状及びこれまでの掘削実績によると必ずしもスムーズに行われていないことがわかる。この原因として、現状の GDC の掘削部門における問題に起因するものが多くあると思われ、その課題は多岐にわたっている。これらは、大きく、①機械設備及び資機材にかかわるもの、②人材にかかわるものの、③組織形態にかかわるもの、④掘削計画及び掘削方法にかかわるもの、⑤安全や環境にかかわるもの、⑥ロジスティクスあるいは資機材調達にかかわるものに分けられる。以下、これらの項目ごとに述べる。

### ① 機械設備及び資機材関連

資機材については、a)故障・不具合のあるもの、b)あるべきものがないもの、c)貧弱な仕様/品質の機材・工具 (独自規格で信頼できる規格品の互換性に欠けるものも含む)、及び d)資機材調達管理と区分できる。これらの問題は、ケニア人技術者や作業員が運用や保全・補修技術を習得する際に更なる障害となっている。

#### a) 故障・不具合のもの

機器装置の運転状況は効果的な保全・補修計画が不備であることから多くの重要機器が問題を抱えている。特に当初購入された SIMBA-1 と SIMBA-2 についてはメーカーの保守サービス期間を終えており、極めて深刻な状況にある。例えば、SIMBA-1 については空気混合掘削に用いる大型圧縮機 5 台のうち 2 台、ブースター 2 台のうち 1 台は動いていない。ドリルパイプの接続・脱着を行うパワートングや

ハイドロリックトングのトルクセンサーにも問題がある。

SIMBA-2 の大型圧縮機やブースターについても同様な状況であり、コンソール内の計器類に至ってはまともに動いているものは少数である（トルクインジケータ、マーチンデッカー及びコンソール外のマニフォールドに装備している泥水圧力計くらい）。またコンソールの液晶ディスプレイ上のすべてのインジケータ類は動いてないか間違った数値を示している。更にコンソールのデータは PC につながれて常時記録されているはずであるが、データの保存が何らかの原因によりうまくできていない。したがって、掘削トラブルの原因究明や掘削手法の向上に過去のデータが有効に使われていない。

このほか、ドリルパイプの接続・脱着に使うスピナーと呼ばれケリーの上に接続されている圧縮空気駆動の回転器は稼動スピードが遅い。また、フォームドリリング中にローテーティングヘッドから回帰してきた泡が吹き漏れていたが、これはシールの不具合によるものと思われる。この他、機器装置の一部が壊れて使えなくなっているものや、工具類の品質が貧弱で壊れているものも多く散見される。

5 台の圧縮機と 2 台のブースターへの燃料供給ラインは、これらの機器からのみならず配管のつなぎ目やバルブなどからの油漏れが激しい。明らかに保守・補修管理の問題と思われる。

購入時にメーカーに対して技術トランスファーを義務づけていたとのことであるが、実際のメーカーの対応は極めて非協力的であり、ケニア人技術者のキャパシテビルディングは全く実績をあげていない。

b) あるべきものがないもの

- ・ 傾斜掘りに用いる資機材（ダウンホールモータ、ベントサブ、シングルショット、サンドライン及びウィンチ）
- ・ フィッシングツール
- ・ 抑留時に有効なジャールス
- ・ 機材類を吊り上げるためのケーブル類（調達管理の問題に帰すべき問題？）

いうまでもないが上記の機器装置についての運用ノウハウを全く有していない。更にこれらの機器はいったん使用した後には必ず解体点検が必要であり、これには特殊な工作機械を必要とする。このメンテナンスをどこで実施するか検討も必要。

c) 貧弱な仕様/品質の機材・工具（独自規格で信頼できる規格品の互換性に欠けるものも含む）

SM-2 におけるケリーライン（泥水循環ライン）は、不具合により既に 2 回交換しており、現状で 5,000psi の定格に対して非常に低い上限を設けて運用している。このケリーラインを含めて高圧配管及び高圧ホースの接続部は中国メーカー独自の規格であると思われ、API や ANSI などの信頼できる製品との互換性がない。したがって止むを得ず中国メーカーから調達する以外にない。

パワートング（配管の接続・脱着を行う装置）は圧縮空気駆動であるが、通常用いられる米国メーカー製（油圧方式）と比べて設計・製作精度が貧弱であり、実際に作業中頻繁に故障していた。作業員は何が原因で動作に問題があるのか不明のまま作業を行わざるを得ない状況にあった。

#### d) 資機材調達管理

上記 b) のスリング・ケーブルなどは資機材管理及び調達スキームが正しく運用されていない証拠である。またリグフロア上のエアホイスラインは疲労・磨耗が激しく、既に交換されるべきであるものが使用し続けられている。

資材調達に関して、より大きな問題と考えられるものは泥剤である。泥水が全量回帰している状況においても清水による掘削を行っていたが、これでは岩石屑が坑口まで輸送できない可能性があり、大規模な逸水が生じた場合、掘削パイプが抑留される可能性がある。通常、ベントナイトベースの掘削泥剤を循環させて掘削するが、予算削減のためにドリルパイルジョイントの交換前にベントナイト・マイカフレーク混合泥水をわずか 80 バレルをスポットで入れるのみであった。分散剤を添加していないためにベントナイトは凝縮しやすく泥水本来の機能を果たしていない。高価な泥剤が逸泥により遺失することをもったいないと考えているものと思われるが、これがもたらす弊害は大きい。

#### ② 人材関連

経験を有した現場要員が決定的に不足している。現場では最高位のツールプッシャーでさえも正直に自分らは素人であると述べている。

更に教育、訓練プログラムはないといってよい。OJT にしても習うべき手本がないなか、また前述したように、装置の動作原理の理解なしに操作している。適切な学習教材もなく、経験の乏しい要員にとって学習環境は劣悪である。

既述であるが、傾斜掘りや傾斜測定、更にフィッシングに関するノウハウを有する要員がない。傾斜測定は垂直井においても実施すべきであるが、ほとんどの場合、掘削終了時点で坑底付近で実施するのみ。それも検層用のウィンチを用いて下げており通常用いるサンドラインがリグにない。またシングルショットは中国人の技術者により運用解析されている。

セメンチングについては、機器設備は十分過ぎるくらいもち合わせているものの、作業実績は簡単な一段プライマリーセメンチングしか行っていない。二段セメンチングについては機材もノウハウもない。

ケーシング敷設についてはライナーハンガーは用いていない。セッティングツールの経験はない。

泥水管理は掘削において最も重要な分野の 1 つであるにもかかわらず、マッドエンジニアがいない。

#### ③ 組織形態

指揮命令系統及び責任の所在が明確ではない。現場ではツールプッシャーが責任者として明確となっているものの、経験不足に加え彼ら自身も作業のシフトに組み込まれており、常時、各リグにおける運用について責任を担うリグスーパーインテンダントの存在が明確ではない。

4 基のリグ全体のオペレーション及び Menengai 地区内におけるその他の作業を全体をコーディネートする機関または仕組みが存在しない。

マッドエンジニアが存在しない。

#### ④ 掘削計画及び掘削方法

これまですべて垂直井の実績しかないが、比較的容易な垂直井においても抑留や掘削機器の遺失などの事故が絶えない。この原因として、要員の経験不足や機器装置の未整備や欠陥から生じる不具合、あるいは不適切な使用などの他に掘削手法の問題があるものと思われる。

浅所において逸水がない箇所では清水のみを循環して掘削している。清水のみではビット先から掘削屑を地表まで上げる能力に欠ける。このような状況で大規模な逸水に遭遇した場合、掘削屑が坑内で一挙に滞留してドリルパイプの抑留の危険性が増す。掘削時、ジョイントが交換される前に、ベントナイト及びマイカフレークを混ぜた泥水を80パーレルほどスポット注入しているとのことであるが、分散剤を入れていないためにベントナイトがフロック化しやすい。清水ではなく、ベントナイト泥水に適切な分散剤や増粘剤、LCMなどを添加した泥水を用いて行うべきである。

フォームドリリングは、基本的に8 1/2"坑において用いられているが、適切なフォームの状態になっておらず、サンドシェーカーで多量の水分が分離されて泥水タンクに落ちていた。高温高圧の坑内において、はたしてどれほどのフォームが形成されているか疑問である。したがって本来なら確実にアンダーバランス状態にできるはずであるが、逸水区間においては、かなりの量が逸水しているように思われる。岩石破砕屑の量も通常の掘削方法より明らかに少なく、かつ掘削屑の粒径が細かいことから、多量の掘削屑が地表まで上がってきていない可能性もある。

フォームドリリングの制御は泥水が回帰するように圧縮空気の圧力を調整することで行っているが、エンジニアリング的考察が必要と思われる。すなわち、フォームドリリング掘削中におけるパラメータの管理基準の根拠を明確にするべきである。フォームの坑内における安定度を含めて検討する必要があると思われる。この他にケニア以外の地熱開発には現在ほとんど用いられていないフォームドリリングの使用をこのまま継続するのか、あるいは泥水ベースの空気混合掘削に転換するべきかの検討も必要と考える。

#### ⑤ 安全、環境関連

掘削作業にはさまざまな特殊技能や安全管理に関する資格が必要であるが各要員の取得状況が明確になっていない。例えば、溶接、クレーンやフォークリフトの運転、玉掛け、安全管理主任、危険物取扱者、産廃処理、職長、牽引などが挙げられる。ヘルメットなどに各自の有する技能を明示し、かつより詳細なリストを事務所に掲示するなどが必要である。これは要員の教育プログラム策定や人事管理にも有用である。

安全管理者は現場全体に2名いるだけであり、各リグに責任者はいない。

安全にかかわる記録が貧弱である。作業を中断させるような重大事故の数がニアミス事故の数より多い事実などは安全管理に問題があることを如実に示唆している。

#### ⑥ ロジスティクス及び資機材調達関連

ベントナイトなどの泥剤が十分に使われないでいることや、不適切な工具の使用、あるいは不具合のある機器装置が修理されない、あるいは交換されないでいる実状は大いに問題である。

固定資産や消耗品を含めて、どのような稼動可能な状況にあるのか把握できていな

い。

既述したように、Menengai 全体の作業をコーディネートする機関がない。

表 3-6 GDC ナクルオフィス及び Menengai 掘削要員

上級掘削技術者		車両運転手	
1	主任スーパーインテンドント	シフト A	
2	主任技術者	Rig1	
3	主任技術者	Rig2	
4	主任技術者	シフト B	
5	チーフオフィサー	Rig1	③
6	掘削スーパーインテンドント	Rig2	④
7	掘削技術者	シフト C	
8	掘削技術者	Rig1	⑤
9	掘削技術者	Rig2	⑥
10	掘削技術者	シフト D	
11	メンテナンス技術者（電気）	Rig1	⑦
12	メンテナンス技術者（電気）	Rig2	⑧
13	メンテナンス技術者（機械）		
14	メンテナンス技術者（機械）	クレーンオペレーター・特殊車両運転員	
15	セメンチング技術者	クレーンオペレーター	①
16	セメンチング技術者	クレーンオペレーター	②
17	ロジスティクス技術者	クレーンオペレーター	③
		クレーンオペレーター	④
シフトリーダー		特殊車両運転員	①
シフト A		特殊車両運転員	②
Rig1	掘削技術者	特殊車両運転員	③
Rig2	掘削スーパーバイザー	特殊車両運転員	④
Rig3	掘削スーパーバイザー		
Rig4	掘削スーパーバイザー	用水設備要員	調達担当要員
シフト B		①	1
Rig1	掘削技術者	②	2
Rig1	掘削スーパーバイザー	③	3
Rig2	セメンチング技能士	④	4
Rig3	掘削スーパーバイザー	⑤	5
Rig4	掘削スーパーバイザー	⑥	6
シフト C		⑦	7
Rig1	掘削スーパーバイザー	⑧	8
Rig2	掘削技術者	溶接工	セメンチングクルー
Rig3	掘削スーパーバイザー	①	1



Rig4	掘削スーパーバイザー	②	2
シフト C		③	3
Rig1	掘削技術者	ケータリング	4
Rig2	掘削スーパーバイザー	①	セキュリティ要員
Rig2	掘削スーパーバイザー	②	1
Rig3	掘削スーパーインテンドント		2
Rig4	掘削スーパーバイザー		

RIG4 (TD) SHIFT							
SHIFT A	<b>DRILLING OPERATION</b>			SHIFT B	<b>DRILLING OPERATION</b>		
	1		DRILLING ENGINEER		1		DRILLING ENGINEER
	2	ERNEST MALEL	100261 DRILLING SUPERVISOR		2	CYRUS MUMO	100264 DRILLING SUPERVISOR
	3	JOSEPH NJOROGE	100520 DERRICKMAN		3	STANLEY WACHIRA	100518 DERRICK MAN
	4	JOSEPH GAYA	100534 RIGFLOORMAN		4	WANYAMA MISIKO CHARLES	100524 RIG FLOORMAN
	5	EMMANUEL SOITA	100446 RIGFLOORMAN		5	STEPHEN OUNA	100620 RIG FLOORMAN
	6	JUSTUS MUTISO	100682 RIGFLOORMAN		6	KENNEDY SIMIYU	100672 RIG FLOORMAN
	7	KIBOR KIPKURUI	100526 RIGFLOORMAN		7	KENNEDY MWAMENGI	100735 RIG FLOORMAN
	8	DANIEL NATSE	100645 ROUSTABOUT		8	ALEX CHAKA	100730 ROUSTABOUT
	9	HARTWELL MWADIME	100678 ROUSTABOUT		9	URRANUS MATATA	100667 ROUSTABOUT
	10	JOHN NJIRIA	100649 ROUSTABOUT / PERM R/B		10		ROUSTABOUT
	11		DRIVER		11		DRIVER
12	Michael Omondi	100271 F/W	12				
	<b>RIG MAINT</b>				<b>RIG MAINT</b>		
1	VINCENT OHANYA	100385 RMT(M)	1	LILLIAN OKWIRI	100283 RMT		
2	PETER NGUURI KARIUKI	100606 RMT(E)	2	ERIC WANYONYI	100410 RMT(M)		
3	ELIJAH KIPYEGO	100288 RMT(E)	3				
4			4				
5			5				
SHIFT C	<b>DRILLING OPERATION</b>			SHIFT D	<b>DRILLING OPERATION</b>		
	1		DRILLING ENGINEER		1		DRILLING ENGINEER
	2	DENNIS ONCHIRI	100259 DRILLING SUPERVISOR		2	BERNARD MBALUKA	100263 DRILLING SUPERVISOR
	3	KIMANI NGURE EDWARD	100517 DERRICK MAN		3	ABDURAHMAN ABDULRAHIM	100512 DERRICKMAN
	4	NGUMBAU ELIUD WAMBUA	100508 RIGFLOORMAN		4	WANJALA GODFREY KUNDU	100525 RIG FLOORMAN
	5	THEOPHILUS LANGAT	100618 RIGFLOORMAN		5	FESTUS MUTUMA	100491 RIG FLOORMAN
	6	JUMA OMONDI JABES	100601 RIGFLOORMAN		6	ALBANO MWAMBERE	100604 RIG FLOORMAN
	7	JOSEPH WANJALA	100689 RIGFLOORMAN		7	PETER NDEGWA	100742 RIG FLOORMAN
	8	CAVINE OKHEBE	100694 ROUSTABOUT		8	KENNETH ROTICH	100686 ROUSTABOUT
	9	Lillian Okwiri	100649 ROUSTABOUT		9		ROUSTABOUT
	10		ROUSTABOUT		10		ROUSTABOUT
	11		DRIVER		11		DRIVER
12			12				
	<b>RIG MAINT</b>				<b>RIG MAINT</b>		
1	LAWRENCE MAKUNI	100562 RMT(M)	1	GEOFFREY KABUA	100290 RMT(ELEC)		
2	MICHAEL RILINGU	100355 RMT(ELEC)	2	JOB SIMIYU	100172 RMT(M)		
3	SHEM MIRITI	100193 RMT(E)	3				
4			4				
5			5				

図 3 - 5 KIFARU-2 の掘削要員リスト



GDC GEOLOGY WELL SAMPLING SHEET

MENENGAI WELL NO: 13 DRILLING RIG: SimBor 1

DATE	TIME (HRS)	DRILLING STATUS	CIRCULATION ON RETURNS	SAMPLING DEPTH INTERVAL (m)	SAMPLE INTERVAL (m)	R.P.P. (m/hr)	OUTFLOW TEMP (°C)	INFLOW TEMP (°C)	Remarks: Day
<del>2010/10/13</del>	08:00	NO DRILLING	NO CIRCULATION	1682-1684	2m	2.2	26.2	26.7	Shift: <u>Day</u> Sign: <u>[Signature]</u>
	08:00	"	"	1684-1687	"	3.0	26.7	26.8	
	08:31	"	"	1687-1688	"	2.4	26.8	26.8	
	08:45	"	"	1688-1688	"	5.0	26.7	26.2	
25/10/12	09:25	NO DRILLING	NO CIRCULATION	1688-1690	2m		24.1	-	Remarks: Night
	10:22	"	"	1690-1693	"		24.4	-	Shift: Sign:
	12:15	"	"	1693-1694	"		25.8	29.8	
				1694-1696	"				

Rev. 1 Effective Date: 16<sup>th</sup> October, 2012 GDC/TS/GRA/GEO/11/M/03

図 3-7 掘削屑サンプル記録

IN CASE WE ARE NOT DRILLING

Date	Shift	Technician	Sign	Remarks
2010/10/13	DAY	Kejima	[Signature]	Remarks: <u>Need to change bit</u>
2010/10/13	NIGHT	Uyama	[Signature]	Remarks: <u>300m - Trip out to change bit</u> <u>200m - Trip out to change bit</u> <u>100m - Trip out to change bit</u> <u>50m - Trip out to change bit</u>
2010/10/13	DAY	Kejima	[Signature]	Remarks: <u>→ Installing new bit</u> <u>→ Running in hole</u> <u>→ Trip out to change bit</u> <u>→ Circulating to an effective string</u>
2010/10/13	NIGHT	Kejima	[Signature]	Remarks: <u>→ Circulating to an effective string</u> <u>→ Running in hole</u>
		Technician	Sign	Remarks:
		Technician	Sign	Remarks:

Rev. 1 Effective Date: 16<sup>th</sup> October, 2012 GDC/TS/GRA/GEO/11/M/03

図 3-8 リグ作業記録 (掘削作業以外)

GDC		GEOLOGICAL WELL LOGGING SHEET-Binocular Examination		
Section: RD/Geology				
Project: <u>Mehengai</u>		Site:		
Well No. <u>13</u>		Sig. 1		
Updated period: 00:00 to 24:00 hrs.		Date: <u>08/02/2013</u>		
Depth (CT- m)	Rock description	Rock type	Secondary Minerals	Remarks
1384-1390	Grey feldspar porphyritic lava. The matrix is very fine grained while the phenocrysts are white and large over	Trachyte (Trachyphonic)	-Clay -minor Calcite	
Report by: <u>Kendi</u> S/NO: <u>100743</u> Depth Range: <u>6m</u> Designation: <u>Geologist</u> From (m): <u>1384</u> Date: <u>08/02/2013</u> To (m): <u>1390</u> Page 1 of 1				

図3-9 掘削屑サンプル顕微鏡分析記録



ローテティングヘッドより吹き出ているフォーム掘削水



マッドピット内で泡が風にあおられて舞い上がっている。



サンドシェーカーにて分離されるフォーム。フォームドリリングの泡にしては量が少なすぎるように思える。



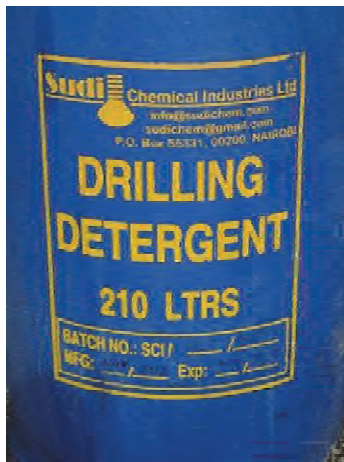
サンドシェーカーにて分離され泥水タンクに落ちている水分



サンドシェーカーにて分離されシューターに落ちている泡と掘削屑



サンドシェーカーにて分離され泥水タンクに落ちている水分



フォームドリリングに用いられている洗剤



燃料ラインからの漏れ



ドリルパイプ用パワートング



DP 用パワートングのアームのシリンダーが変形。クルーが整備中。



DP スリッパのハンドルが破損



破損したトングのチェーン



破損したトングのチェーン



破損したトングのチェーン



高圧配管のシールは1個のOリングのみで貧弱



故障中のマッドラインの圧カゲージ





マーチンデッカーとトルクメータしか正常に機能していない。



エアホイスのラインは磨耗及び変形している。交換が必要。



泥水ライン圧カゲージ



ワイヤーラインウィンチ（故障中）

DRILLING OPERATIONS ACCIDENT REGISTER					
YEAR	FATAL/MAJOR (LTA)	MINOR (NON-LTA)	NEAR-MISS	VEHICLES	
2010	-	2	-	1	1
2011	-	2	4	-	1
2012	-	5	21	4	-

ニアミス事故が重大事故数より少ない。



地熱熱水を周囲環境に廃棄。



泥水ポンプの高圧配管のリリーフバルブ排出口



新しいリグの泥水ポンプの高圧配管のリリーフバルブ排出口

マッドラインが何らかの理由で詰まりリリーフバルブがトリップした場合、超高圧で排水が出てくる可能性がある。右の写真にあるように排水口は泥水タンクに向けて下方に向け、チェーンで固定する必要がある。



燃料ラインからの漏れ



不安定なゴンドラにおける作業



溶接用ゴーグルなしで作業



取り扱いの不備によりフレームが変形

### 3-2-2 探査・貯留層評価

#### (1) 探査

ケニア国内に賦存する地熱資源開発のために、GDC は保有する鉱区を以下の地域に分割した。

南部地溝帯地域（以下の地熱地帯を含む）

1. エブル(Eburru)、2. オルカリア(Olkaria)、3. ロンゴノット(Longonot)、4. ススワ(Suswa)、5. マガディ湖(Lake Magadi)

中部地溝帯地域（以下の地熱地帯を含む）

1. バッドランズ(Badlands)、2. メネンガイ(Menengai)、3. アルス(Arruz)、4. ボゴリア湖(Lake Bogoria)

北部地溝帯地域（以下の地熱地帯を含む）

1. バリンゴ湖(Lake Baringo)、2. コロシ(Korosi)、3. パカ(Paka)、4. シラリ(Silali)、5. エムルアンゴゴラク、ハマルヌ(Emuruangolak、Hamarunu)、6. バリアー(Barrier)

GDC が通常実施する地熱開発の手順を図3-10に示す。また各地熱地帯における開発の進捗状況を表3-7に示す。

GDC は地熱資源の調査及び開発に際して図3-2に示した技術サービス事業部(Technical Service Division)により実施している。このうち、資源評価部は地質、地球物理、地化学、そしてGISといった4課に分かれている。また資源管理部は貯留層技術、地熱フィールド、及び発電設備の3つの課に分かれている。

各部門は3つの異なった職種の要員により構成されている。

- ・ 技術者（資源評価部門では地科学者と呼ぶ）大学卒業を最低条件としている（BSc.）
- ・ 技能士（工学校または工業学校を卒業した者）
- ・ 技能工（機械工、電気工、溶接工等の特殊な技能の資格をもつ者）

例えば開発調査に係る業務は資源評価部門が担当しているが、ここに従事する要員は以下のような構成から成る。

- ・ 1～5年の経験を有した地質技術者が13名。
- ・ 6名の地球物理技術者のうち5名は1～5年の経験を有しており、他の1名は5～10年の経験を有している。また4名はアイスランドで6カ月間の研修を受けている。更に1名がニュージーランドにおける研修コースを受講しており、また1名は修士号を同国で取得している。
- ・ 7名の地化学技術者のうち6名は1～5年の経験があり、他の1名は5～10年の経験を有している。また4名はアイスランドで6カ月間の研修コースを受講しており、そのうちの1名は同国で修士号を取得している。
- ・ 技能士については、13名が地球物理技術者の助勢にあたっており、他に18名が地化学技術者の助勢にあっている。ただし彼らに特定の教育プログラムがあるとは思われない。
- ・ 技能工については、必要に応じた期間契約により採用されている。

ここでGDCの地熱開発の実施能力について述べる前に、技術協力の実施にあたってその対象を明確にするために、何をすべきかということと実際に行われていることを比較する

ための基準を設定する必要がある。

#### 地熱開発に必要な要素

有力な地熱貯留層を構成する4つの条件とは、①熱源、②水の供給、③透水性、そして④キャップロックの存在である。キャップロックとは透水性の低い変質帯であり、地下浅部の低温環境と深部の高温環境を隔てている。またキャップロックは地表からの水が貯留層に浸透するのを防ぎ、圧力と高温を保つ役割を担っている。これら4つの要素の組み合わせの程度によって地熱資源の品質を左右する。またこの地熱資源の規模や品質は、地熱発電や他の地熱有効利用の実施に影響してくる。

#### 成功する地熱開発へのプロセス

全体のプロセスは、下記に示した幾つかの工程（モジュール）から構成されており、投資効率を最大にするためには正しい順序で実施されなければならない（図3-11を参照のこと）。

##### <モジュール A（初期事業性調査）>

地表探査から掘削ターゲットや坑井パッド地点の選定までのすべての調査活動から成る。この段階では地質学や地化学、地球物理探査技術などの地科学的な手法を用いて、高透水性層の分布や帯水層の性状、熱源の位置や規模などの初期的な概要を把握する。このなかで最も重要になるのはキャップロック（帽岩）の範囲や厚み、あるいは分布深度であり、これにより掘削深度の選定や、キャップロックの下に広がる高透水性地層の分布状況を解析することにより掘削ターゲットの選定が可能となる。質の高いデータの取得とともに、最先端技術を用いたデータ解析、そして得られた情報を的確に判断する経験を組み合わせることにより、掘削ターゲットの選定精度を高め、リスクを最小限に抑えることが可能となる。またこのモジュールでは、地熱発電設備の建設及び発電所の運転時における周囲環境や自然への影響を評価する技術の研修も含んでいる。また自然災害（土砂崩れ、洪水や噴火など）の影響が少ない地点を選定するために周辺環境の調査を実施する。これにより配管や掘削パッド、更に発電設備の設置場所を決定する。このようにして当該地熱地帯の開発ポテンシャルの初期的な推測を行う。

##### <モジュール B（掘削）>

井戸の掘削活動から成る。この段階が地熱開発活動のなかで最も高価でリスクが高い調査工程となり、高価な機材や高度な人員配慮が必要となる。

##### <モジュール C（資源量評価調査）>

この段階では掘削地熱井の熱的及び水理学的状況を正確に解析するすべての活動を含んでおり、これまで実施された調査結果をすべて統合的に説明できる地熱概念モデルに情報を統合させる。この段階では、貯留層シミュレーションを用いて発電に供する地熱資源の能力を評価して、次のモジュール D での成果と併せて、貯留層の開発条件（最適坑口圧、生産流量及び還元量）の最適設計を行う。

##### <モジュール D（発電所及び経済性・財務的事業性）>

ここでは貯留層から発電設備の間におけるプロセスを最適化すること、採用するエネルギー変換技術（発電様式）や、発電設備への供給蒸気条件、更に生産地熱流体の発電所までの輸送方法や発電規模等を規定するすべての活動を含んでいる。貯留層から発電設備の間の最適設計が定まると、経済性評価が可能となり、最適な地熱資源開発のスキームが決定する。

#### <モジュール E（多目的利用）>

ここでは地熱発電以外の地熱資源の有効利用について評価・検討にかかわる活動を含む。

#### (2) GDC が実施した探査活動の評価

本調査において、GDC の担当部署の管理責任者と会談を行いこれまでの地熱調査について情報を収集した。更に GDC から下記の調査報告書を提供を受けた。

- ① Silali Report 21st June 2011
- ② Paka Compiled Exploration Report-18th of Oct.
- ③ Suswa Prospect - Draft 09 03 2013
- ④ Lake Baringo Draft report 18 10 2011
- ⑤ Suswa Prospect - Report 09 03 2013
- ⑥ Menengai geothermal prospect version 2

上記報告書と面談による情報に基づき GDC の地熱開発について調査団は以下のような評価を有する。モジュール A について地科学的調査を実施しているが、高透水性層に関する広域衛星画像の解析を行っていないように思われる。これを実施していれば、どの地域に物理探査を実施すればよいか、より高い精度で抽出することができたと思われる。

地化学については、GDC による報告書には適切な手法で実施していると思われるが、GDC の化学分析室から提出されたデータの精度を評価する必要がある。

物理探査については問題があると思われる。地球物理探査の方法はさまざまであるが GDC 自ら実施したのは MT と TEM であり、重力探査データや磁力探査、地震探査は他組織によるデータを使用している。原則として正しいデータを用いた解析であれば問題はないが、GDC は他者が提供したデータに基づくプロット結果のみを用いている。これでは新たな解析を行う場合に誤差を生じる可能性がある。

最も懸念されたのが MT のデータであった。GDC は開発地域における予想発電量の評価を低比抵抗異常帯の分布により求めている。しかしその方法はいわゆる KenGen 係数の  $15\text{MW}/\text{km}^2$  を乗じているのみであり、より進んだ解析手法（容積法＋モンテカルロ法）による精度の高い手法が存在するなかで、不正確といわざるを得ない。

GDC が作成した地熱概念モデルには物理探査により得られた地下の破碎帯や断層構造の分布が反映されておらず、またキャップロック構造の記述がない。したがって GDC がどのようにして地熱井の掘削ターゲットを選定しているのか、その基準方法は不明であり、GDC の地科学技術者との面談の際、彼らも同じ懸念を抱いていた。

測定装置とデータ処理ソフトウェアに関しては、それほど問題はない。詳細は表 3-8

(地質)、表 3-9 (地化学)、表 3-10 (物理探査) を参照して頂きたい。

### (3) 貯留層評価

貯留層評価にかかわる活動は資源管理部が所掌しており、以下の要員が従事している。

貯留層技術者の総数は 8 名であり、このうち 1~5 年の経験を有する技術者は 7 名いる。この他 10~20 年の経験を有する技術者を 1 名有している。彼らはアイスランドやニュージーランド及び日本〔西日本技術開発(株)〕で教育を受けた実績をもつ。

11 名の技術者がおり、内訳は機械工学、電気工学及びメカトロニクス工学と土木技術である。

技能士は電気、電子、機械(坑井検層)及び土木技術を専門としている。この職種には、米国 Kuster 社で訓練を受けた坑井検層業務や保守業務に従事する者もいる。

技能工のグループには、電気、電子、計装、溶接工、配管工がいる。約 10 名ほどが在籍しているがプロジェクトごとに雇用契約を結んだ契約社員である。

### (4) 坑内測定及び噴気試験

坑内測定は Kuster 社のメカニカルゲージを用いて実施されていた。表 3-11 にその詳細を示している。測定装置に問題はないと思われるし、測定に従事している要員の機器操作や運用のレベルにも問題はないと思われる。課題は測定の手法にある。例えば、掘削中の PT 検層は、孔明管を挿入した後、全体で 1 回のみしか実施されていない。この検層は、各ケーシングが挿入される前に実施されるべきであり、これにより各ケーシング深度における水位の情報やキャップロックの上下におけるより正確な地層の温度分布が推定でき、また浅部から複数存在する異なる水理系の水位などの特性に関する情報も得ることができる。

掘削完了後の掘削完了試験において、GDC は坑井試験データを短時間測定している。データ取得の時間があまりに短いことにより適切な解析ができていない可能性がある。噴気試験において、GDC はオリフィスプレートによる噴気流量・圧力の制御を行っておらず、ジェームズチューブを交換するのみである。これでは広い範囲で坑口圧力を変化させ、測定した各噴気データにより坑井特性を得るといった評価はできない。またジェームズチューブを交換する際、GDC は都度マスターバルブを閉めていったん坑井からの地熱流体の生産を停止している。しかしこの操作は、都度、貯留層の状態に影響を与えかねず正しい坑井特性が得られない可能性がある。取得データの品質に問題を及ぼす可能性がある。

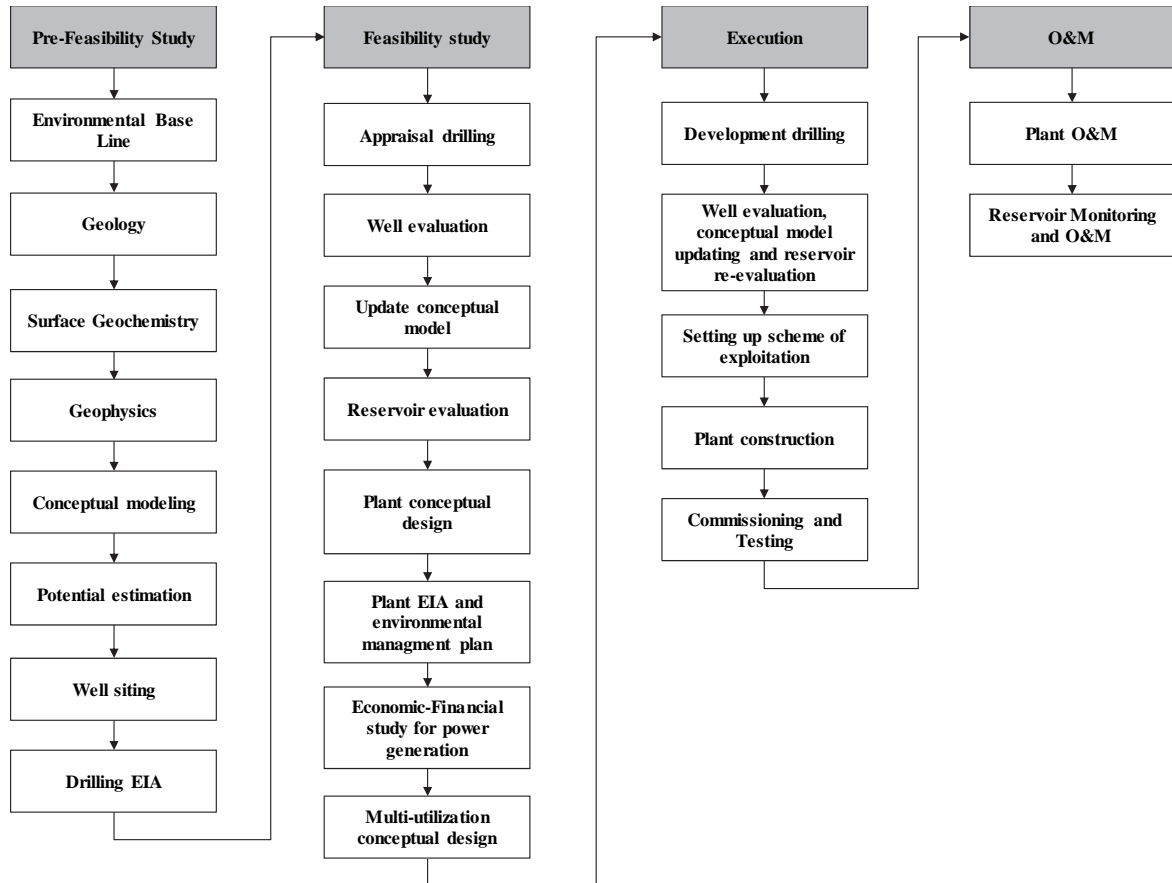


図 3-10 地熱開発の一般的プロセス

表 3-7 ケニアにおけるさまざまな地熱地帯の評価・開発状況

Region	Geothermal area	Pre-Feasibility						Feasibility				Execution		Comments
		Environment study	Surface Geology	Surface Geochemistry	Geophysics	Conceptual modelling	Capacity Estimation	Appraisal drilling	Reservoir Evaluation	Plant conceptual design	Economic-Financial analysis	Plant Cosntruction	O&M of reservoir and plant	
South	Eburru													KenGen
	Olkaria													KenGen
	Longonot													IPP
	Suswa													GDC
	Lake Magadi													GDC
Central	Badlands													GDC
	Menengai													GDC
	Arruz Lake Bogoria													GDC
North	Lake Baringo													GDC
	Korosi													GDC
	Paka													GDC
	Silali													GDC
	Emurama-Gongolak													GDC
	Hamarunu													GDC
	Barrier													GDC

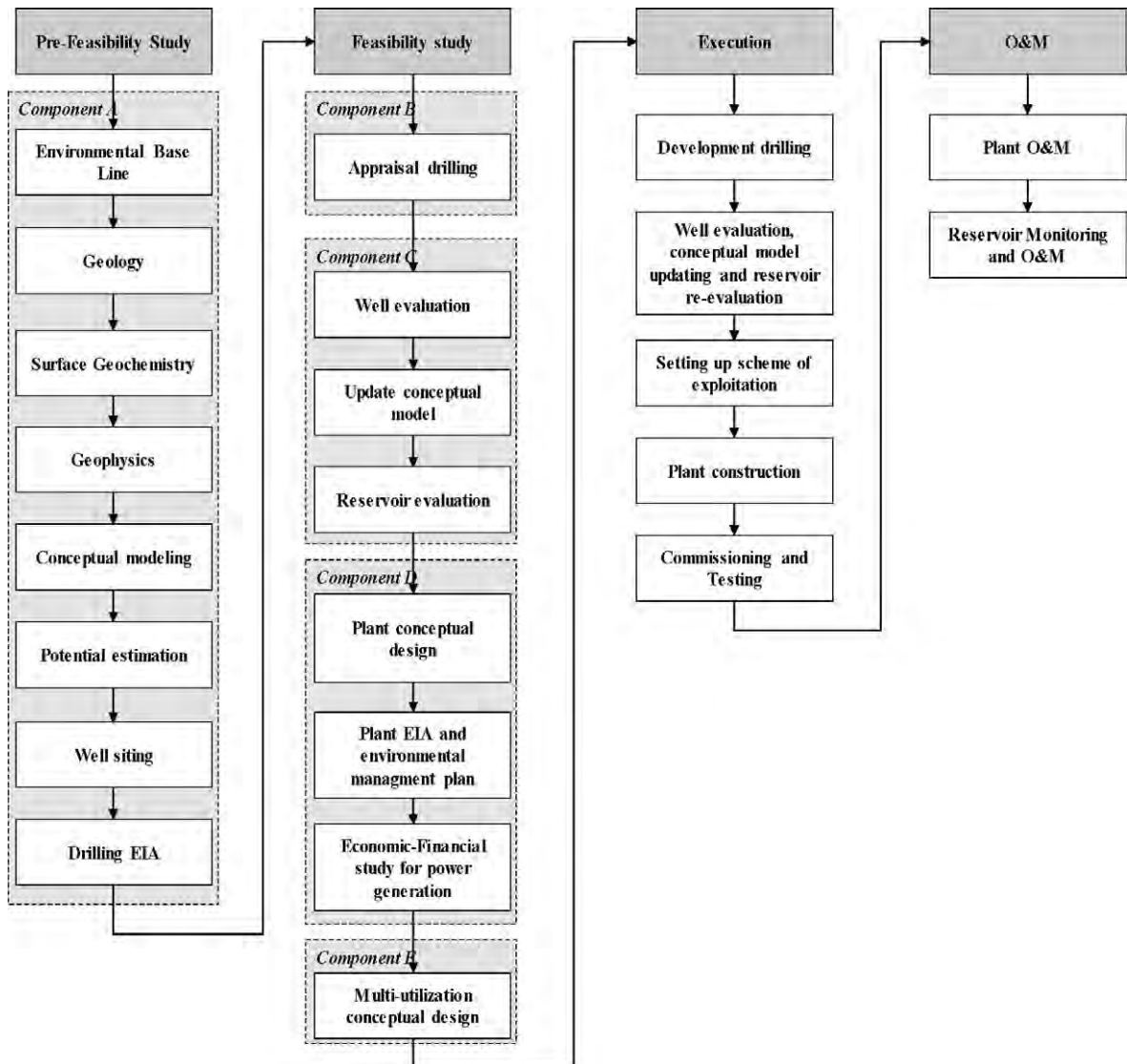


図 3-11 開発段階におけるモジュール



表 3 - 8 地質に関連する新たな知見

Item	Must do	being done	Candidate for Training
<b>General</b>			
Volcanology	*		>>
Geohazards	*	*	>>
<b>GIS</b>			
General mapping	*	*	
Data base management for geoscience	*	*	
Deformation monitoring	*		
GIS mapping with GPS	*	*	
Digital Elevation	*	*	
Thermal mapping-scanning	*	*	
Lineament and stress analysis	*		>>
<b>Remote sensing</b>			
Classification and mapping of lithology	*		>>
Geological structures	*		>>
Alterations distribution	*		>>
Thermal manifestations distribution	*		>>
Lineaments distribution	*		>>
Stress field	*		>>
<b>Surface geology</b>			
Field work	*	*	>>
Geological mapping	*	*	>>
Rock sampling	*	*	>>
Age measurement	*		>>
<b>Well geology</b>			
Field work	*	*	>>
Observations of core and cuttings	*		>>
Microscopic observations	*	*	>>
X-ray diffraction	*	*	>>
Fluid inclusions	*		>>
Measurements of Physical properties	*		>>
Geological columns	*	*	>>
<b>Integration of Geological studies</b>			
Integration	*		>>
<b>Instrumentation</b>			
X-Ray Diffractometer (for clays)	*	*	
X-Ray Fluorescence (element analysis of rocks)	*	*	
Petrographic microscope	*	*	
Binocular microscope	*	*	
Field tool (compass, inclinometers, GPS, hammer, Infrared thermometers)	*	*	
Lapidary equipment (Sample cutters, polish)	*	*	
Topographic	*	*	
Differential GPS	*	*	
Digital level	*	*	
<b>Software</b>			
DG-Manager	*	*	
Arc GIS	*	*	
Surfer	*	*	
Envi (Image processing)	*	*	

注) なお、表中、\*は対象項目、>>は研修の適用対象であることを意味する。

表 3-9 地化学に関連する新たな知見

Item	Must do	being done	Candidate for Training
<b>General</b>			
Topography	*	*	>>
Lithology	*	*	>>
<b>Hydrology</b>			
Isotopy			
Deuterium	*		>>
H18	*		>>
<b>Chemistry</b>			
Non-reactive species	*	*	>
Reactive species	*	*	>
<b>Hydrochemistry</b>			
<i>Hotspring waters</i>			
Non-reactive species	*	*	>>
Reactive species	*	*	>>
Isotopy			
Deuterium	*		>>
H18	*		>>
<b>Fumarole gas and steam</b>			
Isotopy			
Deuterium	*		>>
H18	*		>>
Chemical analysis	*	*	>>
<b>Interpretation</b>			
Recharge area	*		>>
Scaling/corrosion	*	*	>>
Origin and flow patterns	*	*	>>
Chemistry of the reservoir	*	*	>>
Geothermometry	*	*	>>
Geochemical conceptual model	*		>>
<b>Instrumentation</b>			
pH meters (stationary, portables)	*	*	>>
EC meters (stationary, portables)	*	*	>>
UV spectrophotometer (B, Cl, SiO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> )	*	*	*
" Portable	*		
GPS	*	*	>>
Atomic absorption photometer	*	*	>>
ISE electron (cations)	*	*	>>
Analytical balance	*	*	>>
Dessicator (regents moister sensitive)	*	*	>>
Gas chromatograph	*	*	>>
Mass analyser for isotopes	*		>>
ICP-OES or ICP-MS	*		>>
Ion Chromatography (IC)	*		>>
Oxygen meter	*		>>
CO <sub>2</sub> flux meter	*	*	>>
Radon Meter	*	*	>>
Mercury Meter	*	*	>>
Orsat apparatus (CO <sub>2</sub> )	*	*	>>
Webre separator	*	*	>>
Coil cooler	*	*	>>
Gas flasks (Giggenbach)	*	*	>>
Downhole sampler	*		>>
<b>Software</b>			
DG-Manager	*	*	

注) なお、表中、\*は対象項目、>>は研修の適用対象であることを意味する。

表 3 - 10 地球物理技術に関連する新たな知見

Item	Must do	being done	Candidate for Training
<b>General</b>			
Topograpgy	*	*	>>
Lithology	*	*	>>
<b>Gravity-Magnetics</b>			
Field work	*	*	>>
Preprocessing	*	*	>>
3D modelling	*		>>
Interpretation	*		>>
<b>Siesmic</b>			
Field work	*	*	>>
<i>Preprocessing</i>	*		>>
Shear wave anlysis	*		>>
Interpretation	*		>>
<b>Microseimic</b>	*		>>
Field work	*	*	>>
Preprocessing	*	*	>>
Shear wave analysis	*		>>
Interpretation	*	*	>>
<b>MT-TEM</b>	*	*	>>
Field work	*	*	>>
Pre-processing	*	*	>>
2D modelling	*	*	>>
3D modelling	*		>>
Interpretation	*		>>
<b>Integration of Geophysices</b>			
Integratation	*		>>
<b>Instrumentation</b>			
Gravity meter CG-5	*		
Magnetometer proton precission	*		
Cooperation with UT El Paso (sesmic and micro seismic). Microseismic equipment in Menengai to returned this year to UT	*		
MT: 15 sets Phoenix	*	*	>>
TEM: 4 sets Zonge and 1 Phoenix V8	*		
<b>Software</b>			
Gravity-Magnateic: Geosoft Oasis-Montage (3D)	*		
Seismic and microseismic: Oasis-Pascal->Antilope	*		
MT-TEM: Geosystem	*		
DG-Manager	*		

注) なお、表中、\*は対象項目、>>は研修の適用対象であることを意味する。

表 3 - 11 坑井評価における知見

Item	Must do	being done	Candidate for Training
<b>PT during drilling</b>			
PT at every change of diameter	*		>>
Static formation temperature test	*	*	>>
Decission making for casing location	*	*	>>
Wireline services (operation, fishing)			
<b>Completion test</b>			
Four steps injectivity tests	*	*	>>
At last step run water loss test	*	*	>>
Fall off test	*	*	>>
Get Injectivity, loss zones detection, kh	*	*	>>
Borehole sampling	*		>>
<b>Heat up period</b>			
Heat up one month (1d, 3d, 7d, 14d, 21d, 28d)			
<b>Discharget test (Min. 90 days)</b>			
MDP flow	*		>>
Full open flow	*		>>
Variation fo orifices	*		>>
Chemical sampling	*	*	>>
Interference test	*		>>
Tracer test (Geochemistry)	*		>>
HSE during measurements)			
<b>Evaluation</b>			
Evaluate permeability (injectivity, kh)	*		>>
Correlation of loss zones to enthalpy and chemistry	*		>>
Characteristic flow curve	*	*	>>
Chemistry of fluids	*	*	>>
Chemistry of gases	*	*	>>
<b>Instrumentation</b>			
Kuster mechanical (PT) 7 sets	*	*	
Clocks 3hrs, 12h and 24h	*	*	
Chart readers 2	*	*	
Kuster mechanical K-10 (PTS) 2 sets	*	*	
Pressure interference obesrvation 4 sets	*	*	
Downhole sampler (Geochemist)	*	*	
Kuster tools calibration 1 set	*	*	
Orifice (2", 4", 6", 8")	*	*	
James tubes 4 of each (3", 4", 5", 6" 8")	*	*	
Athmospheric silencers 8 sets	*	*	
Pipe sets (discharge 6 wells)	*	*	
Silencers + Weir boxes 8 + 20	*	*	
H2S sets 3	*	*	
Data loggers	*	*	
Wair level	*	*	
Oxygen meter	*	*	
CO2 flux meter	*	*	
Radon Meter	*	*	
Mercury Meter	*	*	
Orsat apparatus (CO2)	*	*	
Webre separator	*	*	
Coil cooler	*	*	
Gas flasks (Giggenbach)	*	*	
Downhole sampler	*	*	
<b>Software</b>			
DG Manager	*	*	
Grapher, Surfer	*	*	
Wellbore simulator	*	*	
Bolining curve depth	*	*	
Though 2	*	*	
Spread sheet for lip pressure	*	*	

注) なお、表中、\*は対象項目、>>は研修の適用対象であることを意味する。

### 3-2-3 環境社会配慮

#### (1) 実施体制・人員育成計画

GDC の環境部門 (Environment and Central Rift Department) はナクルオフィスにある。管理職 2 名 (部長及び副部長)、サイエンティスト (大学卒) 8 名、テクニシャン 11 名である。環境部門の業務は、環境影響評価、環境管理 (固形廃棄物の処理・リサイクル等を含む)、環境モニタリングの実施等である。環境モニタリングについては、四半期報告書を作成し、毎年、外部の監査人による環境監査を行っている。硫化水素については井戸の周囲で週に 3 回モニタリングしている。用地買収、地元コミュニティとの調整等は、Community Development 部が担当している。

教育訓練については、環境部門で各人ごとに必要な研修 (大学への派遣やセミナー等受講) を特定し、人事部が最終的に各人ごとの Training identification を行う。

本プロジェクトにおいて GDC が期待する能力強化は下記の 3 部門である。

- ・ 住民移転計画 (Resettlement Action Plan) の作成
- ・ JICA 等援助機関のセーフガードポリシー (JICA の環境社会配慮ガイドライン)
- ・ 気候変動対策、特に温室効果ガス削減クレジット制度

#### (2) 実施能力、保有設備機器

Menengai フェーズ I 地区に気象観測設備を設置している。また、Menengai フェーズ I 地区内外の緑化を推進するため、苗木の育成場を有している。水質分析については、NEMA の認証を受けた部外の分析機関に依頼して分析を行っている。

### 3-3 GDCに対する他ドナーの支援

GDCに対してはさまざまなバイラテラル及びマルチラテラルのドナーによる支援が存在する。これらの支援については、表3-12にまとめている。ただし、これらのなかには支援を表明したにすぎないものもあり、実際に支援が実現している金額は不明である。

表3-12 GDCに対する本邦以外のドナーからの支援リスト

支援組織	地熱開発 サイト	支援総額 百万米ドル	目的
African Development Bank (AfDB)	Menengai	120	掘削リグ×3基、資機材調達支援、経営コンサル、教育、モジュラー発電設備
Scaling-up Renewable Energy Program (SREP)	Menengai	40	掘削サービス
French Development Agency (AFD)	Menengai	170	掘削リグ、教育、蒸気ギャザリングシステム
European Investment Bank (EIB)	Menengai	36	ディーゼル燃料費用
World Bank	Menengai	120	F/S、ギャザリングシステム
Nordic Development Fund (NDF)	Menengai	1.98	教育
Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF)	Menengai	0.044	技術協力
United States Trade & Development Agency (USTDA)	Menengai	0.641	技術協力
US Eximbank	Bogoria-silali	300	掘削機材・資材及び15基のモジュラー発電設備
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	Bogoria-silali	100	プロジェクト準備にかかわる活動
India Eximbank	Suswa	200	掘削機材及びプロジェクト準備にかかわる活動
United States Agency for International Devt (USAID)	Bogoria-silali		技術協力
TOTAL		1200.095	

### 3-4 GDCの開発予定地の環境社会状況（予備的スコーピング含む）

GDCは現在、Menengai フェーズ I 地区において生産井等の掘削を実施中である。今後の開発予定地としては、Menengai の西に隣接する Menengai フェーズ II 地区、リフトバレー北部の Paka-Silali 地区、Baringo カウンティの Arus-Korosi-Chepchuk 地区、リフトバレー南部の Suswa 地区がある。各地区の環境社会状況の概要は表 3-13 に示すとおりである。

表 3-13 各地区の環境社会状況の概要

地区名	土地利用の状況	国立公園等の指定	その他
Menengai フェーズ I 地区	Kenya Forest Service (KFS) が管理する国有林を KFS と MOU を締結して地熱井戸掘削等に利用。	国立公園等の保護区の指定はない。	淡水取水用井戸用地等民有地を買収済み。
Menengai フェーズ II 地区	メイズ、小麦、コーヒー等の栽培及び牧畜（放牧）。土地はすべて民有地。	国立公園等の保護区の指定はない。	
Paka-Silali 地区	牧畜（放牧及び遊牧）。土地は Communal land。	国立公園等の保護区の指定はない。	Communal land
Arus-Korosi-Chepchuk 地区	牧畜（放牧）及び養蜂。メイズ畑等農地も Bogolia 湖と Baringo 湖の間の平地にある。Baringo 湖西岸は Group ranch（メンバー専用の放牧地として登記）。	Bogolia 湖は世界最大規模のフラミンゴ生息地で国立保全地区、ラムサール条約の指定湖沼、UNESCO 世界自然遺産（ナクル湖、エレメンテイタ湖とともに Kenya Lake System in the Great Rift Valley として指定）となっている。Baringo 湖東部に Ruko conservancy がある。	Baringo 湖の東岸から南岸及び Ol Kokwe 島に少数民族の Ilchamus（Njemps）族が居住。
Suswa 地区	牧畜（放牧）。メイズ畑が点在。カルデラ平原には Communal land と私有地がある。	Suswa conservancy の中にある。同 conservancy のカルデラ平原ではメイズの栽培、牧畜が行われている。	マサイ族の居住地。

#### (1) Menengai フェーズ I 地区

地熱井戸掘削中の土地は KFS から利用権を取得した土地で、元国有林である。KFS との MOU に基づき、植林活動や植林用の苗木の生産、地元住民への苗木の無償提供等を実施中である。淡水についてはカルデラ外の民有地を買収して取水井戸を掘削して給水管で掘削サイト内の高地にある給水タンクに送水している。給水タンクから各地熱井戸掘削パッドには自然流下式で給水。淡水使用量を減らすために、1 号井戸で地熱熱水を採取して各地熱井戸掘削に淡水と混ぜて使用している。地熱井戸汚泥（界面活性剤、排水、掘削ずり）も各パッ

下に設置した貯水ポンドに貯留して排水を掘削に再利用している。気象観測、地熱熱水の水质、騒音、硫化水素等の環境モニタリング及び固形廃棄物のリサイクルも実施中である。



Menengai にある GDC の苗木畑



地熱井戸掘削汚泥の貯水池（白い泡がフォームドリリングの泡）

## (2) Menengai フェーズ II 地区

現在開発中の Menengai 地区の西側 8 km 程度に位置する。土地はすべて民有地で、メイズ畑、小麦畑等農地としての利用が進んでおり、牧畜も行われている。地元の集落はすべて電化済みであり、地熱井戸掘削予定地は道路に面している。地熱井戸掘削予定地は集落に近く、近傍には住宅もあるため、地熱井戸掘削にあたっては、住民の生活環境保全対策に万全を期する必要がある。地熱井戸掘削用の淡水については既存の Menengai 地区の給水タンクから供給する予定である。



Rigago の掘削予定地（放牧地）



Rigago 掘削予定地の東側に見える Menengai カルデラ(手前がメイズ畑、前方には住宅がある)





Olrongai 掘削予定地（大規模な小麦畑）



Silali 地区のカルデラ

### (3) Paka-Silali 地区

同地区は、Baringo county の East Pokot district と Turkana county の Turkana East district にまたがっている。Pokot 族と Turkana 族の居住地であり、ウシ、ヤギ、ラクダ、ヒツジを主とする牧畜が主産業である。国立公園や自然保護区の指定はなく、文化遺産等も存在しない。乾燥地であり、通年水が流れる河川はなく、人口密度は低い。地熱開発地区は未電化で道路整備も遅れており、地熱井戸掘削のためには、アクセス道路等のインフラ整備が必要である。地熱井戸掘削用淡水については、カルデラ外に地下水取水用井戸を掘削して確保する計画であるが、十分な量が確保できない場合には Baringo 湖から送水する計画である。

### (4) Arus-Korosi-Chepchuk 地区

Baringo county の Arus-Korosi-Chepchuk 地区には、世界最大級のフラミンゴ生息地であり、ラムサール条約の指定湖沼、世界自然遺産（Kenya Lake System in the Great Rift Valley の一部）である Bogoria 湖がある。Bogoria 湖の沿岸、湖内に温泉が噴出し地熱資源が賦存するが、GDC は同湖の環境に悪影響をもたらすことがないように同湖周辺での開発は行わないことにしている。同湖から約 15~20km 離れた Arus 地区において地熱井戸掘削を予定しているが、同地区は Bogoria 湖から距離的に離れており、同地区の中央を流れる Molo 川は Baringo 湖に流入していることから、Arus 地区における地熱井戸掘削が Bogoria 湖の環境に影響を及ぼす恐れはない。

Baringo 湖の周囲には、北部に Pokot 族（カレンジンの一部族）、西部には Tugen 族（カレンジンの一部族）、東部、南部及び Ol Kokwe 島に少数民族の Ilchamus (Njemps) 族が居住している。Ilchamus (Njemps) 族は、マサイ族または Samburu 族系の部族であるが、漁業を行い他の部族が忌み嫌う魚を食べるなど独自の生活習慣をもつ部族である。GDC は少数民族の Ilchamus (Njemps) 族の生活環境に影響をもたらさないように Baringo 湖地域での開発は西岸部（北部の一部を含む）に限定することになっている。

Baringo 湖周辺部及び Korosi-Chepchuk 地区の地熱井戸開発にあたって GDC は掘削用淡水を Baringo 湖から取水する計画である。取水地点近傍の高台に給水タンクを設け、給水パイプで送水する計画である。給水パイプの途中には地元住民が利用できるように給水所を設け、給水サービスを行うことにしている。既に GDC は Baringo 湖からの取水許可を Water Resource Management Authority に申請している。同地域の地熱井戸掘削に必要な淡水は約 3,000 m<sup>3</sup>/日

と見込まれているが、地熱流体から回収される熱水も掘削に利用することにしており、湖からの淡水取水量はこの数値を下回る。仮に 3,000 m<sup>3</sup>/日の取水を Baringo 湖から行った場合、ESIA 報告書に記載されている同湖の表面積 (108km<sup>2</sup>) をもとに試算すると 1 日当たりの湖面水位の低下は、0.028mm であり、9 月から 3 月までを乾期として累積水位低下を試算すると約 6mm と同湖の平均水深 8m と比較して極めて小さい。湖水の水位に対する影響は湖水の規模と比較すると無視しえるほど小さく、Ilchamus (Njemps) 族の漁業に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

また、Baringo 湖西岸の地熱井戸掘削地 (3 カ所。すべて Tugen 族のグループランチ内) は、同湖から離れており、掘削汚泥の貯留池整備や適切な雨水排水路の整備を行えば、同湖の水質環境に影響をもたらすことは回避できるものと考えられる。



Baringo 湖岸に最も近い地熱井戸掘削地点 (放牧地)。右側の樹木の先が湖岸段丘の崖線で、その下の平地を経て湖に至る。掘削は画像左側の中央付近で行われる予定。



地熱井戸掘削予定地直下に広がる平地。〔放牧地と住宅がある。湖の中央の島 (Ol Kokwe 島) が、Ilchamus 族の居住地〕



地熱井戸掘削予定地の湖岸段丘の崖線の状況 (高低差約 10m 程度)





Baringo 湖北岸の地熱井戸掘削予定地



Baringo 湖北岸地熱井掘削予定地近傍の住宅



Baringo 湖北岸の高台を走る幹線道路から見た Korosi 地区

Korosi 地区は、Baringo 湖北岸の高台を通る幹線道路の北部に広がる地域であり、Baringo 湖からは離れている。Chepchuk 地区は Korosi 地区の更に北側（Paka 地域より）にある。両地区ともに Pokot 族の居住地である。

#### (5) Suswa 地区

Suswa 地区は Rift Valley の南部に位置する。Suswa 山は外輪山と内輪山で構成されており、外輪山のカルデラが広大な平原となっており、マサイ族の居住地（communal land と私有地）となっている。カルデラ内には Narok 側と Kajiado 側に小学校が 1 校ずつある。集落は存在せず、住宅、メイズ畑が散在しており、カルデラ平原全体が放牧地となっている。ススワ山全体が、Mt. Suswa Conservancy となっているが、上述のとおり外輪山カルデラ平原は放牧地等として利用されている。外輪山カルデラから峡谷を隔てて内輪山があるが、峡谷及び内輪山には人が住んでいない。幹線道路から外輪山カルデラ平原に至る道は勾配がきつく路面が悪いため、地熱井戸掘削のためには緩勾配のアクセス道路を整備する必要がある。また、地熱井戸掘削用の淡水については、下記の 3 つの案を検討中。

- ① Mai Mahiu (ナイロビ - ナイバシャ間の道路から Narok への分岐点) 近くの国有林 (KFS が管理) 内での井戸掘削。
- ② ナイバシャ湖からの導水。

③ Olkaria 地熱発電地域の余剰淡水を KenGen から購入。

なお、水源がない Suswa カルデラ内では自然噴気の凝縮水を淡水として回収・利用する装置が農家により設置・利用されている。Suswa 地区における地熱井戸掘削に伴うアクセス道路の建設及び給水施設の整備は、カルデラ内の生活の利便性の改善に大きく寄与するものと考えられる。また、ナイロビから日帰り圏内のため、内輪山の眺望地点及び登山道の整備が進むと地熱発電所と併せて Conservancy 利用者数の大幅増加が期待できる。

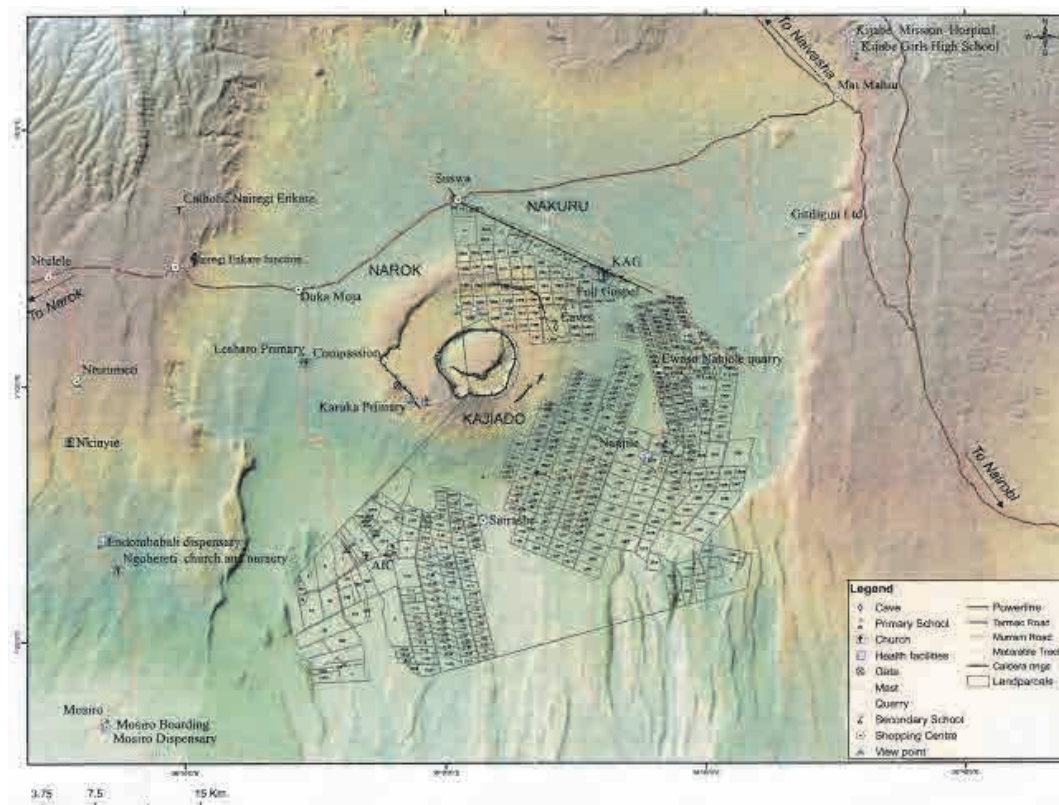


図 3-13 Suswa 地図



Suswa カルデラ内の小学校



カルデラ内に設置された地熱蒸気からの凝縮水採取設備

### 3-4-1 開発予定地の環境影響評価実施状況

表 3-14 に各開発予定地における地熱井戸掘削のための環境影響評価の実施状況を示す。既に開発中の Menengai フェーズ I 地区に加えて、Paka-Silali 地区及び Arus-Korosi-Chepchuk 地区については NEMA の EIA（環境影響評価）ライセンスを取得済みである。Suswa 地区については GDC が環境影響評価書を NEMA に提出して審査を受けている段階である。Menengai フェーズ II 地区については掘削予定地が私有地で用地買収を伴うため、住民移転計画（Resettlement Action Plan : RAP）の作成準備中の段階である。

表 3-14 GDC の環境影響評価実施状況

プロジェクト名	場 所	事業内容	アセス手続き 進捗状況	備 考
Menengai 地熱 開発 (2008, KenGen)	Menengai の カルデラ内	140MW の地熱発電 開発のための井戸の 掘削及び噴気試験 Exploration well : 3 Appraisal well : 6 Production well : 27	環境アセスメン ト手続き完了。 NEMA の環境影 響評価ライセン ス取得済み。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・淡水はサイトに隣接するカルデラ外の取水井戸 (5 本) から供給。 リグ 2 台で 2,000 m<sup>3</sup>/日の淡水必要。</li> </ul>
Menengai 地熱 開発 Updated (2012, GDC)	同上	Menengai Phase I 4×100MW の発電 のための 120 本の井 戸掘削及び噴気試験 (Exploration, appraisal, production, re-injection)	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世銀のセーフガードポリシーを考慮。</li> <li>・Kenya Forest Service から用地取得済み (2011 年 7 月 MOU)。 淡水取水井戸及びアクセス道路拡張用地所有者からの用地買収は 所有者 22 名中、21 名と完了。残り 1 名は入院中で補償は未完了。 住戸移転はない。</li> <li>・取水用井戸は 4 台のリグが同時に稼働可能なように、既存の 5 井 戸に加えて 8 井戸を掘削済み。</li> <li>・環境モニタリング実施中。</li> </ul>
Menengai 地熱 開発 Phase II	Menengai の カルデラ外 (西側)		ESIA 報告書作 成は未着手。 RAP 作成予定 (年内目標)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予定地はすべて私有地。調査井掘削予定地の Kipng'ochoch はメイ ズ及びコーヒー、Rigago はメイズ、Olrongai は小麦及びメイズが 主な農作物で、各地とも牧畜 (放牧) も行われている。</li> <li>・用地調査はほぼ終了。農地の買収は必要であるが、住宅移転は必 要ない模様。</li> <li>・掘削サイト近傍に住宅、集落あり。</li> <li>・淡水供給は既存の Menengai の給水タンクから給水パイプで供給 予定。</li> </ul>

<p>Menengai Modular Power Plant (2012, GDC)</p>	<p>Menengai No.1 のパッドに設置。</p>	<p>5~10MW の発電機及び変圧器 (33kV に昇圧) を設置。発電機の耐用年数は約 25 年 (20 万時間)。</p>	<p>環境アセスメント手続き完了。NEMA の環境影響評価ライセンス取得済み。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電した電力は、所内電力及び売電双方に利用予定。</li> </ul>
<p>ARUS - KOROSI - CHEPCHUK 地熱開発 (2012, GDC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Arus 地域 (Bogolia 湖の南西、15~20km)</li> <li>・ Baringo 湖地域 (Baringo 湖の西岸)</li> <li>・ Korosi ・ Chepchuk 地域 (Baringo 湖の北、Paka 地区との間)</li> </ul>	<p>3 地域における地熱発電開発のための井戸の掘削及び噴気試験。</p>	<p>同上</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 世銀のセーフガードポリシーを考慮。</li> <li>・ Bogolia 湖には地熱資源はあるが、環境に配慮して開発地域から除外。</li> <li>・ Baringo 湖については、環境に配慮して主に西岸で掘削。 (Ilchamus 族の居住地は、Ol Kokwe 島及び Baringo 湖の南及び東側で掘削予定地外。北部は Pokot 族の居住地。西岸は Tugen 族が居住しているが、住民数は非常に少ない。)</li> <li>・ Baringo 地域及び Korosi/Chepchuk 地域の淡水は、Baringo 湖から供給。掘削時には 3,000 m<sup>3</sup>/日の淡水が必要。Baringo 湖からの取水許可 (Water permit) を申請中。数カ月以内に許可取得の見込み。地元住民にも水供給。Arus 地域については、同地域の中央を流れる Molo 川 (Baringo 湖に流入) から取水予定。</li> <li>・ 牧畜及び養蜂が主産業</li> <li>・ Baringo 湖地域の調査性掘削予定地 4 カ所のうち、Baringo 湖西岸の 3 カ所は Tugen 族のグループランチ (メンバー専用の放牧地)、Baringo 湖北部の Pokot 族居住地内の掘削予定地は communal land。</li> <li>・ 地熱資源の多目的利用も検討。</li> </ul>



<p>Paka-Silali 地熱開発 (2012, GDC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paka 地域</li> <li>• Silali 地域</li> </ul>	<p>2 地域における地熱発電開発のための井戸の掘削及び噴気試験。</p> <p>井戸の掘削に先立ち、アクセス道路、電力供給、水供給、作業員の宿舎を建設。</p>	<p>同上</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 世銀等国際援助機関のセーフガードポリシーを考慮。</li> <li>• 道路未整備で未電化地域のため、井戸掘削に先立ち、インフラ整備が必要。</li> <li>• 淡水は井戸（地下水）を利用予定。不足する場合には Baringo 湖の水を利用予定。地元コミュニティ向けに給水井戸 10 本掘削準備中。その結果をみて地下水利用の可能性を評価予定。</li> <li>• Pokot 及び Turkana の 2 部族の居住地域</li> <li>• ウシ、ヤギ、ラクダ等の放牧が主産業</li> <li>• 保護区及び文化遺産は近傍に存在しない。</li> <li>• 地熱資源の多目的利用も検討。</li> </ul>
<p>Suswa 地熱開発 (2013, GDC)</p>	<p>Suswa 地区</p>	<p>地熱発電開発のための井戸の掘削及び噴気試験。</p>	<p>NEMA にプロジェクトレポートを提出。NEMA から EIA を実施するように指示を受け、ESIA 報告書作成中。6 月中旬に ESIA を NEMA に提出予定。9 月までにはライセンス取得見込み。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suswa 山全体が Suswa Conservancy となっている。同保護区内の開発については、地元コミュニティの同意を得る必要あり (KWS の許可は不要)。</li> <li>• カルデラ内はマサイ族の土地。Communal land と私有地がある。主要な土地利用は放牧。メイズ畑が点在。カルデラ内に集落はないが、Narok county と Kajiado county 側にそれぞれ小学校がある。</li> <li>• Suswa 山の麓からカルデラに至るアクセス道路建設が必要。</li> <li>• 淡水供給については、Mai Mahiu (ナイロビーナイバシヤ間の道路から Narok への交差点周辺) の KFS の森林内での井戸掘削、ナイバシヤ湖からの取水、オルカリアからの供給 (KenGen から水を購入) の 3 案を検討中。</li> <li>• 地熱資源の多目的利用も検討。</li> </ul>

### 3-4-2 スクリーニング及びカテゴリ分類

カテゴリ分類：C

判定理由：

ケニアの電力供給は、干ばつなどの影響を大きく受ける水力発電に半分程度を依存している。今後、経済社会開発に伴い増大する電力需要に対して安定した電力供給を行うために地熱発電開発は大きく貢献する。本技術協力は、GDC が自ら掘削を行っている地熱井戸を対象に掘削技術の技術支援を行うとともに、地熱探査、地熱資源評価技術等の技術協力をを行う内容であり、地熱井戸掘削そのものを協力内容とするものではない。このため、本技術協力が環境社会に直接影響を及ぼすことはない。一方、GDC が現在実施及び予定している地熱資源開発を通じた間接的な環境社会影響についても以下に述べるように理由から影響は非常に小さいものと考えられる（地熱井戸掘削及び評価技術に係る技術支援は、現在掘削中の Menengai フェーズ I 地区で、地熱資源探査技術支援は Suswa で行うことを前提に評価）。

- (1) Menengai フェーズ I 地区は国立公園等保護区域に含まれておらず、地熱井戸掘削工事等に伴う森林開発の影響を緩和するために GDC は苗木圃場を設けて自ら植林を行うとともに地元住民に苗木を無償で提供し植林を支援する等自然環境修復に取り組んでいる。また、地熱井戸掘削に伴い発生する泡及び排水については遮水シートで地下への透水を防止した貯水池に貯水し、排水は掘削用水として再利用している。掘削地域近傍に集落や住戸がないため、騒音、振動、硫化水素ガスの拡散等に伴う生活環境に及ぼす影響は非常に小さい。
- (2) Suswa 地区については、Suswa Conservancy 内にあるが、地熱井戸掘削予定地は、外輪山のカルデラ平原であり、地元住民の居住地、ウシ等の放牧地、メイズ耕作地として土地利用が広く行われている地域であるため、conservancy の自然環境保全に与える影響は少ない。一方、カルデラ平原へのアクセス道路は急こう配で路面も悪いため四輪駆動車以外でのアクセスが不可能であり、水資源も乏しいが、地熱井戸掘削に伴いアクセス道路が整備され、水供給も行われると住民の生活環境は大幅に改善される。
- (3) GDC は地熱井戸掘削にあたり、ケニアの法令及び世界銀行等の国際援助機関のセーフガードポリシーに基づく環境社会影響評価を実施し、NEMA の環境影響評価ライセンスを取得後に、地熱井戸掘削を行うことにしている。既に Menengai フェーズ I 地区については、NEMA の環境影響評価ライセンスを取得済みである。Suswa についても、環境社会影響評価書を NEMA に提出して審査を受けているところであり、地熱井戸掘削は環境影響評価ライセンス取得後に開始する計画である。

### 3-4-3 予備的スコーピング

本プロジェクトの予備的スコーピングの結果を表 3-15 に示す。

表 3-15 地熱井戸掘削及び噴気試験の予備的スコーピング

分類	影響項目	評価	評価理由
社会 環境	非自発的住民移転	C	Menengai フェーズ I 地区については、既に用地確保済みで追加的な住居移転はない。その他の地熱開発地区についてはアクセス道路、作業員の宿舎、地熱井戸の具体的な掘削位置等が決まっていない。
	雇用や生計手段等の地域経済	B+	雇用機会の増加、作業員の食料等各種生活用品の購入等により地域経済や住民の暮らしに正の影響が期待される。
	土地利用や地域資源利用	B-	アクセス道路及び構内道路、作業員の宿舎、地熱井戸の掘削基地等の建設に伴い、農地や放牧地の転用が行われる。
	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	D	各地熱井戸掘削地区ともに、学校、医療施設、官公庁等公共施設の移転等は計画されていない。
	既存の社会インフラや社会サービス	B+	地熱井戸掘削用水の給水設備の整備の際に、水不足の地区では地域住民への水供給を行う計画であり、水供給施設が改善される。地熱井戸掘削地区へのアクセス道路の整備により、交通インフラの整備が行われる。
	貧困層・先住民・少数民族	D	Baringo 湖周辺の少数民族の Ilchamus (Njemps) 族の居住地があるが、GDC はこの地区では地熱開発を行わない。その他の地熱井戸掘削地区には先住民、少数民族の居住地はない。
	被害と便益の偏在	C	Menengai フェーズ I 地区以外の地熱開発地区についてはアクセス道路及び構内道路、作業員の宿舎、給水パイプ、地熱井戸の具体的な掘削位置などが決まっていない。
	文化遺産	D	地熱開発地区には文化遺産はない。
	地域内の利害対立	C	Menengai フェーズ I 地区以外の地熱開発地区についてはアクセス道路及び構内道路、作業員の宿舎、給水パイプ、地熱井戸の具体的な掘削位置などが決まっていない。
	水利用・水利権・入会権	B-	地熱井戸掘削、作業員宿舎や事務所等が淡水を使用する。このため、水利用や水利権についてある程度の影響を生じることがある。
	公衆衛生	B-	地熱井戸掘削、作業員宿舎や事務所等から排水、廃棄物が生じ、周辺の公衆衛生に影響を及ぼす恐れがある。
災害、HIV/AIDS のような感染症	B-	作業員については地域外からの人の異動を伴うため、感染症をもたらす恐れがある。	

自然環境	地形・地質	B-	アクセス道路及び構内道路、作業員の宿舎、地熱井戸の掘削基地等の建設に伴い、一定規模の土地改変が行われ、地形及び表面地質の改変が生じる。
	土壌浸食	B-	アクセス道路及び構内道路、地熱井戸の掘削基地建設等に伴い裸地が生じて土壌浸食が生じる恐れがある。
	地下水	B-	Menengai フェーズ I、フェーズ II、Paka-Silali、Suswa 地区では、地熱地域周辺の地下水を地熱井戸掘削用水に利用する計画である。このため、地下水に影響を及ぼす恐れがある。
	湖沼・河川状況	B-	Arus-Korosi-Chepchuk 地区では Baringo 湖及び Polo 川の水を地熱井戸掘削用水に利用する計画である。また、Suswa 地区では Naivasha 湖の水を地熱井戸掘削用水に利用することも検討中である。このため、湖沼・河川状況に影響を及ぼす恐れがある。
	動植物、生物多様性	B-	アクセス道路及び構内道路、作業員宿舎、地熱井戸掘削基地等の建設及び噴気試験が動植物、生物多様性に影響を及ぼす恐れがある。
	国立公園	D	地熱開発地区には国立公園はない。
	その他の自然保護区	B-	Suswa 地熱掘削地区は Suswa Conservancy の中にあり、conservancy の環境に影響を及ぼす恐れがある。
	景観	B-	アクセス道路及び構内道路、作業員宿舎、地熱井戸掘削基地等の建設に伴い、景観に変化が生じる。
	地球温暖化	B-	アクセス道路及び構内道路、作業員宿舎、地熱井戸掘削基地等の建設時には掘削機械、建設機械、ディーゼル発電機、工事車両の運転に伴い二酸化炭素が排出される。
汚染対策	大気汚染	B-	地熱貯留層評価を行うために実施する噴気試験に伴い硫化水素が環境中に排出され、近傍地域の大气環境に一時的な影響を及ぼす。地熱井戸掘削時に電力を供給するディーゼル発電機からばい煙が排出される。地熱井戸掘削時（アクセス道路及び構内道路建設、掘削基地の整地、地熱井戸の掘削等）には、掘削機械、建設機械及び工事車両の運転に伴い粉じんを生じる恐れがある。
	水質汚濁	B-	地熱井戸掘削に伴う汚泥（界面活性剤、排水、掘削ずり）の排出、建設機械等からの少量の油分流出、アクセス道路及び構内道路、地熱井戸掘削基地からの雨水排水等が、周辺の水域環境に影響をもたらす恐れがある。また、作業員宿舎及び事務所からの生活排水が水質汚濁をもたらす恐れがある。

土壌汚染	B-	地熱井戸掘削に伴う汚泥（界面活性剤、排水、掘削ずり）、噴気試験が土壌汚染を引き起こす恐れがある。
廃棄物	A-	地熱井戸掘削に伴う汚泥（界面活性剤、排水、掘削ずり）が排出される。またアクセス道路及び構内道路、作業員宿舎、地熱井戸掘削基地等の工事中には建設工事に伴う各種建設廃棄物が排出される。作業員宿舎、事務所から紙ゴミ、生ゴミ等が排出される。
騒音・振動	A-	掘削機械、建設機械、ディーゼル発電機、工事車両等の運転により騒音・振動が生じる。
地盤沈下	D	地熱井戸の掘削及び噴気試験中の地熱流体の採取は少量であり、地盤沈下を生じる恐れはない。
悪臭	B-	地熱井戸の掘削及び噴気試験において硫化水素が一時的に大気中に排出される。
事故	B-	地熱流体の想定外の噴出や土木・建築工事中の事故等が発生する恐れがある。

A+/-：重大な良い/悪い影響が予想される

B+/-：ある程度の良い/悪い影響が予想される

C+/-：影響の程度が不明である

D+/-：影響はない

### 3-5 GDC に対して必要な協力内容

本調査により明らかになった GDC の技術力不足については図 3-10 に示した開発のステップごとに分けて評価している。GDC は地熱蒸気の供給会社であるゆえ、図 3-10 の地熱発電所の建設と維持管理に関する項目は、実際には発電設備を運用する IPP 会社が行うものである。一方、地熱流体輸送設備（Fluid Collection and Re-injection System : FCRS）の建設と維持管理は GDC の責任下にある。しかしながら IPP 会社に帰する事業であっても、GDC はそれらについて理解し IPP 会社と交渉できなければならない。したがって、GDC の全体的責任からいえばマイナーな要素ではあるものの、本調査で実施した GDC の技術力分析ではすべてのモジュールを対象とした。GDC の第一義的責任は、IPP により運営される発電所設備の稼働期間中、蒸気を競争力のある価格で提供することであり、そのために GDC は地熱開発の初期事業性調査（Pre F/S）レベル、事業性調査（F/S）レベルの調査実施能力を強化することが求められている。したがって本調査では、キャパシティギャップや必要資機材及びトレーニングプログラムについての議論を、図 3-11 に示されるモジュール（モジュール A～E）ごとに行った。

必要資機材については、表 3-8～表 3-11 に示されるように、モジュール B を除いて、探査及びラボに必要とする、ある程度の資機材は GDC は既に保有している。これらの機材が消耗・劣化により機能しなくなる限り、GDC は基本的な探査活動の実施は可能である。しかしながら GDC の技師はこれらの資機材の維持管理に関する十分な研修を受けていないため、機器に少しでも問題が生じた際には、予備の資機材・部品やメーカーの支援なしで修理ができない限り GDC の活動は中断するというリスクは存在する。この点について調査団としては、GDC に対して問題が発生したときの即時対応の取り方について提言を行うことはできるものの、これらの資機材のメンテナンスまでをトレーニングプログラムに含む必要はないと考える。

人材育成プログラムに関して、GDCの使命の1つとして、ケニアの地熱資源の発電及びその他の利用の可能性を明らかにし、地熱流体を、発電に利用するIPP及び/または他の産業に適用する組織向けに取り出すことである。ゆえに、教育プログラムの目的は、マネージ可能なリスクと経済性の範囲内で、地熱流体を調査・評価・開発し、地熱流体の利用主体との契約にしたがって流体の供給を維持できるよう、GDCの能力を強化し向上させることである。したがって、トレーニングは、GDCの人員が確実にスキルを獲得し強化できるよう実践的なものとなるべきである。

#### (1) GDCの現状に対する詳細な評価

プロジェクトの実施にあたっては、コンサルタントチームの専門家が、それぞれの専門ごとにGDCの現状について分析を掘り下げ、その結果を文書として統合したうえで、詳細なトレーニングプログラムが策定されるべきである。

#### (2) 研修教材

GDCの現状についての評価を統合したうえで、教育・研修教材の準備に向けた詳細計画が策定されるべきである。教育・研修教材は、GDCの人員が新しいスキルを確実に獲得するために必要に応じて何度でも利用できるように、教科書とビデオの形で作成するものとする。

### 3-5-1 モジュールA

#### (1) GDCのキャパシティギャップ

モジュールAで特定された技術力不足の詳細は前節で述べた。表3-7～表3-9に、現在行われていることとこれからなされるべきことの相違について詳しく示す。

#### (2) 人材育成プログラム

##### 概念モデルと掘削ターゲットの選定

掘削ターゲットの選定のために必要な探査と地下資源データの統合に関連するすべての側面についてのトレーニングである。調査はPre F/Sレベルに相当する。トレーニングは、開発の次の段階、すなわち掘削に進むことのメリット・デメリットについての判断力を身につけるために資源評価グループの人員に対しても実施される。

研修における重要な項目の1つにDGManager（地熱データベース）を利用して、これまでGDCがMenengai地区やその他の地熱フィールドの開発において取得した膨大な情報の記録を整理することがある。またデータのグラフィック出力であるSurferに関する研修をGDCの社長から要請されている。なお、ビデオを含むトレーニング教材を準備する。

### 3-5-2 モジュールB

教育対象は、GDCのナクル事務所にいるドリリングやセメンチング、ロジスティクス及び調達に係るエンジニアクラスから、Menengai地区で従事するリードエンジニアやデリックマンやラストバウトに至る現場要員を対象とする。教育訓練の方法としては、Menengai地区における、プロジェクト全体で計3本の掘削実践を通じたOJTを主要なツールとしてとらえており、このOJTプログラムでは、①掘削計画策定に係るエンジニアリングや、ロジスティクス及び資材調達、更に予算の計画策定段階から始めて、②これらの計画の実践を通じた訓練、③問題点の抽

出及び分析能力の向上、④安全管理及び安全意識の向上を進める。この OJT に加えて、本邦の地熱掘削現場や工場、事務所などにおける研修を通じた学習や JOGMEC の柏崎施設におけるシミュレーションを用いた掘削演習教育、更に各分野の専門家による講義などの研修プログラムから構成される。

(1) 掘削にかかわる技術協力の実践手段

- 1) 技術理論・原理の学習
- 2) OJT による実践学習  
現地フィールド→冬期を利用した 3 本  
本邦掘削現場→帝石削井工業株式会社、日鉄鉦コンサルタント株式会社などの掘削現場における研修
- 3) シミュレータによる基本操作の学習
- 4) マニュアル・ビジュアル指導書の作成：参考図書
  - ① 掘削作業指針（帝国削井）
  - ② 地熱調査井の掘削標準・指針（NEF）
  - ③ 坑井掘削作業解説用資料（JOGMEC/SKE）
  - ④ HSE マニュアル
- 5) 情報交換による本邦掘削会社の実践（安全教育・資格教育・物資管理）の学習・導入
- 6) 本邦掘削会社とのアライアンス形成→掘削技術や安全教育、資格制度、物資管理、及び教育研修制度の学習・導入
- 7) メーカーとの適切な保守・補修契約による機器の保全及び社員教育の実施の必要性
- 8) 公的研修プログラムを組み入れた技術研修の可能性（例：IADC WellCAP）

(2) 技術協力の対象テーマ

- 1) 調達・資材・ロジスティクス管理
  - ① 資材の適正管理（固定資産・準備品・消耗品）
    - a) 帳簿・タグ
    - b) フィジカルカウントの実施計画
  - ② 機器調達管理
    - c) 機器仕様策定に際してのフローチャート（情報交換）
  - ③ 機器保守管理
    - a) 定期保守計画
    - b) プリベンティブメンテナンス
    - c) 保守契約（メーカー、ベンダー）
    - d) 不具合機器の修理・処理フローの確立  
（現場要員による問題個所の抽出・提起を促進→問題点・教育訓練計画策定）
  - ④ ロジスティクス管理
    - a) Menengai 地区にかかわるすべての工事単位別の管理体制の把握
    - b) 各工事単位別についての月・週及び日単位の業務計画（特に重機や資材の流れ）の作成
    - c) フィールド全体についての物資輸送と必要重機の計画のインテグレーションと調整

- d) ルーチン及び緊急時の報告・指令体制の確立
- 2) 安全管理（情報交換による他社の実践）
- ① 組織体制・管理規定
  - ② 資格制度〔WellCAP（Well Control Accreditation Program）、クレーン、フォークリフト、玉掛け、職長、巻上げ機、安全管理、公害防止管理者、廃棄物処理、電気工事、高圧ガス取扱い、危険物取扱い、さく井技能士、公衆衛生、非破壊検査技術者 RT（放射線透過試験）、UT（超音波探傷試験）、MT（磁粉探傷試験）、PT（浸透探傷試験）、ET（渦流探傷試験）、SM（ひずみ測定）〕
  - ③ 安全要綱策定
  - ④ 安全管理・環境保全
    - a) 事故発生、経緯、事後報告
    - b) ヒヤリハット・セーフティハザード  
ハインリッヒの法則：1つの重大事故の背後には29の軽微な事故があり、その背景には300の異常が存在する。
    - c) KY活動
      - 1. 現状把握ーどんな危険が、潜んでいるか。問題点の指摘は自由に行わせ、他のメンバーの指摘内容を批判するようなことは避ける。
      - 2. 本質追究ー指摘内容が出揃ったところで、その問題点の原因などについてメンバー間で検討させ、問題点を整理する。
      - 3. 対策樹立ー整理した問題点について、改善策、解決策などをメンバーに挙げさせる。
      - 4. 目標設定ーあがった解決策などをメンバー間で討議、合意のうえ、まとめさせる。
    - d) 4S運動（整理・整頓・清潔・清掃）
    - e) リスク分析・管理（例えばHAZOPなど）
    - f) 安全ドリル  
暴墜・火災・毒ガス・落下・傷害の発生に備えた定期・非定期の訓練の実施
  - ⑤ 排水処理・管理
- 3) 掘削原理
- ① 地熱開発概論（地質、構造、探査手法、生産方法）
  - ② 掘削の種類と原理
  - ③ 泥水の役割
  - ④ 掘削配管の種類とその特徴
  - ⑤ ケーシングの種類とその特徴
  - ⑥ セメンチングの原理
  - ⑦ 逸泥発生の原理とその対策
  - ⑧ 還元容量・特性試験
  - ⑨ 抑留の発生原理とその対策
  - ⑩ フィッシング
  - ⑪ 傾斜掘りの原理



- ⑫ 噴気試験の概要
- ⑬ 掘削工事にかかわるデータとその記録
- 4) 掘削機器の構造原理、運用及び保守・検査
  - ① ベーシック工具類
  - ② 圧縮空気機械
  - ③ 油圧機器・器具
  - ④ 主要掘削装置
    - a) マスト
    - b) サブストラクチャー
    - c) ドローワークス
    - d) トラベリンブブロック
    - e) 泥水ポンプ
    - f) BOP アセンブリー・ローテティングヘッド
    - g) 調泥タンク・デサnder・デシルター
    - h) クーリングタワー
  - ⑤ ドリルビット・スタビライザー
  - ⑥ ドリルパイプ・ドリルカラー・ヘビーウェイト DP
  - ⑦ ジャールス
  - ⑧ ケーシング
  - ⑨ トップドライブ
  - ⑩ ケリー・ケリーブッシング・スリップ
  - ⑪ パワートング・ケーシングトング・スピナー
  - ⑫ ラットホール
  - ⑬ 圧縮機・デミスター・ブースター
  - ⑭ セメンチングポンプ・タンク・ミキサー
  - ⑮ 高圧配管・チクサンパイプ・高圧フレキシブルホース
  - ⑯ 発電機
  - ⑰ AC→DC 交換機
  - ⑱ 重機（クレーン・フォークリフト・トラック）
  - ⑲ サンドライン・ワイヤーライン
  - ⑳ ケーブル・ロープ
  - ㉑ チョークマニフォールド
  - ㉒ センサー・メーター・データロガー
- 5) 泥水掘削
  - ① 泥剤の種類・特性と役割
  - ② 泥水掘削にかかわる機器（デサnder、デシルター）
  - ③ 泥水ピット及び廃泥処理
- 6) ケーシングデザイン
  - ① ケーシングの種類と品質
  - ② ケーシングの設計

- ③ ケーシング敷設作業
- 7) セメンチング
  - ① セメンチングの原理
  - ② セメンチング材料・添加物
  - ③ セメンチング機材の原理、運用及び保守整備
  - ④ セメンチング計画と運用
- 8) エアー掘り（フォームドリリング）
  - ① エアー掘りの一般原理
  - ② フォームドリリングの原理
  - ③ フォームドリリングの運用管理
- 9) 傾斜掘り
  - ① 傾斜掘りの原理
  - ② 傾斜掘りにおける関連機器の原理、運用及び保守整備
  - ③ 掘削編成及び坑跡の制御
  - ④ 坑井軌跡の算出
- 10) 掘削計画の策定
  - ① 策定にかかわるパラメータ
    - a) ターゲット深度
    - b) リグの能力及び掘削配管及びケーシングの仕様
    - c) 地層・岩相
    - d) 地層水圧
    - e) 近傍坑井の掘削記録
    - f) 泥水掘もしくはエアー掘削
    - g) 逸泥とセメントプラグ
- 11) 抑留
  - ① 抑留の原因
  - ② 逸泥・逸水
- 12) フィッシング
  - ① 遺留事故の種類と原因
  - ② 採揚方法の種類
  - ③ 採揚に用いるツールの種類
  - ④ 採揚作業の実際と限界
- 13) 坑井仕上げ
- 14) 基礎土木
- 15) 掘削用水の確保及び排水管理
- 16) 掘削記録
  - ① 掘削記録の記載事例
  - ② 掘削記録のデータベース化とその活用

### (3) 必要な資機材

OJT 実施の際には、専門家が十分にその技術を教示できる環境をつくり出す必要がある。仕様に問題がある機材、あるいは必要な量が調達できない環境は専門家及び研修要員ともに研修の実践は非効率となる。事前調査において、OJT の効果的な実践を妨げる要因の 1 つに幾つかの資機材の不足が指摘される。これまでの調査で支援が必要と思われる機材として以下のものが挙げられる。ただし、実際にこれらが必要か否か、及び標記されていないもので必要と判断されるものがある可能性もある。最終的な判断は本プロジェクトにおける第 1 回目の現地調査、及び初年度の OJT の結果を踏まえた専門家の評価を待つべきと思われる。なお、下記の主要機材に関する参考見積は本邦ベンダーから取得している。

#### 1) 現在 GDC が保有していない/不足している機材

- ① 傾斜掘り用資機材（ダウンホールモータ、ベントサブ、シングルショット、サンドライン及びウィンチ）
- ② フィッシングツール
- ③ ジャールス及びその付帯機材
- ④ リフティング用ケーブル、スリング
- ⑤ 泥材（ベントナイト、増粘剤、分散剤などの添加剤）
- ⑥ セメンチング添加剤

#### 2) 現在 GDC が保有しているが、仕様に問題がある機材

- ① パワートング、スピナー
- ② エアー掘用高圧大容量コンプレッサー及びブースター
- ③ トルクなど各種センサー類、計装
- ④ メカニカルトング



図 3-14 GDC の掘削技術に係る課題と技術支援

大項目	稼働 要員 数	総 要員 数	2013年度												2014年度												2015年度												2016年度												2017年度												人・月					
			11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	計																					
			現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内		現地		国内																							
第一回目調査	2	2	10		10																																																															
第1回掘削0IT支援	5	8	15		28		31		16																																																											
第2回掘削0IT支援	5	8																																																																		
第3回掘削0IT支援	5	8																																																																		
第4回掘削0IT支援	5	8																																																																		
掘削リグ調達支援	2	2																																																																		
現地セミナー	3	3																																																																		
総括プレゼンテーション	1	1																																																																		
事前準備・計画作成	2	2	10																																																																	
事前説明会/現地調査準備	8	8	0		2																																																															
指導書・マニュアル作成	2	2	19		19																																																															
掘削エンジニアリング	2	2																																																																		
掘削現場研修	3	3																																																																		
柏崎研修	3	3																																																																		
調達支援	2	2	19																																																																	
現地セミナー準備	1	1																																																																		
報告書作成	1	1																																																																		
段階及び合計																																																																				

凡例  
 現地業務  
 国内作業

- 注) 1. 要員は現地業務と国内作業に分けて担当分野、氏名、所属先、格付を記載すること。各要員の配置期間は実線（当該期間全体日数を人/月として計上する場合）または点線（当該期間中において部分的に業務に従事する期間を延べ人月として計上する場合）で表示し、線の下に従事日数を表示する。
2. 総括（業務主任者）及び副総括は、現地業務、国内作業とも同一人物を配置すること。また、配置期間もすべて実線で表示すること。
3. 現地業務については必ず、該当業務従事者全員について、担当分野、氏名、所属先、格付を全て記載し、配置期間を実線で表示すること。国内作業のうち、総括（業務主任者）及び副総括以外の業務従事者については、氏名及び所属先については記載不要である。

図3-15 GDCの掘削技術支援に係る要員計画案



### 3-5-3 モジュール C

#### (1) GDC のキャパシティギャップ

モジュール C で特定された技術力不足の詳細は前節で述べた。表 3-8～表 3-11 に、現在行われていることと、これからなされるべきことの相違について詳しく示す。

#### (2) 人材育成プログラム

本モジュールにおける技術協力は、①坑井評価、②貯留層評価、③貯留層の維持管理の 3 つの分野に分かれる。

##### 1) 坑井データの取得及び分析にかかわる研修

掘削中の PT 検層及び掘削後に実施される各種坑井試験（掘削完了試験、噴出試験、蒸気生産中の PTS 検層）において高品質のデータを取得するための適切な方法を身につけ、データの分析と解釈の仕方について、フィールド実習と教室での講義を通じて学ぶ。

##### 2) 貯留層評価に関する技術協力（日本で研修を実施）

GDC の技術者に、貯留層の数値モデリング及びシミュレーション技術の教育を提供して、貯留層開発の最適化の技術を取得させるためのトレーニングである。

##### 3) 貯留層の維持管理に関する技術教育（日本で研修を実施）

長期的に安定した運用を可能とする適切な貯留層の開発能力を GDC の技術者に修得させるための技術教育を提供する。

##### 4) 地熱データベースである DGManager の技術教育（ケニアで研修を実施）

これまで GDC が Menengai 地区やその他の地熱フィールドの開発において取得した膨大な情報の記録と整理は重要な課題である。データのグラフィック出力である Surfer に関する研修も含む。

### 3-5-4 モジュール D

#### (1) 環境社会配慮

既に項目「3-2-3」（59 ページ）において、環境社会配慮の分野における GDC からの技術協力を期待する項目を記述している。このなかでも、JICA に対する研修ニーズとして、RAP の作成が強く求められている。これは、Menengai 地区の第 2 期では住民移転が必要になり RAP 作成が必要なためである。このほか、援助機関の環境に関するセーフガードポリシーへの研修要求もあった（国際的な共通基準を理解したいとのことである）。更に CDM などの気候変動対策についての研修に対する要求もある〔適応対策（adaptation）及び緩和策（mitigation）全般の研修〕。

これらの点を考慮して、具体的な研修内容としては下記の内容が考えられる。

##### 1) 本邦研修

「JICA の環境社会配慮ガイドライン」に関する研修に、管理職（2 名）及び技術者（8 名）のうち、協力期間中に毎年、1 名ずつ参加させる。

##### 2) RAP 作成について Menengai 地区フェーズ II の ESIA に間に合うように、2013～2014 年前半にナクルの GDC オフィスにおいて環境部全員（21 名）を対象に 3 日から 1 週間程度の研修を行う。内容は、JICA の住民移転を伴う際の RAP の考え方、内容、事例を紹介。

- 3) 気候変動問題について、UNFCCC（国連気候変動枠組条約）締約国会議における 2015 年以降の枠組み交渉の内容、日本が提案している二国間クレジットの仕組み（ケニアとは二国間クレジットメカニズムについて協力することが昨年合意されている）の紹介や、モニタリング・レポート・検証（Monitoring-Reporting and Verification : MRV）方法論の紹介を実施する。研修はナクルにおいて実施し、GDC の環境部の幹部及び技術者 10 名を対象として、3 日から 1 週間程度の期間で実施する。MRV 方法論を地熱発電に適用する実習を行う場合には 1 週間程度を想定する。講師は日本の温暖化問題専門家を充てる。

上記研修項目の他に、今回の現地調査で明らかになった問題点に対する技術協力が考えられる。この問題点について以下に示す。

第一の問題点として、GDC は地熱井戸掘削にあたり、地熱開発地区ごとにケニアの環境保全及び調整に関する法律に基づき環境影響評価を実施し、NEMA から環境影響評価ライセンスを取得することにしている。しかしながら環境影響評価ライセンスを取得した地区内における実際の地熱井戸掘削地点の選定は、ライセンス取得後に GDC の地熱資源評価が最終決定する手順となっている。このため、地熱井戸掘削に伴う地熱井戸近傍の住民の生活環境に対する影響については、具体的な地熱井戸掘削地点が決まった段階で集落や住宅との距離等を考慮して騒音対策を中心とする個別具体的な環境保全対策を検討する必要がある。

第二の問題点として、地熱井戸掘削及び噴気試験の環境対策については、環境部や作井部、及びインフラ部が協議して決めている。しかしながら実際の地熱井戸掘削現場においては、地熱熱水を有効利用せずに貯留地から環境中への放出や、ディーゼル油の配管からの漏えいを放置、更に節水のために雨水貯留池を建設したものの雨水の利用方法が決まっていない等、環境影響評価書に記載されている環境管理が行われていない事態がみられる。

これらの問題点に対応するため、下記の研修も有効と思われる。

- 4) 地熱井掘削時の騒音振動対策（環境部全員）：今後、集落の近くでの掘削が増加することに対する緩和策の研修。
- 5) ESIA で約束した環境対策の実施状況の監視のあり方（ESIA に記載していることが実際には行われていない事例があることを踏まえて、確実に実施するための社内体制のあり方についてのブレインストーミング的なことも含む）。

上記 2 テーマの内容は本邦における取り組み状況の紹介を中心として、ナクルで各 3 日程度環境部全員を対象に実施することが考えられる。なお、選抜した技術者に対する本邦掘削現場における研修も有効と思われる。

## (2) 発電関連技術

### 1) GDC のキャパシティギャップ

本モジュールは、地熱貯留層の特徴に最も適したエネルギー変換技術の選定と、その技術による蒸気熱水コストの見積もりにかかるものであり、GDC にとって重要度は高い。この知識を得ることにより、GDC は IPP 会社と対峙し交渉することになる。GDC 経営層によれば、GDC は貯留層開発の最適化及び IPP 会社に供給する蒸気熱水の価格の



設定の方法に通じていないとのことである。したがって、このモジュールについては全体的に技術力ギャップが存在するといえる。

## 2) 人材育成プログラム

GDCは発電所の建設・運営は行わないものの、地熱流体の発電へのエネルギー変換に関するさまざまな技術について十分な知識をGDC 人員に提供するための教育を提供する。GDCは、各IPP社が提案してくるエネルギー変換技術が貯留層の特徴に適合するかどうかを判断する能力、更に重要なことにはIPP社に対して地熱流体を提供する価格の評価を行える能力やIPP社との交渉能力を必要とする。

## (3) PPP スキーム

GDCが技術協力要請の1つとしてIPPとの交渉能力を充実させることがある。この研修に際しては、対IPP交渉における技術的側面でのキャパシティ強化が挙げられる。一方で、法的及び商務的な側面に関する交渉能力のキャパシティ強化については、現地における特殊事情を熟知する必要があることからケニアで活動する専門企業を活用することも必要と思われる。技術的側面の研修については、IPPが提示するさまざまなエネルギー交換技術のそれぞれについて、地熱流体の利用とその価格の交渉を進めるためのアプローチを教育していくことが考えられる。また、他の交渉のトピックとして、GDCとIPP社との間での地熱流体の取り扱いについて、合理的な手法による交渉能力も研修の対象として取り上げられるべきと考える。

## 3-5-5 モジュールE

### (1) GDCの取り組み

GDC ナイバシヤ事務所 (South Rift Office) には現在 50 名弱のスタッフがいる。このうち地熱多目的利用部門には 8 名が従事している。GDC では近隣コミュニティでの雇用創出を目標とした地熱流体 (蒸気、熱水) の多目的利用に関する基礎検討は行われているが、実際の活動はまだ行われていない。GDC が特に注目している分野は、乳製品の加熱処理やシリアル、野菜、果物の乾燥などの農業利用分野と温泉プールなどの観光資源開発である。この他、リフトバレー北部では養蜂や、皮革加工、灌漑施設、魚の養殖なども検討している。また、USAID からコンサルタントチームが送り込まれており、ケニアにあった地熱直接利用ガイドブックを作成している (2013 年 9 月にドラフト完成予定)。

このコンサルタントチームは 2012 年 9 月から 3 年間の協力予定である。このなかで、乳製品加工が最初のターゲットであり、Menengai 地区で展示場を建設する計画であり、米国国際開発庁 (USAID) から乳製品の専門家が派遣された。この展示場を利用して投資家を募り、将来的には熱水を民間に売る考えである。同コンサルタントチームは、世界有数の地熱直接利用の権威である John Lund 博士 (元オレゴン工科大学地熱センター所長で、現在は引退して個人コンサルタント) がメンバーとなっているが、他のメンバーは、地熱や地熱熱水の特徴を知らない農業分野の専門家などであり、進捗が円滑ではない面もある。

このほか、蒸気から水を作る灌漑農業に関して、GDC はジョモケニアアッタ農工大と研究を進めている。その他、エブルにおいて、コミュニティの主導で農産物の乾燥を行っている。

(2) 人材育成プログラム

GDC 単独で実施できる事業ではないものの、探査や掘削に対する投資をより早く回収する支援事業として、GDC は、発電に用いた後の地熱流体が有する余熱を利用できる可能性があるか理解しておくべきである。したがって、この技術協力では GDC の人員に対して、地熱地帯の周辺コミュニティでの適切な熱利用に関する知識を提供するアプローチが有効と考える。

また、日本の協力に関しては、従来の実績から非常に信頼をもって期待されているが、USAID と同じことを重複して行う必要はないので、USAID の地熱直接利用ガイドブックがある程度固まった段階で、日本側が協力しやすい（そしてケニア側の要望も高い）分野で実地導入的な協力を検討するのが効果的と考える。

## 第4章 事前評価

### 4-1 評価結果総括

今回の詳細計画策定調査の結果に基づき、「新 JICA 事業評価ガイドライン第 1 版」（独立行政法人国際協力機構 評価部、2010 年 6 月）に則して、評価 5 項目の観点から本プロジェクトの事前評価を行った結果、本案件の妥当性・有効性は十分に認められ、加えて、正のインパクトも認められ、持続性も十分に見込まれる。さらに、効率性については、今回の詳細計画策定調査の実施により、ケニア側において真に必要な支援対象分野・範囲を十分に絞り込み、日本人専門家及びケニア人カウンターパート（C/P）、C/P の保有する機材等のリソースに対して、最大限の効果が発現されるように、プロジェクトが設計されている。最後に、持続性に関して、政策・制度面、組織・財政面や技術面からも十分に認められるものであると評価できる。

したがって、総合的に本プロジェクトを評価すると、ケニアの開発政策、開発ニーズ、日本の援助方針と十分に合致しており、また、計画の適切性が認められることから、実施意義は高いと評価できる。

以下に評価 5 項目の評価結果を示す。

### 4-2 妥当性

妥当性については、本プロジェクトの上位目標である「GDC が電力事業者に対して適切に蒸気供給を行うことができる」とプロジェクト目標である「地熱開発上の技術面でのリスクが低減されるべく、GDC の人材が育成される」という 2 つの目標について、ケニアの上位政策との整合性の度合い、本プロジェクトのターゲット・グループのニーズとの整合性の度合い、日本の対ケニア関連の政策との整合性の度合い、他ドナーの対ケニア援助政策との整合性の度合いなどを確認した。

#### 4-2-1 ケニアの上位政策に係る妥当性

ケニアの国家開発計画は、“Vision 2030”であり、そこでは、2030 年までに中所得国入りすることを大きな政策目標としている。“Vision 2030”で掲げられている政策目標を達成するうえで、エネルギーコスト（電力料金等）の低減による産業競争力強化に向けた電源開発が重要視されている。そのなかで、重要なエネルギー源として、地熱開発が挙げられている。

また、ケニアにおいてエネルギー開発を所管している、エネルギー・石油省が策定している“National Energy Policy”（国家エネルギー政策）（2012 年 5 月）においても、短期、中期、長期のエネルギー開発の重要性について言及している。地熱発電についても、具体的な数値目標として、2011 年に 200MW に満たない地熱による発電量を、2019 年までに 1,500MW に、2022 年までに 5,530MW とすることを明示している。

このように、ケニアにおいては一貫して、地熱開発の促進や地熱による発電量の拡大を政策目標としている。したがって、地熱開発を担う主たる機関である GDC の能力向上を目的とする本プロジェクトについては、ケニアの上位目標との整合性は非常に高く、妥当性が十分に認められるものと評価できる。

#### 4-2-2 直接・間接裨益者（ターゲット・グループ）のニーズに係る妥当性

本プロジェクトの直接の裨益者は、ケニアにおいて地熱開発を担う主たる機関となっている GDC である。GDC は、ケニアの開発に係る上位政策である“Vision 2030”やエネルギー・石油省の政策に沿って、地熱開発を実施している。

本プロジェクトに対する GDC の期待は非常に大きい。GDC の事業は 2010 年に改訂された、“Ten Year Business Plan”に沿って実施されている。“Ten Year Business Plan”において、今後、地熱開発を拡大していくためには、各クラスの人員を大幅に増強する必要がある旨記されている。この点については、本詳細策定計画調査で実施した、GDC との面談の結果からも明らかである。

また、間接裨益者である、エネルギー資源省からも、本プロジェクトの結果に基づき、地熱開発の促進に対して、大きな期待がある旨、コメントがあった。その他、地域住民等についても、地熱開発から派生する雇用創出効果等が理解されれば、一定程度理解を得られるものと考えられる。

直接裨益者を中心として、ターゲット・グループのニーズと本プロジェクトの目標の整合性は明確であり、本プロジェクトの妥当性は十分であると評価できる。

#### 4-2-3 日本の対ケニア援助政策に係る妥当性

日本の対ケニア援助政策を示している、「対ケニア共和国 国別援助計画」（2012 年 4 月）においては、大目標として、“Vision 2030”を軸とした持続的な経済・社会の発展の促進を掲げており、また、中目標のなかで、経済インフラ整備に係る援助を掲げており、地熱発電の整備についても具体的な言及がなされている。

さらに、2013 年 6 月に実施された、第 5 回アフリカ開発会議（TICAD V）に基づき発出された「横浜宣言 2013」や「横浜行動計画 2013～2017」においても、エネルギー関連のインフラ整備は重要な課題として挙げられており、「横浜行動計画 2013～2017」においては、具体的に、「水力、太陽光、地熱、バイオマス及び風力発電を含めた再生可能エネルギーへの投資促進」を TICAD V の重点分野としている。

このように、日本の対ケニア援助政策の基本となる、国別援助計画や TICAD V の成果等を踏まえても、地熱開発に資する本プロジェクトと日本の対ケニア援助政策の整合性は明確であり、本プロジェクトの妥当性は十分であると評価できる。

#### 4-2-4 他ドナーの援助に係る妥当性

GDC に対しては、アフリカ開発銀行、世界銀行、米国輸出入銀行、フランス開発庁、ドイツ復興金融公庫、インド輸出入銀行等が試掘のための融資等の資金供与を実施・計画中である。また、USAID も地熱エネルギーの二次利用に係る技術協力プロジェクトを実施している。このように、各国もケニアにおける地熱開発の重要性を認識し、積極的な援助を実施している。

一方、他国の援助については、試掘の資金供与といった、資金面のサポートが中心となっており、GDC の能力向上や人材開発といった側面に係る援助は限定的である。

このような状況にかんがみれば、日本が本プロジェクトを通じて GDC の能力向上や人材開発に資することにより、他ドナーの援助の効率性を高めることも期待でき、他ドナーの援助政策等を踏まえた本プロジェクトの妥当性は十分にあるものと評価できる。

### 4-3 有効性

有効性については、本プロジェクトの目標（「地熱開発上の技術面でのリスクが低減されるべく、GDC の人材が育成される」）による、上位目標（「GDC が電力事業者に対して適切に蒸気供給を行うことができる」）の達成への寄与度や上位目標の達成に影響する外部条件等の評価した。加えて、本プロジェクトのアウトプットによる本プロジェクトの目標の達成への寄与度や本プロジェクトの目標に影響する外部条件などについても評価を行った。

#### 4-3-1 プロジェクト目標の達成による上位目標の達成の見込み

上位目標の達成度合いを示す指標としては、「蒸気供給契約の数」を設定している。一方、プロジェクト目標の達成度合いを示す指標としては、「蒸気開発の成功率」と「蒸気開発工程に関する工期の短縮」を設定している。

蒸気供給契約の成立は、当然のことながら、GDC による蒸気開発の成功が必要条件である。また、蒸気開発の早期化が達成されれば、蒸気供給契約の成立は早期化し、蒸気供給契約の数が上昇することは明らかである。

このように、プロジェクトの目標の「蒸気開発の成功率」と「蒸気開発工程に関する工期の短縮」という指標と、上位「蒸気供給契約の数」の因果関係は十分に強いものと考えられる。したがって、本プロジェクトの有効性は十分に高いものと評価できる。

プロジェクト目標の達成に基づく上位目標の達成のための外部条件として、ケニアのエネルギー政策の変更がない点と、GDC が地熱開発のための資金調達を適切に実施できるという点が挙げられる。「蒸気供給契約の数」の増加に資する要素のうち、人材面については本プロジェクトでカバーされるが、資金面については、本プロジェクトの成果によらないものである。資金面については前述したとおり、各ドナーが一定程度の資金を GDC に供給しているほか、ケニア政府も地熱開発に対する資金投入には積極的であることから、現在のところ、上位目標の達成を大きく妨げる見込みはないものと評価できる。

#### 4-3-2 プロジェクトのアウトプットによるプロジェクト目標の達成の見込み

プロジェクト目標の達成度合いを示す指標として、「蒸気開発の成功率」と「蒸気開発工程に関する工期の短縮」を設定しており、本プロジェクトの成果の達成度合いを示す指標としては、「GDC 職員の能力チェックリストと評価表の開発」に基づく、各分野において一定レベルに達した GDC 職員の数を決分野で設定している。蒸気開発の成否は、坑井データの解析に係る技術力や貯留層の概念モデルを開発できる能力等、GDC 内の職員の能力に大きく依拠している。また、蒸気開発工程に関する工期の短縮にあっても、GDC のプロジェクトマネジメント能力や掘削現場の統率力、地熱の二次利用に係る各種計画の立案能力等の GDC の能力開発は不可欠である。現状としては、坑井データを十分に活用できていなかったり、最適な資機材の選択がなされていなかったりするため、蒸気開発の成功率を高めることができていなかったり、蒸気開発工程に関する工期が十分に短縮できていなかったりする。

このように、本プロジェクトによるアウトプットと、本プロジェクトの目標と設定した指標の因果関係は強い。以上にかんがみれば、本プロジェクトの有効性は十分に認められるものと評価できる。

ただし、本プロジェクトで能力強化を図ることのできる GDC 職員の人数には限界があるた

め、GDC が本プロジェクトの成果を踏まえ、GDC 自体が継続的に職員全体に対して必要なトレーニングを続けることが、本プロジェクトの目標の達成度を高めるためには必要である。

#### 4-4 効率性

効率性については、本プロジェクトによるアウトプットを達成するために、最も効率的なインプットが用いられているかという点について評価を行った。ケニア側からのインプットとして想定されているのは、GDC による適切な C/P の配置や C/P への給与・手当等であり、本プロジェクトにかかわらず発生するコストであることから、この点について効率性に係る評価は特段ない。ここでは、日本側からのインプットの効率性について評価を行った。総合的に、本プロジェクトの効率性は十分に高いものと考えられる。総合的に、本詳細計画策定調査では、GDC 側の現状を詳細に把握したうえで、日本側のインプットの制約等にかんがみ、最も効率的なプロジェクト計画の立案しており、本プロジェクトの効率性の向上については、十分な考慮がなされているものと評価できる。

##### (1) 専門家

本プロジェクトの実施にあたっては、地熱開発に係る専門家を分野網羅的に投入する予定となっている。これまで、基本的に GDC では内部のトレーニングや十分な知見を有する技術者による OJT 方式の技術移転等の手段で能力向上や人材開発を行っている。しかし、地熱開発に係る最新の技術を活用したり、地熱開発に係る安全性向上を図ったりするためには、地熱開発について十分な実績と経験を有する専門家を派遣し GDC とともに人材開発を行う方が、これまでどおり GDC 内部で継続して人材開発を行うよりも効率性が高いものと考えられる。

##### (2) 供与機材

本プロジェクトで予定されている機材の供与については、現在の GDC が保有している機材の状況にかんがみ、本プロジェクトの OJT に必要な機材が適宜供与されることとなっている。現時点で供与機材に係る効率性を評価することは難しいが、基本的に試掘作業の安全性向上や人材開発の高度化等の観点に基づき、GDC と協議のうえ、日本側からは真に必要な機材の提供となる予定であり、現段階において効率性は十分に確保される見通しであるものと考えられる。

##### (3) 研修

本プロジェクトでは、掘削技術について毎年 24 名程度（1 カ月間）、及び貯留層評価についても毎年 24 名程度（1 カ月間）の本邦研修が予定されている。本邦研修の実施にあたっては、ケニア側で導入されていない研修機材による研修や日本の地熱開発サイトの視察等が含まれる予定であり、ケニア国内で短期的には実施が難しいテーマの研修が予定されている。本邦研修の実施は、適切な研修の実施や GDC 職員が日本の先進的な地熱開発動向について理解することにより、ケニアにおける地熱開発の安全性向上に資するものであり、本プロジェクトにおいては、不可欠な内容であるものと考えられる。総じて、現時点においては、効率性について最大限考慮したうえで、本邦研修が計画されているものと評価できる。

#### 4-5 インパクト

インパクトについては、本プロジェクトによる直接または間接的に生じる正・負の変化について評価した。

本プロジェクトの直接的な効果としては、GDC の能力向上や GDC 職員の技術向上が見込まれており、GDC による地熱開発に係る安全性の向上や効率性の向上等の正のインパクトが非常に大きいものと考えられる。一方、本プロジェクトは、掘削等の地熱開発の実施を直接的な目的としているものではないため、直接的に負のインパクトを生じることはないものと考えられる。

また、本プロジェクトの間接的な効果としては、将来的な地熱開発の促進によるエネルギー価格の低減や電源開発によるケニアにおける経済成長の促進等、経済面から正のインパクトが多分にあるものと評価できる。一方、地熱開発の促進による、環境や社会等への負のインパクトも間接的にあるものと考えられるが、地熱開発については、本プロジェクトの有無にかかわらずケニア側により推進されるものであり、むしろ、本プロジェクトの実施により、GDC 職員の地熱開発に係る技術力等が向上し、負のインパクトが最小となるように地熱開発を推進することが可能となるものと考えられる。

そのほか、地熱開発に伴い、試掘サイトの周辺地域の雇用創出等、地域コミュニティに対しても経済的なメリットがあるものと考えられる。

さらに、ケニアにおいて地熱開発に係る人材育成が進めば、周辺諸国における大地溝帯沿いの地熱開発に対してケニアから専門家を派遣することも将来的に可能となり、結果的にケニアを中心とした東アフリカ地域の地熱開発の促進に寄与することも考えられる。

総じて、本プロジェクトは正のインパクトが多分にあるものと評価できる。一方、負のインパクトについては、ほとんどないものと評価できる。

#### 4-6 持続性

持続性については、本プロジェクトが終了したあともプロジェクト実施による便益が継続するかを評価した。特に、政策・制度面、組織・財政面、技術面からの持続性を評価した。

##### (1) 政策・制度面

プロジェクト目標（「地熱開発上の技術面でのリスクが低減されるべく、GDC の人材が育成される」）や上位目標（「GDC が電力事業者に対して適切に蒸気供給を行うことができる」）が達成されることにより、エネルギー政策上の地熱に対する信頼性が高まり、ケニア政府が継続的に地熱開発を進めることが期待できるものと考えられ、政策・制度面からの持続性は十分に認められるものと評価できる。

##### (2) 組織・財政面

本プロジェクトの成果として、GDC 職員の人材開発が進んだり、GDC が自ら職員の人材開発のためのプログラムを適切に組むことができるようになることで、GDC がドナーや外部人材に大きく依拠せずに地熱開発を進めることができるものと評価できる。また、本プロジェクトの成果により、地熱開発に係る効率性が向上し、結果として、GDC の予算を効率的に活用することができることも期待される。したがって、組織・財政面からの持続性についても十分に認められるものと評価できる。

### (3) 技術・人材面

本プロジェクトによる成果が十分に発現すれば、GDC 職員自ら他の職員へのトレーニング実施も可能となり、プロジェクト完了後も GDC 内部で技術移転が進むことが期待される。また、本プロジェクトのアウトプットとしては GDC 職員の能力チェックリストやトレーニング用の教材とプログラムの開発等が想定されており、本プロジェクト後も、GDC 自身が効率的な要員計画や人材育成等を実施できるような配慮がなされている。したがって、技術・人材面からも、持続性は十分に認められるものと評価できる。