

鉦工業プロジェクトフォローアップ調査

地熱案件調査報告書

平成5年3月

国際協力事業団
鉦工業開発調査部

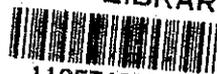


鉦調計
CR(5)
93-86

鉍工業プロジェクトフォローアップ調査

地熱案件調査報告書

JICA LIBRARY



1105743(7)

26539

平成5年3月

国際協力事業団
鉍工業開発調査部

国際協力事業団

26539

目 次

1. 本調査の背景及び目的	1
2. 調査の方法	2
3. 現地調査団の構成及び日程	3
4. 調査結果	5
4-1. トルコ (各国共通)	5
4-2. メキシコ	12
4-3. インドネシア	19
4-4. タイ	26
4-5. チリ	31
4-6. コスタ・リカ	34
5. 結論と提言	36

1. 本調査の背景及び目的

鉱工業プロジェクトフォローアップ調査は、鉱工業分野開発調査事業（海外開発計画調査）のより一層の効果的かつ効率的な実施に資する目的で、

- 1) 過去に実施された鉱工業分野開発調査案件の概要と調査完了後の状況
- 2) 本事業に対する関係先の意見・要望等

の2点について調査分析のうえ、結果を取りまとめるものである。

対象となる案件は、国際協力事業団鉱工業計画調査部（平成4年度より鉱工業開発調査部）が、海外開発計画調査事業により実施した開発調査案件のうち、昭和49年度以降に始まり、すでに終了している全ての本格調査案件で、そのうち、地熱開発に関わる開発調査は平成3年度末までに9件（調査途中で中断した案件2件を除く）行われている。

地熱案件については、これまでのフォローアップ調査において、他の分野の開発調査に比較して実現率が低いという結果が出ており、過去の地熱案件調査のその後の状況をフォローアップし、今後の案件採択に資するという目的で「地熱案件調査」を行うこととなった。今年度対象となった地熱案件は以下の6カ国6案件であるが、現地調査はトルコ、メキシコ、インドネシア及びタイのみ実施した。

- | | |
|-----------|---|
| 1) トルコ | ディギリ・ベルガマ地熱開発計画調査（昭和60～62年度） |
| 2) メキシコ | ラ・プリマベラ地熱開発計画調査（昭和59～63年度） |
| 3) インドネシア | ルンプール地熱開発調査（昭和55～58年度）
クリンチ地熱開発調査（昭和61～63年度） |
| 4) タイ | サンカンベン地熱開発調査（昭和56～62年度） |
| 5) チリ | プチュルディサ地熱開発計画調査（昭和53～56年度） |
| 6) コスタ・リカ | （ミラバジェス地熱発電所建設事業；有償資金協力対象案件） |

2. 調査の方法

地熱案件調査は、以下の方法で実施された。

1. 国内における事前調査

現地調査に先だって、調査対象国の電力事情、地熱開発の現状と地熱開発関連技術水準について文献調査を行うとともに、関係団体へのヒアリング調査を行った。

2. 調査対象国におけるカウンターパートに対するヒアリング調査

当該地熱開発計画調査のカウンターパートに対して事前に質問状を送付し、現地に於いてヒアリング調査を実施した。

3. 現地調査

地熱開発計画調査の対象地域（プロジェクトサイト）の視察が可能な国については、サイトの現状について現地調査を実施した。

4. 調査結果の分析

対象国における調査結果を分析し、相手国側及び日本側双方の問題点を整理して、今後の地熱案件に対する我が国としての対応に関し考察を加え、提言としてまとめた。

3. 調査団の構成及び日程

現地調査団は3回に分けて派遣された。団員と主な日程は以下の通り。

1. トルコ (平成4年10月17日～10月27日)

下村則夫：国際協力事業団鉱工業開発調査部計画課

山田健二：財団法人国際開発センター調査部

村松容一：財団法人新エネルギー財団地熱本部

10/17 土 東京 → バリ

18 日 バリ → アンカラ

19 月 アンカラ 大使館、電力調査庁(EIE)、国家水利庁(DSI)

20 火 アンカラ 鉱物資源調査総局(MTA)

21 水 アンカラ→イズミール MTAイズミール支所

22 木 イズミール→ベルガマ アリア地域、
ディキリ・ベルガマプロジェクトサイト視察

23 金 イズミール→クズルデレ ゲルメンジック地域、パムッカレ地域、
クズルデレ地熱発電所視察

24 土 イズミール → イスタンプール

25 日 イスタンプール → ロンドン

26 月 ロンドン →

27 火 → 東京

2. メキシコ (平成5年2月8日～2月18日)

高橋 昌行：通商産業省通商政策局経済協力部技術協力課

荒谷 義彦：国際協力事業団鉱工業開発調査部計画課

津田 潤：財団法人国際開発センター調査部

長尾 節夫：財団法人新エネルギー財団地熱本部

2/8 月 東京→バンクーバー→メキシコシティ

9 火 メキシコシティ JICA事務所、大使館、電力庁(CFE)

10	水	メキシコシティ	鉱物資源審議会 (CRM)
11	木	メキシコシティ→グアダハラ	電力庁 (CFE)
12	金	グアダハラ	地熱サイト視察
13	土	グアダハラ→メキシコシティ	
14	日	メキシコシティ	
15	月	メキシコシティ	JICA事務所
16	火	メキシコシティ→サンフランシスコ	
17	水	サンフランシスコ →	
18	木	→ 東京	

3. インドネシア・タイ (平成5年2月10日～2月21日)

村上樹人：通商産業省通商政策局経済協力部技術協力課

矢部哲雄：国際協力事業団鉱工業開発調査部資源開発調査課

山田健二：財団法人国際開発センター調査部

森 洋：財団法人新エネルギー財団地熱本部

2/10	水	東京→ジャカルタ	
11	木	ジャカルタ	JICA事務所
12	金	ジャカルタ→バンドン	大使館、PLN (インドネシア電力公社)
13	土	バンドン→ジャカルタ	VSI (インドネシア火山調査所)
14	日	ジャカルタ→バンコク	
15	月	バンコク	大使館、JICA事務所 EGAT (タイ電力公社)
16	火	バンコク→チェンマイ	
17	水	チェンマイ	チェンマイ大学、サイト視察 (サンカンベン地区)
18	木	チェンマイ	サイト視察 (ファン地区)
19	金	チェンマイ→バンコク	EGAT、JICA事務所
20	土	バンコク→	
21	日	→東京	

4. 現地調査報告

4-1 トルコ

4-1-1 エネルギー事情

トルコの国内エネルギー資源は、褐炭、水力が豊富に賦存する他は石油、石炭、天然ガスの埋蔵量は少なく、電力の一部も輸入している。従って、水力及び褐炭がトルコの国内産の発電用エネルギー資源として中心的役割を果たしてきたが、近年火力発電所立地に際しての公害問題がクローズアップされ、クリーンで再生可能エネルギーとして水力開発が期待されている。同国の1990年から1995年までの5ヶ年間のエネルギー政策は国産エネルギー資源を重視し、短期的には褐炭を利用した水力発電、長期的には水力発電を推進しようとしている。

1990年を初年度とする第6次開発5カ年計画において、第5次5カ年計画のエネルギーセクターの基本方針が引き継がれ、2010年をめどとした長期需要計画による計画的な設備整備が必要とされている。尚、第5次5カ年計画のエネルギーセクターの基本方針は以下の通りである。

- ①経済発展を支えるため、1次エネルギー、電力の安定供給を図る。このため、新しい資源の開発と既存施設の十分な利用を図る。
- ②輸入エネルギーを減少させるため、国内に豊富に賦存する褐炭を優先的に使用する。特に火力発電の燃料として用いる。
- ③国内原油生産の増大のため、探査、採掘については民間資金の導入を図る。
- ④国内天然ガス田の探査を推進すると共に近隣諸国からの天然ガスの調達を目指す。
- ⑤地熱・太陽エネルギーなどの新しいエネルギーの開発を行う。
- ⑥安定した電力供給のため、短期的には褐炭を利用した火力発電、長期的には水力発電を推進する。
- ⑦送配電ロスの低減。
- ⑧農村の電化率を第5次計画終了までに100%とする。

4-1-2 電力需要と供給

トルコにおける総発電設備容量は1990年16,315MWで、その内訳は水力6,764MW(全体の41.5%)、火力9,551MW(58.5%)である。さらに、火力は褐炭5,228MW(32%)、Nガス2,210MW(13.5%)、石油

2,098MW (12.9%)、地熱15MW(0.1%)の内訳となっている。

トルコにおける電力需要量は1986年以降急速に増加しており、1990年の伸び率は9.5%、1991年には6.5%であった。今後、電力需要は毎年平均8.7%の高率で伸びるものとトルコ政府は予測している。この電力需要増大に対して、トルコ政府は水力発電を優先的に開発する方針である。しかし、水力発電だけでは需要を満たすことは出来ないため、褐炭や輸入炭、及び天然ガスを燃料とする火力発電を均衡良く開発して対応することとしている。トルコ現政権の優先順位は、①水力、②褐炭、③石油、④地熱・その他、となっており、地熱発電開発にはあまり意欲的ではない。

トルコ国における電力供給計画はWASPモデルを採用して検討されており、主要な火力と水力での電力設備供給計画は、2000年に火力16,399MW、水力13,844MW、2010年に火力42,071MW、水力21,415MWとなっている。尚、Electric Power Research Instituteの試算 (1978)によると、トルコ共和国全域では今後30年間に87100MW(2903MW/年)の地熱発電が可能である。

4-1-3 地熱開発の現状

Simsek and Demir(1991)によれば、トルコでは1990年までに30か所の地熱地域で238本の测温井、71本の浅部井、35本の深部井が掘削されている。これらの地域における貯留層及び帽岩を構成する岩石の特徴および坑井深度等は第1表のとおりである。表からわかるように、深部井はこれまでに9地熱地域で掘削されているが、そのうち地下温度が200℃を越えるKizildereとGermencikの両地域ではとくに多数の掘削が行なわれている。地熱発電を目的とした開発はこれらの地域で行なわれているので、この両地域における現状と将来の計画について述べる。

(1) Kizildere地熱発電所の現状と将来計画

Kizildere地域はトルコでもっとも地表徴候が顕著である。地熱貯留層は2枚存在し、浅部の第1貯留層は第三紀鮮新世石灰岩、深部の第2貯留層は古生代または先古生代メンデレス変成岩類の大理石-クォーツァイト-結晶片岩の互層中に発達する。掘削によって確認された貯留層温度は152～212℃である。

この地域に、1984年2月にトルコ唯一の地熱発電所として、トルコ電力公社(TEK)によってKizildere地熱発電所が20.4MWの設備出力で運転を開始した。生産井の蒸気中には約13vol.%という高濃度のCO₂ガスが含まれており、2,600kwはタービンに直結したガスエジェクターに消費され、有効出力は残りの17,800kwに設計されている。この発電所は運開当初から炭酸カルシウムスケールによる坑井内及び地上配管の閉塞のため順調な運転は行われていない。その対策として、1987～1988年に当地熱発電所の

リハビリテーションが実施された。機械的処理として坑内リーミングと塩酸処理・スケールインヒビター対策が実施され、塩酸処理によって生産指数は著しく改善された。現在9本の生産井のうち2本では試験的に生産井内に挿入された米国製の薬注管を通じてリン酸カルシウムを注入することによってスケール付着を防止している。これによって、スケールによる閉塞は解決されたものの、坑内の乱流による高価な薬注管の破損が解決すべき課題となっている。残る7本は6か月に一回の割合でリーミングにより除去しているが、将来はこれらの生産井にも薬液注入法を採用する予定である。なお、我が国では森地熱発電所でも運転開始当初は同様の炭酸カルシウムスケールに悩まされたが、薬注管を通じてのポリアクリル酸ナトリウムの注入によって現在ではこの問題は解決している。

当地熱発電所の出力は通常約15,000kwであるが、視察時には約6,000kwと低出力であった。これは、使用済み熱水に含まれる硼素濃度が30ppmと高く、この熱水を放流しているメンデレス(Menderes)川での硼素濃度を農業利用上1ppm以下に制限しており、渇水期における熱水の放流を制限せざるをえないことによる。

また当地熱発電所の将来生産予測のための貯留層評価が実施され、熱水の効果的還元により40MWの発電が可能という結果が得られている。

(2) Germencik地域の現状と将来計画

Germencik地域では、地表徴候としては僅かに噴気地が見られるに過ぎない。当地域には2枚の貯留層が存在し、第1貯留層は新第三紀中新世礫岩に、第2貯留層はクォーツアイトー大理石ー結晶片岩の互層とクォーツアイトー片麻岩から構成される古生代変成岩中に発達する。トルコ鉱物資源調査総局(MTA)によって1982~1985年にかけてOB-1~OB-9の9本の調査井が深度285~1,302mで掘削され、その結果、各坑井の最高温度は203~232℃を示し、トルコの地熱地域のなかで最も高い貯留層温度を示すことが明らかとなった。この地域では、1989年に地熱発電所建設のためのフェージビリティスタディが三菱重工とフランスCFG(BRGMの子会社)により実施されている。その結果、①地下還元をしないで熱水はメンデレス川に放流する②現存する9本のうち4本を生産井に使用する条件で、発電規模35MWというKizildereを上回る有望な成果が得られている。これまでに貯留層の限界が確認されておらず、かなり広い貯留層エリアが予想されることから、実際の発電規模はさらに大きいものと考えられる。当地域もKizildere地域と同様に、発電所が建設され運転を開始すると生産井に炭酸カルシウムスケールの沈殿が予想されるため、生産井内にCO₂ガスを注入することによってスケールを防止する方法をテストする計画がされている。

なお、建設に要する費用は当初10,900,000US\$と見積もられていたが、その後の交渉で10,000,000US\$

まで下がってきているとのことである。

(3) トルコにおける地熱開発の障害

トルコにおける地熱開発の障害として、以下の問題がある。

第1に、経済性・探査リスク・開発分担等の問題がある。トルコは現在大きな対外債務を抱え開発資金の捻出に苦慮しており、トルコ電力公社(TEK)はBOT方式による地熱開発への積極的参加を呼びかけているような現状にある。これに加え、発電を目的とした場合地熱は例えば水力（例えば、アタチュルクダム 100万kw)に比べてもスケールメリットが小さいことや探査・開発の実績及びリスクの点から、トルコ政府は地熱発電の開発には消極的で地熱予算の獲得は困難となっている。また、トルコには私企業としての地熱探査及びボーリング会社はない。MTAにとって地熱調査最大のネックは、国家財政が許さないため、深掘り用のボーリング機及び消耗資機材が不足しているようである。実際、現在使用中の坑井掘削用リグは老朽化している。さらに、地熱資源の所有権、開発責任分担等がトルコでは現在法的に明確になっていない。

第2に、炭酸カルシウムスケール付着等の岩石・鉱物上の問題がある。トルコに分布する地熱地域における主要な貯留層母岩の岩質は石灰岩系の岩石であることが多く、この岩石やCO₂を含む岩石を貯留層母岩とし、そこから湧出する温泉からは炭酸カルシウム沈殿物（トラバーチン）がよく認められ、Kizildere地熱発電所の西方約25kmに見られる有名なパムッカレ地方はその代表例といえる。地熱を開発する際には、この炭酸カルシウムが生産井内で沈殿しやすく、この防止対策として種々の試験が実施されている。また、熱水の多目的利用関連では、前述のようにDHEの積極的な導入が図られている。

生産井や地上配管中には軟固結物質による腐食が生じている。例えば、Germencik地域のOB-4井では、第1貯留層は砂岩と礫岩から構成されるが、生産井から得られたこれらの岩石からなるカッティングスがサイレンサーを破壊し、貯留層内では空洞を作る。この対策として、生産はGermencik地域では深部貯留層から取り出す計画であり、特別のスリット管がこれを防止するために挿入されている。また、掘削中には粘土の膨潤によるリグのスタックも問題となっている。

第3に、トルコでは環境問題に十分配慮する必要がある。現在稼働中のKizildere地熱発電所では前述したように使用済み熱水中に高濃度の硼素が含まれている。この熱水はメンデレス川に放出しているが、この河川は農業用に利用されているため、河川の硼素濃度には農業に悪影響がないように十分な注意が払われている。日本では、硼素濃度については問題になっていないが、使用済み熱水中に含まれる硼素が環境問題となっており、使用済み熱水は河川等にそのまま放出することが禁止されており、熱水は全量地下に還元している。

4-1-4 ディキリ・ベルガマ地熱開発調査の概要

(1) 開発調査要請の背景

トルコ政府は1960年来エネルギー源の多様化と国産化を行うため、国内に賦存する地熱エネルギー開発を行ってきた。調査の結果、トルコ国内に莫大な地熱エネルギーが賦存することが明らかになった。地熱資源の開発は、国内のエネルギー不足解消に役立つと思われたが、地熱開発用の掘削機の数に限られており、かつ開発費が高いことから、地熱エネルギー開発をスローダウンせざるを得ない状況となった。

このような状況のもとで、トルコ政府は日本政府に対し、地熱開発調査の協力要請を行った。これに対し、国際協力事業団は1985年7月、トルコ国内の地熱開発について予備調査を実施し、ディキリ・ベルガマ地熱地帯を有望として選定した。その後、Scope of Workが取り決められ、それに基づき1986年6月調査団が派遣された。

(2) 調査の概要

ディキリ・ベルガマ地熱開発計画調査は予備調査以降の検討を踏まえた結果、次のような内容の第1次～第3次調査の3段階で進めることとした。

第1次調査：既存資料（地質調査、地化学調査、重力探査、地温測定）の収集・検討を行ったのち、ランドサット画像解析及び空中写真判読を利用した広域地質構造の検討、地質概査、地化学概査を実施。この結果を総合的に検討し、有望地域(274km²)を抽出。

第2次調査：岩石調査、熱水変質帯調査、地化学・水文調査、重力探査（トルコ側実施）を実施し、最有望地域(42km²)を抽出。

第3次調査：地質精査、CSAMT法探査、流電電位電気探査、熱流量調査(DG-1(683m), DG-2(202m), DG-3(201m))を実施し、最有望地域の貯留層範囲の推定及び地熱系モデルの作成を行った。これらの結果に基づき、当該調査地域のポテンシャルの評価を行い、発電及び多目的利用等の今後の開発について提言。

(3) 調査結果

ディキリ・ベルガマ地域の比較的高温の温泉は新期火山活動に起因し断層と密接に関連する。この地域のうち、調査対象地域には沸騰泉があり、もっとも地熱徴候が活発なKaynarcaを中心とした地区にしぼった。

熱源は小規模鮮新世Koca Tepe及びSulu Kaya火山のマグマ活動に由来すると想定され、地熱活動は活発な時期を過ぎ衰退期にある。熱水の起源はKaynarca北東部で地下に浸透した天水と考えられ、Tr濃度が小さいことから、Kaynarca周辺には流体が深部まで循環する大規模な熱水系が存在する、と考えた。地化学温度は新第三系火山岩最下部 Yuntdag火山岩類 Iの貯留層は180～200℃。土壌及び土壌ガス中の水銀濃度分布・CSAMT法・流電電位法から、地熱貯留層はKaynarca南部域の約1km²の範囲にあり、深部地熱流体の上昇通路はNE-SW系とNW-SE系の断層の交点付近に位置するものと推定。熱流量調査孔の結果、Kaynarcaの北部では深度約700mまでは顕著な断層はなく温度は100℃程度と低い。電気探査による低比抵抗基盤の厚さは600～800mであることから、深部地熱貯留層は800m以深に存在する。

以上のように、もっとも活発な地熱徴候を有するKaynarca地区でも1000m以浅で200℃以上の貯留層が広く分布する可能性は小さく、地熱ポテンシャルは他の地熱地域に比べて低いと判断される。

その結果、①地熱発電にはそのポテンシャル、スケール問題等から不適である旨を指摘し、②多目的利用を勧告した。

4-1-5 開発調査後の状況

JICAの技術協力による地上調査から、当地域は地熱発電には向かないという結論が1987年に得られている。その後、MTAは独自で1989年に最有望エリアであるKaynarcaで1500mの深部調査井を掘削している。その調査井における掘削終了後の温度検層結果は坑底温度で100℃と低温で、地熱発電には向かないことが明らかになり、MTAは当地域での地熱発電を目的とした開発を断念したようである。

現在、当地域の地表～浅部(40～60m)温泉水を約7km西方に位置するディキリ市へ送湯し、地域暖房等に利用することを目的としたF/Sが終了しており、今後ディキリ市の全額出資によって多目的利用が実施される予定である。今回、Kaynarcaの現地を視察したが、このエリアにはJICAプロジェクトで3本の熱流量井が掘削されたものの、現在は坑口が残っているに過ぎない。付近は平坦な未利用草地となっており、H₂Sガスを伴う89℃の高温泉の自然湧出が観察され、MTA掘削の調査井跡地には熱水からの沈殿物である薄い石灰華マウンドが観察された。

4-1-6 開発調査の評価

S/W協議において、MTA側は供与機材として原子吸光分析機器、MT機器、熱水・蒸気分析ユニットを強く要望した。JICAの技術協力によって供与されたCSAMT法測定システム、原子吸光分析装置、熱水・蒸気分析ユニット、水銀分析計はMTAによるAliaga,Ziga,Sofular,Acigol等の地熱探査で活躍し高い評価を受けている。このように、供与した機材はMTAによってトルコの中央アナトリア地区の地熱探査で活躍しており、技術移転も充分であったと判断される。

しかし、本件については調査地域の選定に関して次のような問題があったことが指摘されよう。1985年7月に実施されたJICAの予備調査の結果、Dikili-Bergama（ディキリ・ベルガマ）とSalihli-Turgutlu（サリヘリートウルグートウル）の2地熱地域が候補に挙げられた。この両者において、①MTAの希望はディキリ・ベルガマ地域である②現地調査結果、MTA調査資料、地熱徴候、地質条件等よりみると、両地域は地熱ポテンシャルについては地域の広がり異なるため簡単に比較できないが、まとまった地表徴候は前者のカイナルジャ周辺が優勢である。地化学温度は後者のほうが高いものがある③発電所の立地条件等を考慮すると後者は地滑り地帯が発達し不利である④前者は電力需要地に近く、かつ交通至便であることなどから、総合的に判断して、ディキリ・ベルガマ地域を最終的な対象地域に選定している。

これらの地域以外にもっとも有望な地熱地域として、Germencik地域があるが、この地域はすでに掘削によって地熱貯留層の把握がされているため自国での開発が可能であることなどから、候補外となっている。しかし、もし地熱発電に結び付けることを最終目的とするならば、地下温度等のデータからすでに地熱有望地域と予想されていたGermencik地域を採択した方がよかったのではないかとも思われる。

また、もし地熱発電に結び付けることを目的にするならば、調査方法にも次のような問題があることが指摘されよう。

第一に、地熱開発調査を実施するに当たっては、各段階ごとに、得られた各種地上調査結果を総合解析し、その結果をもとに次年度の調査プログラムを作成する必要があるが、本プロジェクトはそのような流れになっていない。すなわち、数日程度の事前調査及びMTAの要望に基づいてS/Wが作成され、その調査工程と内容に沿って実際の調査は進行している。そのため、1年度から2年度、2年度から3年度へ進む際の調査地域を絞り込んだ理由がはっきりしないように思われる。

第三に、2年という短期間に概査から精査までの内容を消化することに無理があると思われる。このような短期間により成果を挙げるためには、少なくとも第1次調査で行った内容の調査は既存資料によることとし、最初の調査対象面積は200~300km²以下にしはるという方法もあったのではないだろう

か。

第三に、MTAが独自で1,500mの調査井を掘削していることから、この坑井を利用した熱水調査や流電位法探査などの各種調査を実施することによって可能な限りの地熱流体の賦存形態等の地熱貯留層に関する情報を収集し、得られたデータをもとに総合解析することができなかったのだろうか。

4-2 メキシコ

4-2-1 エネルギー事情

メキシコは世界第6位の産油国であり、1991年の原油生産量は日量267万バレルで、1次エネルギー生産量の70%弱を占めている。1991年末の石油資源確認埋蔵量は650億バレルで現在の生産水準で約50年分に相当する。また、石油はメキシコにとって重要な輸出品目であり、1990年9月の輸出量は260万バレルで外貨収入に不可欠である。しかし、近年の経済成長からすると2000～2010年には国内消費によって石油の輸出が止まってしまう恐れがある。そのため、現在の過度に石油に依存した経済構造から、石炭、地熱、水力への依存度を高めるような経済構造の変革を進めている。

4-2-2 電力需要と供給

メキシコの電力事業は憲法と電力事業法でCFE（電力庁）が独占事業として行うことが定められている。1991年末の総発電設備容量は27,069MWで、前年に比して270MW増加している。総発電量は121,607GWHを記録し、前年に比較して2.7%増となっている。発電方式は火力主体の構成であり、その中でも石油火力の比率が高い。電力供給システムは火力・原子力をベースロードにして水力をピークロード用に使っている。原子力発電所は既に1基稼働しているが、地域住民の反対運動が起きていて、今後の開発は難しいようである。1991年の地熱発電の設備容量は720MW、発電量は5,435GWHである。1992年は730MW、5,805GWHと着実に増えてきている。将来の電力需要の伸びの予測としては、経済成長を反映して、1995年には160,345GWHに達するものとみられている。将来の発電所建設計画は、主体は石油火力であり、天然ガス、水力及び石炭火力がこれに次ぐ方式として計画されている。地熱は直近の計画としては、5MWの口元発電がLos AzufresとLos Humerosにあるが、他の地域ではまだ具体化されていない。原子力は現在Lagnaverdeで1基稼働していて、1995年にもう1基建設の計画があげられているが、環境問題で流動的である。

メキシコの送電系統に関して、CFEは全国を北部系統3地域、南部系統3地域、Baja California北部・南部及びPeninsularの9地域に区分している。この内、Baja California北部・南部及びPeninsularは主幹送電線に連系されていない。1990年末の送電網の全長は322,667kmである。

メキシコは隣国のアメリカとベリーズに電力の輸出入を行っている。アメリカに対しては、Baja California北部系統から220MWを供給し、ベリーズに対してはPeninsularから1MWを供給している。1990年の電力輸出入実績は、アメリカに1,942GWH、ベリーズに5GWHの輸出、575GWHの輸入となっていて、1,371GWHの輸出超である。1991年は1,997GWHの輸出、1,236GWHの輸入で、761GWHの輸出超である。

4-2-3 地熱開発の現状

メキシコ国内の地熱地域は国土の約92%に及ぶと言われていて、1987年までに実施された全国踏査で地表温度が30℃以上の地点が13,380ヵ所確認され、545の地熱地域に区分されている。その中の47地域は高エンタルピー地域とされている。確認された地熱資源は、Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros, La Primaveraで1,340MWである。また、Tres Virgenes, Ceboruco, Araro, Ixtran, Los Negritosを加えると推定資源量は4,600MWとなる。さらに、地熱徴候地域を加えた潜在地熱資源量は6,000MWと推定されている。

現在稼働中の地熱発電所は、CERRO PRIETO (620MW)、LOS AZUFRES (95MW)、LOS HUMEROS (25MW)、合計740MWの設備容量である。1992年の地熱発電実績は5,805GWHで総発電量の4.8%を占め、フィリピンの5,695GWHを抜いて世界第2位の発電量となった。さらにCERRO PRIETOで20MW×4、MARITARROとEL CHINOでもそれぞれ20MW×2の計画がある。CFEの地熱開発の年間予算は電力収入の3%とされていて、1993年度は約2,000万弗でメキシコ全体の開発と調査をまかなうとのことである。メキシコの優勢な地熱地域の中で、CFEは現在ラ・プリマベラ以外に次の地域で調査を進めている。

TRES VIRGENES

既に地質調査、MT探査、重力探査、地化学探査が実施されている。また、1,200mの坑井が1本掘削されていて、240℃の温度が測定されている。1993年には、2,000mの調査井を2本掘削する計画が進められている。

CEBORUCO

La Primaveraの東方の広大な地熱地帯で、MT法、地化学探査の他に、200m深の井戸による熱流量調査も実施されている。1993年には、1800mの調査井2本掘削の計画が

ある。

LAGNA SALADA

Cerro Prietoに近接した地域で、地質調査、微小地震探査、MT法、重力探査が実施されていて、20m深地温調査孔80本による熱流量調査も行われている。1993年には1800m深の2本の調査井を掘削する計画がある。現在、数値シミュレーションによる資源評価の実施中である。

ACOCULCO

この地域は地表に地熱徴候が存在する大きなカルデラ構造をしている。

1993年には詳細な地質調査、物理探査が開始される。

AMEALCO

この地域も地表に地熱徴候が存在する大きなカルデラ構造をしていて、Acoculcoと同時に地質調査と物理探査を開始する。

4-2-4 ラ・プリマベラ地熱開発調査の概要

(1) 開発調査要請の背景

メキシコは1970年代を通じて、石油資源に依存した高度成長を達成し、急速な近代化、工業化を成し遂げた。その反面インフレ、失業問題が生じ、急激に流入したオイルマネーは、政府財政を肥大化させ、経済の弱体化を招く結果となった。1981年の世界的な石油市況の軟化によって経済に深刻な打撃を被ったメキシコ政府は、石油依存度の低下、経済の活性化の一方策としてエネルギーの多様化を図った。かかる情勢下で、メキシコ政府は1982年（昭和57年）11月、我が国に対し地熱開発計画にかかわる技術協力の要請を行い、これを受けた日本政府は1983年（昭和58年）7月に予備調査団を派遣した。その結果、本格調査を行う価値ありと判断されたため、ラ・プリマベラ地域の地熱開発計画第一次事前調査団が1984年（昭和59年）2月～3月に派遣されたのに続き、第二次事前調査団が同年9月に派遣され、S/W調印を行った。

(2) 調査の概要

本格調査団は、ラ・プリマベラ地域において1985年から4年間にわたって地熱開発計画調査を行っ

た。

調査団は、地質調査、重力探査、MT法、流体包有物調査、岩石構造解析等の調査を行い、その一次調査に基づいて新規調査井の掘削位置を選定して、調査井PR-12, PR-13を掘削した。PR-12は掘削とその付帯調査はCFEが担当し、調査団はカッティングスの流体包有物試験、X線回折試験、及び掘削後の貯留層特性に関する試験と解析を行った。PR-13はJICAが掘削から貯留層評価試験まで実施した。調査団が地熱開発計画調査を開始する以前に、CFEは既に噴出井と還元井を合わせて数本掘削していたが、CFEはその時点でラ・プリマベラについて容積法で地熱資源量の評価を行い、100MWのポテンシャルを持つとしていた。調査団はCFEのデータと地熱開発計画調査の結果を用いて3次元グリッドモデルによる貯留層シミュレーションを実施して、ラ・プリマベラの地熱資源を75MWと評価した。

(3) 調査結果

調査団は地熱開発計画調査の結果を報告書に纏めてCFEに報告するとともに、調査の結果に基づいてCFEに対して下記の提言を行った。

1. 既に掘削された坑井によって265t/hの蒸気量が見込まれるので、現時点で26MWの発電が可能である。
2. 75MWの資源量が見込まれているとは言え、発電規模を決定するには開発可能性調査を実施する必要がある。そのために、今後2~3本の調査井の掘削が望まれる。
3. 経済効率を考慮し、貯留層の挙動の把握の一つの方法として、Los Azufresのような5MW×3の口元発電の導入も考えられる。

(4) 開発調査後の状況

現在までにラ・プリマベラ地域で掘削された坑井を以下に示す。

坑井名	深度 (m)	備考	坑井名	深度 (m)	備考
PR-1	1,822	噴出井	PR-9	2,986	噴出井
PR-2	2,000	還元井	PR-10	1,902	改修計画中
PR-4	668	廃棄	PR-11	2,157	噴出井
PR-5	1,225	増掘計画中	PR-12	2,303	噴出井 (JICA位置決定)

PR-7	1,386	掘削中断中	PR-13	2,006	噴出井 (JICA掘削)
PR-8	1,861	噴出井	PI-1	422	還元井

調査終了直後の1989年に環境上の問題が表面化したため、ハリスコ州政府の命令によってラ・プリマベラの地熱開発は全面停止となった。グアダラハラ大学のエコロジーグループと百人委員会という環境団体が中心となって、州政府を動かして開発中止の決定に至った。この決定の裏面には地熱開発地域の近隣の別荘用の分譲地造成にからむ土地所有者と土地開発業者との間の利権問題を含んだ政治的動きもあったと言われている。

しかし、環境上の問題は明らかに CFEの落ち度であり、環境問題として取り上げられた点は次の3点である。

1. 進入道路と基地造成の土木工事の計画の不備のため、雨季に大量の土砂が流出したり、法面が崩壊してしまった。
2. 砂漠地帯の Cerro Prietoと同様の試験方法で、長期間にわたって蒸気と熱水をそのまま大気中に放散していたため、周辺一帯の草木の葉の気孔を蒸着したシリカとボロンで目詰まりさせて枯れさせてしまった。
3. 試験設備として、セパレーターやサイレンサーを設置せず、上方へ噴出させてそのリッププレッシャーを測定する方法で噴出量を計測していたため、騒音が問題とされた。

その他として、一般住民の地熱発電についての知識不足のために、地熱発電が有害な熱水とガスを放出する危険な事業であるとの開発反対派の声に流されてしまったとの意見も聞かれた。CFE はラ・プリマベラ以前に Cerro Prietoと LosAzufresで地熱開発の実績をもっているにも拘らず、環境問題に関する意識が不足していたようである。

CFEは1989年の開発中断以後4年間をかけて200万弗を投下して、土木工事と植林を行って破壊された環境の補修に努めた。CFEの環境修復作業は以下のような内容である。

- ・河川に土砂流出防止の堰を設置した。
- ・道路幅を4mに縮小整備し、道路脇に植林した。
- ・崩壊した斜面を修復し、ベントナイトと草の種子を吹き付けて改修した。
- ・地熱開発地域54ヘクタールの90%に15万本の植樹を行い、その90%は着生に成功した。
- ・パンフレットや掲示板によって、地熱発電の安全性と必要性について啓蒙活動を実施した。

ラ・プリマベラ環境問題はCFE環境問題に対する意識改革をもたらしたといえるようだ。しかし、環境問題に対する取組みはまだ本格的なものとは言えず、急速な経済成長による電力需要を拡大をいかにして補填するかが優先しているようだ。

ラ・プリマベラはすぐ近くにメキシコ第二の都市グアダハラを擁している。また、ハリスコ州は州の電力需要を州内で供給できず、大半を近隣の州からの送電に頼っている。もし、ラ・プリマベラで100MWの地熱発電ができれば、それだけでハリスコ州の電力需要の1/3を賄うことができる。その意味からハリスコ州実業界は州内に発電所が建設されることを歓迎している。また、CFEも州当局に対して地熱発電は水力発電に比較して効率がよく（プラントファクターが大）、1KWH当たりの燃料費が25ペソと非常に低コストの電力であることを主張している。

CFEは、今後全てのフィールドに対して地熱発電を5MWの口元発電機と20MWのモジュール型発電機を発電単位として開発を進める方針を固めている。ラ・プリマベラの場合もJICAの提言を受けて5MWの発電機が2基発注されていたが、その後の環境問題による開発停止によってこの発電機はLOS HUMEROSへ振り向けられたとのことである。

ラ・プリマベラプロジェクトに関しては、CFEの環境修復の努力が認められて都市開発環境省の承認が得られ、近々州政府の開発再開の許可が得られる見通しであるとのことである。CFEは再開後には、5MW発電機2基で発電所建設画の計画を実行に移す意向である。また、将来的には20MW2基の計画もある。RAMIREZ氏（CFEの地熱開発の最高責任者）はラ・プリマベラの地熱貯留層は全て理解できていると述べているが、JICA調査以降は、いくつかの坑井の温度・圧力検層データが増えただけであり、まだ20MW2基の開発計画が策定できるまでには貯留層の解析は進んでいないようである。

しかし、開発停止からのこの4年間でデータの整理・解析は進められていて、CFEは今後の調査・開発のターゲットは南東方向へ広がっていると推定している高温・低比抵抗域に絞り込んでいる。ただ、この解釈はPR-11が予測より高温であったことによるところ大で、JICA提言のように今後2,3本の調査井を掘削して確認する必要がある。

4-2-5 地熱開発調査の評価

案件採択の妥当性に関しては、1983年の予備調査の時点では、候補地域としてラ・プリマベラ以外にイクストランとサン・バルトロメが挙がっていた。3地域の中ではラ・プリマベラが一番調査が進んでいて、開発の可能性も最も高く、最終的にはメキシコ側の要望で対象地域はラ・プリマベラに決まった。

ラ・プリマベラに対するこの地熱開発計画調査の目的は、貯留層の広がりや貯留層の特性を把握して、地域の総合評価と発電規模の策定を行うことである。1985～1989年に実施されたこの地熱開発計画調査は当初の目的を達成していると考えられる。この点はCFEも認めていて、謝意を表明している。発電所の建設に至っていないのは環境問題による開発停止によるものである。その意味ではメキシコは環境問題にいかに取り組みかという問題を別にすれば、JICAの地熱案件の中で最もうまくいったケースであろう。しかし、これはメキシコの地熱開発の進め方（5MWの口元発電と20MWのモジュール型発電の組み合わせによる開発）によって問題点が表面化していない点を割り引く必要がある。

CFEが一気に75MWの発電所の開発を狙った場合には、色々な問題が浮上してこなかったとは言い切れない。しかし、この地熱開発計画調査は一次F/Sまでであるので、そのような問題がたとえ当然のこととも言える。

調査方法の妥当性に関しては、CFEはメキシコの地熱開発を独占事業として担当しており、既にCerro PrietoやLos Azufresの開発の実績があり、開発するだけの技術をもっていたとも言えるが、いずれの地域も優勢な地熱地域であり、これまでの開発ではそれ程高い技術力は要求されなかったとも言える。予備調査時点のCFEの技術力の評価は、CFEの地質、地化学のレベルはかなり高く、殆どの探査もCFE自身で実施できるが、実施方法や解析手法についてはまだ問題があり、総合評価の精度を高めるためには、新しい探査手法を取り入れると同時に従来の探査・解析の方法の改良が必要であるとされていた。この点で、地熱開発計画調査報告書に載せられているラ・プリマベラに適用された調査項目と内容は満足し得るものとも言える。

提言の内容については結果論として批判している問題とも言えるが、ラ・プリマベラの開発が環境問題によって停止せざるを得なかったことを考えると、自然環境に対する十分な配慮への提言が必要ではなかったか。CFEはCerro Prietoと同じ方法で試験を行っていて、その時点ではCerro Prietoとの違いが分からなかったと言っているが、Cerro Prietoと違ってラ・プリマベラは日本の地熱地域と似た自然環境である。ラ・プリマベラで引き起こした環境破壊は日本の地熱開発の過程では考えられない状況である。

技術移転・機材供与の妥当性に関して、調査団はCFEに対して地熱開発計画調査終了後にMT法計測機器一式と検層車一台を供与している。CFEはその後全てのフィールドにこの手法を適用していて、CFEの地熱探査のプログラムの中で重要な手法として活用している。メキシコの地熱開発は今後ますます拡大され、有力な探査手法として効果を発揮することが期待される。この意味で、技術移転・機材供与は妥当と判断される。地熱開発計画調査の中で実施された調査項目の中で、MT法以外にも多くの手法がCFEにとって初めての経験あるいは余り使用されていない手法であったようだ。CFEはアメリカの

技術レベルはDOEとの技術情報の交換でよく理解していて、その上で日本の技術を高く評価している。CFEの地熱開発の最高責任者である MIGUEL RAMIREZ氏と地熱開発・調査の責任者の GERARDO HIRIART氏は JICA調査に対して、「JICAの援助、協力そして技術移転は優れたもので、感謝し満足している。技術移転を受けたMT法はメキシコでは初めての手法であり、ラ・プリマベラ以後、Tres virgencs,Ceboruco,Lagna Salada等他のフィールドの調査に使用して有効な探査手法として活用している。」と述べている。

両氏とも日本の地熱関連技術を高く評価していて、今後新たな技術協力を期待されていた。また、1989年のJICAの最終報告から3年余経過した現在JICAの調査結果をどのように評価するか、との問いに対して、JICA調査の評価については、1989年当時と現在とで変わっていないが、調査範囲についてはもっと拡大或いは変えてみた方が良かったのではないかと、また、掘削位置の選定については現時点で疑問の点も生じていると述べている。これは、PR-13以後に掘削されたPR-11の温度が高く、その結果としてNW-SE系断層沿いに南東側に高温域が伸びている可能性がでてきたための意見と推察される。

4-3 インドネシア

4-3-1 エネルギー事情

インドネシアの経済は1970年代から80年代初頭にかけて、積極的な開発政策と2度にわたる石油輸出価格の高騰を背景に、実質7%台という高い成長を遂げた。このため、1981年には1人当たりのGDPが500ドルを越え、当時の世界銀行の基準で中所得国に分類される段階にまで達した。こうした経済の高度成長に伴ってエネルギー消費も急増し、1970年度に石油換算で5,180万バレルであった商業エネルギー消費量が年平均13.5%で伸び、1981年度には20,630万バレルと、この11年間に4倍にも達した。この間に石油依存度はピーク時には88.8%に達している。

その後、石油市場の低迷から石油輸出に大きく依存するインドネシア経済は、いわゆる逆オイルショックに見舞われ、1982年度の成長は2.2%に急落した。そこで政府は、第4次経済開発5ヶ年計画（レプリタIV、1983～1988年度）において、資源輸出依存型の経済から脱却を図るため、非石油製品の輸出拡大を振興すると共に、一連の経済構造調整策を押し進めた結果、1986年度より経済は好転し、1989年度の経済成長率は7.4%を達成し、1990年度もほぼ同程度を達成している。

一方、エネルギー消費は1983年度の22,360万バレルから年平均5.5%で増加し、1989年度には30,950万バレルにまで増加した。第4次5ヶ年計画で、エネルギー消費の面においても構造調整が進められ、

石油補助金が一部撤廃されたのを初め、脱石油をめざし天然ガスや石炭が積極的に投入されたことから、1989年度には石油依存度が61.6%まで低下している。

なお、インドネシアのエネルギー需給の大きな特徴の一つとして、非商業エネルギーのウエイトが高いことが上げられるが、統計データとして把握しずらく、1988年にサンプル調査によって推計されたものがあるのみであるが、それによると薪、稲藁、麦藁、木くず等の非商業エネルギーの消費量は、一次エネルギーの約45%を占めると推定され、第5次5ヶ年計画中に40%以下に引き下げる計画であり、各種対策を検討している。

インドネシア政府のエネルギー政策の基本方針は、1982年度に打ち出された以下の4項目が現在も継続されており、石油代替化の推進が最大の政策目標になっている。

- ①エネルギー資源の探査・開発の強化
- ②国内エネルギー供給の多様化による石油輸出力の確保
- ③エネルギー利用効率の向上
- ④国内資源の消費形態の最適化

即ち、現行第5次5ヶ年計画においても、エネルギー資源の探査・開発、エネルギー源の多様化による石油依存度低下、エネルギー利用の効率化の3点が重点項目として挙げられており、新規油田の開発、既存油田の2次、3回収収、天然ガスや石炭の開発など、生産面において積極的に海外投資を誘発すると同時に、石油代替エネルギーの国内利用や省エネルギーの促進など、消費面についても様々な施策が実施されている。

4-3-2 電力需要と供給

インドネシアでは1954年電力国有化政策を決定、1961年各地の電力公社を統合するためインドネシア電力公社（PLN）が設立された。PLNは鉱山エネルギー省電力・新エネルギー総局の監督下にあり、電源開発から発送配電に至る電気事業の一貫経営を行っている。

1989年度におけるPLNの発電電力量（発電端）は287億kWhで、同社の国内供給電力量は所内用14億kWhを引き、自家発からの購入8億kWhを加えた281億kWhである。販売電力量はこれから送電ロスを引いた234億kWhであり、各用途別内訳は、家庭用33.8%、商業用8.5%、工業用48.7%、公共照明その他9.0%となっている。なお、販売電力量の8割はジャワ島に集中し、ジャワ島とそれ以外の地域では大きな格差がついている。国内供給電力量は1979年度の66億kWhから年平均15.6%で増加している。

インドネシアの電気事業者はPLN1社のみであるが、自家発電設備を有する企業も多く、その規模は

PLNの総設備容量とほぼ同程度の838万kW(1989年)に達している。PLNの発電設備容量は1979年度の254万kWから1989年度の909万kWへと、この10年間に年平均14.4%と大きな伸びを示している。

1989年度における総設備容量の内訳は、電源別では水力21.7%(197万kW)、石油・ガス火力24.4%(222万kW)、石炭火力19.0%(179万kW)、ガスタービン13.6%(123万kW)、ディーゼル19.8%(180万kW)および地熱1.5%(14万kW)であり、地域別ではジャワ島70.2%(638万kW)、スマトラ島17.5%(159万kW)、カリマンタン島4.3%(30万kW)、スラウェシ島4.8%(43万kW)、その他3.2%(30万kW)となっている。

第7次経済5ヶ年計画(レプリタVII)終了時(2003年度)までの電源開発計によると、今後14年間に石油専焼火力の一部を燃料転換(重油から天然ガスへ)する一方、水力、石炭火力、複合火力、地熱などの発電所を合計23,737千kW建設する計画であり(内訳:水力5,042.5千kW、石炭火力12,960千kW、複合火力5,359千kWおよび地熱375.4千kW)、2003年度には総設備容量を32,255.5千kWまで引き上げる計画である。

4-3-3 地熱開発の現状

インドネシアの地熱地域はスマトラ島、ジャワ島、バリ島、ロンボク島などの一連の列島に主に分布する。これら列島はユーラシアプレートの縁辺部にあり、このプレートに対し南及び南西側のインド洋・オーストラリアプレートが沈み込んでいる所とされている。このプレートの沈降部に火山帯が存在し、約500の火山が分布する。このうち若い第四紀の火山は128ヶとされている。これらの火山周辺に地熱地域が分布し、その数は200以上とされるが、精査された地域から概査のみの地域まで含め地熱地域とされている箇所が105地域ある。

1989年地熱調査会の調査団がブルタミナから入手した資料によれば、インドネシア全体の地熱ポテンシャルは10,650MWのうち5,500MWがジャワ島に分布するとされている。また今回PLNのMr.Vincent Radjaより入手した資料によれば、インドネシア全体で地熱有望地域が217地点、そのポテンシャルは合計16,035MWとされ、島別内訳はジャワ島・バリ島が8,100MW、スマトラ島が4,885MW、スラウェシ島が1,500MW、その他の島が1,550MWとなっている。

インドネシアにおける現在の地熱発電設備容量は合計144.75MWで、カモジャンの30MW 1ユニット、55MW 2ユニット、モノブロックとよばれる自家消費用の背圧式の250kW、ディエンの同じくモノブロック2MW及びラヘンドンの2.5MWのバイナリーサイクル発電設備が運転中である。カモジャンの地熱開発は1975年ニュージーランド政府の24百万US\$援助によってスタートし、1983年1号機が完成、2号機、3号機は1988年2月に完成した。

第6次経済開発5ヶ年計画終了時（1998/99年度）までのPLNの電源開発計画に記載された地熱発電計画は、1993/94運開予定がSalak No1,2 110MW Dieng No1 55MW（いずれもジャワ島）Lahendon No1,2 22.5MW（スラウェシ島）、1994/95運開予定がDrajat No1 55MW（ジャワ島）、1995/96運開予定がKerinci 2.4MW（スマトラ島）、1996/97運開予定が Sarulla No1 55MW、1997/98運開予定が Sarulla No2 55MW（スマトラ島）となっており、これらを合計すると354.9MWとなり、現在の設備と合わせて1998年度までに449.65MWの設備容量となる。

また、これらの開発計画とは別に遠隔地のローカル電源として、モノブロック方式（背圧式坑井口元発電方式）またはバイナリーサイクル発電方式による小規模電源開発を検討している。

インドネシアの地熱発電コストは、現在運転中のカモジャンで38.18mills/kWh (US\$1.0=120円として4.6円/kWh)である。また現在開発中のG.Salakでは63.43mills/kWh(7.61円/kWh)であり、他の電源よりむしろ経済的に優れている。今後の問題は、小規模開発のコストをいかにして下げるかと言うことである。

4-3-4 JICA地熱開発計画調査の概要

a. ルンプール地熱開発計画調査

(1) 開発調査要請の背景

インドネシア共和国はエネルギー源の多様化を図り、石油依存度の軽減および地域新興のため、積極的に地熱開発を推進する方針である。またインドネシアは国民の生活水準を改善するため、経済開発5ヶ年計画に従い、国土開発を実施している。本計画の主な目的は大都市における人口増加を防止し、人口を過密地域から過疎地域へ分散させることにある。この目的のため、政府は過疎地域の社会資本の整備充実を図るとともに、地域産業の振興を図っている。インドネシアのエネルギー政策も経済開発5ヶ年計画に基づいており、その目的は以下の通りである。

- 1) 石油と天然ガスは外貨獲得のための主生産品とする。
- 2) 国内需要のエネルギー源は、水力、石炭、地熱とする。

本調査を開始した当時既に、ジャワ島では外国の協力もあって、本格的な地熱開発が進められていた

が、ジャワ島以外にも多くの地熱有望地域の存在が知られていた。インドネシア政府としてこれらの有望地域のうち、スマトラ島中部 Kerinci地域Lempur地熱地帯の地熱開発の策定を希望し、日本国政府に対し、この地域の開発調査の実施を要請した。

JICAはこの要請を受けて、Lempur地熱地帯の地熱開発計画策定のための資料を得る事を目的として、鉱工業プロジェクトの一環として、地熱開発計画調査を実施することとなった。

(2) 調査の概要

第1次調査では1980年度にランドサット画像解析、空中写真地質解析、地質調査および地化学調査を実施した。第2次調査では1981年度に電気探査、重力探査、1m深調査（地温、Hg、CO₂）を実施し、これまでの調査結果を総合的に解析して調査井（1本）の掘削地点をDuabelas地区に選定した。

第3次調査では、1982年度に調査井（1本）の掘削、岩芯の解析、坑内測定、地熱流体噴出、坑井特性試験を実施し、以上の調査結果を総合的に解析し、評価した。

(3) 調査結果

第3次調査までの各種調査の結果から、Duabelas地区には30MWの地熱ポテンシャルがあることが推定された。したがってDuabelas地区のポテンシャルを確認するための追加調査が必要であるが、Lempur地域の電力事情を考慮して、まず、最初に5MWの小容量地熱発電設備を開発するための技術的、経済的可能性調査を実施することを提言、このために地熱有望地点に調査井（LP-2）を掘削し、各種坑井調査を実施し、その結果を踏まえてF/Sを実施すべきである、と結論づけた。

b. クリンチ地熱開発計画調査

(1) 開発調査要請の背景

国際協力事業団(JICA)が西スマトラのクリンチ、ルンプールで1981年～1983年に実施した地熱開発計画調査の結果「Duabelas地区のポテンシャルは30MW以上と推定され、追加調査を実施し、5MW程度の小型地熱発電所を開発するためのF/Sを実施するのが望ましい」との勧告に従い、インドネシア政府は、日本政府に対し本地域のつぎの段階の調査の実施を要請すると同時に、独自で追加調査、LP-1の

坑井特性のモニタリング及び搬入道路の準備を行った。

インドネシア政府からの追加調査要請に呼応し、JICAは、1986年10月、本調査継続について予備調査を実施し、VSIとPLNとの協力のもとに本調査を実施することに決定した。

(2) 調査の概要

本調査は、1981～1983年にJICAとVSIが実施した「Lempul Geothermal Development Project」の結果に引き続き、Kerinci地熱地帯のDuabelas地熱系を対象とし、補足調査・調査井掘削により、開発可能量を評価し、さらに5MW相当の発電を目的とした企業化調査を行うため、段階的に次の調査を実施した。

資源評価ステージでは、既存資料・レポートの検討・評価を行い、Scope of Workに基づきインセプション・レポートを作成のうえ、LP-1モニタリング・データの評価、電気探査、地質・地化学補足調査を行い、さらにその結果に基づき調査井（LP-2）を掘削した。これらの資料の総合的検討によりDuabelas地熱系のポテンシャルを詳細に評価し、発電目的のフィージビリティ調査ステージを実施するに十分と判断された。

フィージビリティ調査ステージでは、調査実施に先立ち「Basic Idea of Feasibility Study」を作成のうえ、プロジェクト地域の社会・経済調査、電力需給調査、開発計画作成の条件等について現地調査を行い、本プロジェクトの開発計画およびその経済・財務評価を行った。

(3) 調査結果

地熱資源調査によってDuabelas地熱地帯は5MW以上の発電の開発可能性が確認された。しかし、次の地熱発電のF/S調査においてこの5MWの開発可能性に対して、現地の電力需要に見合った2.35MWの開発が当面適切であると判断された。

調査の結果、財務的には実行可能でありPLNの財務的負担を減少せしめるに十分有効であるが、経済性に対し若干不十分であることが判明した。しかし、プロジェクト地域がPLNの送電線より遠隔の僻地に立地していること、電力需要は一般家庭用が主であること、またその電源はPadangから陸送のため高価な燃料を使用するディーゼル発電が主であること等を考慮して、現地の国産エネルギーを有効利用し、農村地域の経済的、社会的発展に寄与する本地熱開発プロジェクトの実施を推進すべきと判断し、350 kWのデモ・プラントの設置と2本の坑井掘削による3～5 MWの開発が可能であると勧告した。

4-3-5 開発調査終了後の状況

カウンターパート(PLN Geothermal Project Coordinator Mr.Vincent)との面談結果によると、Kerinci地熱プロジェクトは、1988年度JICA F/S終了後進展しておらず、KI-2坑井の維持に1～2百万RP/月を要している。

第6次経済開発5ヶ年計画終了時までのPLNの電源開発計画によれば、クリンチ地熱発電所は1995/96運転開始として計上されている。Mr.Vincentによれば、クリンチプロジェクト実現のためには、深度2,000mの蒸気生産井を2本掘削し、3～5 MWの発電所を建設可能と考えているが、このためには坑井掘削の経費として3百万US\$が必要であり、外国に資金援助を要請しようとしている。

4-3-6 開発調査の評価

調査実施時、カウンターパートの主体であった火山調査所(VSI)によれば、当時インドネシアの地熱資源調査の技術は殆ど皆無で、日本の指導でシステムティックな調査に参画し、ノウハウを習得できたことは、非常に良かったと評価している。今回のミーティングに参加した6名中Director Mr.Wimpyを除く5名は全員カウンターパートとして調査に参画し、その後も地熱資源調査に従事しており、開発調査の大きな目的の一つである技術移転については非常に有効であったと評価できる。また供与された機材も、現在、調査に使用されているとの事である。

JICA開発調査の問題点としては調査地域の選定が挙げられる。インドネシアは世界的にみても地熱のポテンシャルの極めて高い国であり、しかも高い経済成長にともなって、伸びる電力需要に対応して必要とする電源開発としての地熱案件を採択したのは妥当であったと思われる。しかし具体的地点選定については、自然条件からみたポテンシャルの大きさ、送電系統への関係の困難性、地域周辺の電力需要の大きさ等、ある程度の規模での経済的な地熱開発を行うには、多くの障害となる条件が存在していたことは、事前調査の段階で把握できたものと思われる。従ってプロジェクトを進めるに当たっても、これらのことを十分考慮し開発調査地域選定をすべきであったと思われる。

開発調査の内容については、カウンターパートであったVSIのスタッフの発言にもある通り、調査内容は十分評価されている。特に技術移転、調査用機材の供与、カウンターパートのトレーニングについては大きく評価されており、十分調査目的を達したものと思われる。

報告書の内容については、調査報告書の結論としてクリンチ地熱地域に対して、350kWの小規模デ

モンストレーションプラントの建設と、引き続き本地域の電力需要に合わせて、2 MW規模の発電開発をレコメンドしたことは、その後PLNの電源開発計画にそのまま採用されたことから見ても、妥当であったものと思われる。

4-4 タイ

4-4-1 エネルギー事情

タイにおけるエネルギー需要の伸びは、1980年代前半は年平均4.5%増であり、89年は対前年度比13.9%増と80年代で最も高い伸びとなった。消費部門別に最終エネルギー需要の内訳を見ると、輸送部門38.0%、商業・家庭部門25.7%、鉱工業部門29.0%、農業6.1%などとなっている。タイの工業化は進展しつつあるが、未だに鉱工業部門のウエートは低い。

タイの1989年の一次エネルギーの総供給は原油換算3,727万トン、最終の需要は同2,678万トンであった(差はエネルギー転換ロス等)。1989年のエネルギーの資源別供給状況は、石油46.5%、薪・木炭22.8%、天然ガス13.9%、褐炭・石炭7.8%、バガス5.1%、水力3.3%、稲わら3.2%などの構成になっている。

タイのエネルギー供給構造はここ10年で大きく変化している。1980年には、薪、木炭、稲わら、バガスといった伝統的エネルギーを除き、いわゆる商業エネルギーの90%以上を輸入に頼っていた。そして、そのほとんどが石油であり、伝統的エネルギーを含めてもエネルギー供給の50%以上を輸入に依存していた。しかし、その後国産エネルギーの開発が大きく進展した。タイランド湾の天然ガスの商業生産は1981年に始まり、生産量は1981年の1億立方フィート/日から1989年の5億8千万立方フィート/日まで急拡大している。天然ガスと並んで注目すべきものは褐炭の生産、利用の急増である。1980年の生産量はわずか150万トンに過ぎなかった褐炭は、この9年間で約6倍の890万トンとなった。これは原油換算では約5万バレル/日に相当する。天然ガス、褐炭の他、石油も北部タイで発見され、1983年から生産が開始されている。1989年は2万バレル/日の生産を行っている。これらの国産エネルギーの開発の結果、薪等の伝統的エネルギーを含めたエネルギー供給全体の輸入依存度は40%強に低下したが、経済成長に伴うエネルギー需要の急増により、輸入依存度はここ数年増加しつつある。

タイのエネルギー政策の基本方針について、1991年10月からスタートした第7次5ヶ年計画のガイドラインでは次の5つの政策を明示している。

- ①エネルギーの安定確保及びエネルギー価格の安定を図るため、石油と褐炭の探査・開発、エネルギー資源開発などについて近隣諸国と政府レベルでの交渉、石油の流通、精製及び輸送システムの効率的な運用、石油精製設備能力の増加及び電力設備増強のための投資促進、農業廃棄物の利用促進などを図る。
- ②エネルギーを効率的・経済的に利用するため、価格政策などの諸手段の活用、石油価格決定メカニズムの改善並びに省エネルギーに係わる諸制度の整備及び 関係省庁の効率的ネットワークシステムの確立を図る。
- ③エネルギー情勢の急激な変化への迅速な対応及びエネルギー分野における民間投資の促進、株式公開等を通じたエネルギー関係国営企業の体質強化及び活性化並びにエネルギー関係省庁の統廃合をはかる。
- ④環境保全の観点から、エネルギーの開発・利用に当たり種々の環境対策を講じるとともに、バンコク大都市圏の混雑と環境問題の軽減のための石油パイプラインの建設を進める。
- ⑤地方の繁栄に資するため、エネルギー資源の開発に当たっては鉱区使用料の配分の増加などを通じて地方の利益に十分配慮する。

また、タイではローカル電源確保の観点から、バイオマス、太陽、風力、地熱等の新エネルギーについても積極的に調査・研究開発を行い導入を図っている。

4-4-2 電力の需要と供給

タイの電力需要を、タイ電力公社（EGAT）の販売電力量から推定すれば、1991年の総需要量は44,773.24百万kWh、うち首都圏配電公社が20,776.78kWh(46.40%)、地方配電公社が22,492.55百万kWh、直接需要家への販売が1,398.12kWh(3.12%)、ラオス・マレーシアへの売電が36.53kWh(0.08%)、その他が69.26kWh(0.16%)となっている。また、前年度(1990)対比伸び率は、全体で13.73%、最大は地方配電公社が16.43%である。

タイ国の第7次5ヶ年計画（1992-1996）によると、この間の最大電力消費量は年平均10.13%伸び、1996年度には、13,075MWに達すると予測している。またEGATの2006年に至る長期にわたる設備容量及び発電電力量の予想によると、今後重要な役割を担う電源は褐炭火力、石炭火力、そして複合サイクル発電である。水力は設備容量、発電電力量ともに若干増えるものの、全体に占める割合は大きく低下するものと思われる。

4-4-3 地熱開発の現状

タイの地熱開発はEGATが中心となり、これにDMR（鉱物資源省）及びチェンマイ大学が協力して、1977年から北部タイの地熱資源について調査を続けてきた。EGATはタイ国の電力（発電）関係をすべて把握する巨大な組織であるが、この中の火力エンジニアリング部のSpecial Energy Divisionが予算面を担当し、現地調査は上記3者が共同で実施してきたが、最近DMRは地熱から撤退した。

地熱資源の賦存状況に関しては、ビルマとの国境に近いタイ国北部のチェンマイ州及びチェンライ州には40ヶ所以上の温泉・地熱徴候地があり、その中の数ヶ所は沸騰泉も存在する。これらの地熱徴候地のうち、EGATによれば5ヶ所が地熱有望地域として上げられているが、いずれも、非火山地帯であり、ヒマラヤ褶曲帯の後背地であるインドシナ地塊に位置し、安定大陸の一角を占めている。このような地域の地熱は大陸殻の断裂による深部地熱と考えられている。良く知られている地域としては①サンカンベン(San Kampaeng)②メーチャン(MaeChan)③パバオ(Pa Pao)④ファン(Fang)などが存在するが、サンカンベン、ファン以外は試錐調査などは実施されていない。

上記の地域のうち、サンカンベンはJICAによる開発調査が実施された。またファン地熱地域はフランスが協力調査を実施し、1998年にオーマツ社製300kWのバイナリーサイクル発電設備を設置した。さらにスケールアップのため、フランスの協力による広範囲の調査を継続している。今後他地域の調査も実施し、ローカルエネルギーとして1~3MW規模の発電所を建設するとともに、農業、観光などの多目的利用も行いたいとしている。

ファン地熱地域の調査はサンカンベン地熱地域と共に、1978年からEGAT,DMR,及びチェンマイ大学の3者共同で開始された。1981年フランスのAFME(French Agency for Energy Management)との共同調査が開始され、その結果、浅部地熱貯留層を利用し300kWのバイナリーサイクル地熱発電設備を設置することとなり、1989年12月タイ国で最初の地熱発電所として、運転開始した。発電用地熱流体は深度100mの坑井から22ℓ/秒(79.2ℓ/h)、温度130℃である。熱水は熱交換器で低沸点媒体（アイソペンゼン）と熱交換され、出口温度が77℃となる。この熱水は試験的に冷蔵庫及び乾燥室に利用された後、低沸点媒体の冷却水（熱水の約4倍）と混合され15~30℃で池に放流している。操業上特に大きな問題は無いが、パイプライン及び坑井内に炭酸カルシウムのスケールが付着するため定期的に掃孔を行っている。現在ファン地域は引き続きフランスとの間で、大スケールの開発のための協力調査を実施中である。

4-4-4 サンカンベン地熱開発計画調査の概要

(1) 開発調査要請の背景

タイ王国は非火山国といわれているが、比較的温泉に恵まれ、国内に60以上の温泉が存在する。特に、タイ北部では70℃以上の高温泉が約20地点から湧出し、中でもサンカンベン、ファン、メチャン、パバエ、メチャムには沸騰泉が認められる。タイでは石油代替エネルギー開発の一貫として、地熱資源の開発に着目し、1977年以降、タイ電力公社(EGAT)、チェンマイ大学および鉱物資源局(DMR)が中心となり調査団を組織して温泉地域の概査を行ってきたが、その結果をとりまとめ、精査地域としてサンカンベンとファンの2地域を選定した。

本開発計画調査は、国際協力事業団(JICA)がタイからの要請に基づき、技術調査の一貫として、EGATの協力の下に上記2精査候補地域のうちサンカンベン地域において同地域の地熱貯留層を総合的に解析し、地熱開発の可能性を事前に評価することを目的として実施されたものである。

(2) 調査の概要

調査は1982～1987年度の6年間に実施されたが、最初の3年間で第一次調査から第三次調査が実施された。第一次調査は1982年度に地質構造解明を目的として地質調査、重力調査、磁気探査およびテスト井を用いての予備的な坑内検層機の検証調査が実施された。第二次調査は1982年度に計画され、上記の調査結果を踏まえ、調査井掘削地点の選定を目的として、弾性波探査およびMT法探査が実施された。第三次調査は1984年度に計画され、地熱貯留層の確認、評価を目的として1,500m級のJICA調査井(GTE-7)の掘削、物理検層およびコア調査が実施された。掘削の結果は地層が硬かったため1,227.3mで掘止めとなり、かつ割れ目に乏しくまた孔底温度も99.8℃程度に過ぎず、この結果から本地域の地熱貯留層を評価することは困難であると判断された。このためEGATの協力の下に、1985年度に第三次調査の補足調査として、断層追跡調査および100m深度の地下温度調査が実施された。EGATの調査井(GTE-8)は1986年度から1987年度に亘って掘削され、1987年12月に深度1,049mで掘止めとなった。掘削中はしばしば割れ目に縫着し、かつ熱水を噴出したため、深度915m～930mのフィードゾーンでプロダクション検層及び流量特性調査を実施し、地熱貯留層解析、評価のための基礎資料を収集した。

サンカンベン地域における地熱開発事前評価は、これら調査の解析結果によりなされ、最終的にファイナルレポートを作成し、1987年度で本計画調査を終了した。

(3) 調査結果

調査結果を総括すると、サンカンベン地域の地熱貯留層から、貯留層の圧力を維持する状態で、約1,000l/hの熱水の生産は可能であり、この熱水を用いてバイナリーサイクル方式による地熱発電を行った場合、5,000kW程度の出力が見込まれる。ただし、バイナリーサイクル方式による発電の経済性は熱水の多目的利用を併用しないかぎり、従来の発電方式に比べコスト高は免れないので、バイナリーサイクル方式による発電が経済的に成り立つ時期が到来するまで、本格的な開発調査を延期すべきであると結論された。なお、経済性とは別の観点から、今回の調査井（GTE-8）から噴出する熱水を活用した200～300kWのデモンストレーションプラントの設置案も想定されると勧告している。

4-4-5 開発調査後の状況

サンカンベン地熱開発プロジェクトは1982年度JICAの開発調査終了後、地熱開発に関しては何等進展していない。進展しなかった最大の理由は、JICAの報告書の結論に、サンカンベン地熱地帯は地熱資源としてのポテンシャルはあるが、3,000～5,000kWの発電所開発または200～300kWのバイナリーサイクル発電方式のデモンストレーションプラントの建設のいずれも経済性は見込めないとの記載があったため、EGATとしてはつぎのステージに進むことが出来なかったためである。

従ってEGATとしてはその後フランスの協力を得て調査したファン地熱地帯のプロジェクトを先行し、1989年にEGAT自身の資金で300kWのバイナリーサイクル発電設備を購入し、設置した。

なお、サンカンベン地熱地帯の調査地域付近は現在政府観光局が管理し、自然公園に指定され、地熱資源を観光の目玉として、5パーツの入園料を取り、観光客に見学させている。観光局の公園に隣接して民営の公園、レストラン、入浴施設もある。また、調査井GTE-No-8は現在でもバルブを開ければ噴気可能である。さらにGTE-No.2及びNo.6は噴泉塔として活用されている。

4-4-6 開発調査の評価

JICAの開発調査実施当時、DMR（鉱物資源局）やEGATには鉱物資源や褐炭探査に従事する探査技術者はいたが、地熱資源探査の経験は皆無であった。唯一チェンマイ大学の理学部地質学科で地熱資源の調査研究が行われているのみであった。従って、JICAの開発調査にカウンターパートとして参画し、日本側技術者の技術指導を受け、地熱資源開発のノウハウを習得したことは非常に大きく評価してい

る。また、探査機器の供与についても高く評価しており、今回現地調査したファン地熱地帯の作業現場にはJICAのネーム入りの検層車が置いてあり、今でも使用されていた。

しかし、本件についても開発調査地域の選定に問題があるようである。タイ北部に非火山性の地熱微候地が存在することは以前から知られていたが、非火山性であるために地熱の熱源も明らかでなく、地熱流体のエンタルピーも低いため、発電に利用するには多くの困難性があることは調査着手前から判明していたことである。従って発電利用を目的とした開発調査地域として、本地域が適当であったかどうか疑問がのこる。

開発調査の内容面では、カウンターパートであるEGATのスタッフは、ファンプロジェクトと比較してJICA調査内容はより体系的であり、十分評価できるとしている。フランスの調査団と違いJICAスタッフは長期間現地に滞在し、井戸もJICAが実際に掘った。またインドネシア同様、技術移転、調査機材供与、カウンターパートのトレーニングについても大きく評価している。

報告書の内容については、「低エンタルピー地熱流体を利用したバイナリーサイクル発電方式は経済的になりたらないので、当分の間、本格的な開発調査は延期すべきである」との結論であるため、EGATとしても本プロジェクトをこれ以上進めようがなく、その後全く進展を見ていない。しかしこのことは調査着手前から判明していたことであり、本プロジェクトの経済性評価は、この地域の特性に合わせた地熱流体の多目的・多段階利用・環境問題に関する優位性等も考慮にいれても良かったのではないと思われる。

4-5 チリ

4-5-1 エネルギー事情

チリにおけるエネルギー消費は1989年で55%を石油・天然ガス依存している。チリは産油国であるが、原油消費の輸入依存度は1987年で64%、1989年で78%、1990年には88%と増加している。これは、石油消費量は毎年増加しているが、生産量は82年の248万 m^3 をピークに毎年低下していることによる。89年の生産量は128万 m^3 となっている。

4-5-2 電力需要と供給

チリにおけるエネルギー消費量のうち、電力は6.8%（1990）を占める。1990年の総発電

設備容量は4,079MWでその内訳は、水力が2,290MW(56.1%)、火力が1,789MW(43.1%)である。発電量は184億KWHで水力91億KWH、火力93億KWHとなっている。チリにおける水力発電の潜在能力は高く、南部を中心に年間18,000MWと見込まれている。主要な発電所は、アントウコ発電所(年間発電能力75MW)、コルバン・マチキュラ発電所(同490MW)等である。

4-5-3 地熱開発の現状

チリはアンデス山脈を通る環太平洋火山帯に属し、地熱貯留の可能性が大きい。チリにおける地熱開発の歴史はラテンアメリカの中でも古く、1925年にエル・タティオにおいて、地熱資源発掘のための調査が行われたことに遡る。1968年、同国の産業開発公社(CORFO)は地熱委員会を発足させて、地熱開発の有望地区として、エル・タティオ及びプチュルデイサの両地区を選定した。エル・タティオ地区については、1968年から1974年まで国連の経済、技術援助を受け探査を続け、開発に成功した。その後、同地域の地熱開発は、CORFOから北部電力(EDERNOR)に委管された。EDERNORは民営化の動きがあり、現在83%がCORFOの所有である。エル・タティオ地域は、当初チュキカマタ鉱山の電力源として地熱開発が期待されていた。数年前まで、開発のための入札コールがあったが、以下の理由により、同地域の地熱開発の必要性が少なくなり、現在のところ開発の動きはない。①CODERCO(銅の開発会社)がトコピージョ火力発電所(13.2万KW)の建設に着手し、また、北部で15KWの発電所建設の計画がある。これらが建設されればチュキカマタ鉱山及び民需もカバーする電力が生産される。②更に、チュキカマタ鉱山の鉱品位がおちており、鉱業の重点が他の鉱山の開発に移っている。

4-5-4 プチュルデイサ地区地熱開発計画調査の概要

(1) 開発調査要請の背景

タラバカ州を始めとする、チリ共和国北部では鉱物資源の開発に積極的であるが、開発が進んでおらず、電力は高価な火力発電に頼ってきていた。特に石油危機後、将来の産業開発促進の為に、安定且つ安価なエネルギー供給源として、有望地区に選定されたプチュルデイサ地区地熱開発に対する期待は非常に大きかった。CORFOは独自で探査を進めてきたが、資金及び技術力の不足から開発が延期されて

いた。このため、チリ国政府は我が国の協力を求め、1978年5月に正式に要請を行なった。

(2) 調査の概要

タラバカ州プチュルデイサ地区では、一部チリ側により基礎調査が行なわれていたが、更に、精密調査を行なって、地熱貯留層の規模を推定し、今後の地熱開発の為に、1978、1979及び1980年の三次にわたり、地質・地化学・物理探査及び試錐掘削により探査を行なった。

第1段階では、1978年に地表調査、地球化学調査、地球物理探査を行ない、調査井No.6の掘削位置、深度の選定を行なった。第2段階では1979年に、CORFO独自で掘削した調査井No.1～5孔の再解析を行なった。第3段階では1980年、1,157mまで調査井No.6孔の掘削、検層を実施しその評価を行なった。

(3) 調査結果

プチュルデイサ地区で3カ年にわたる調査の結果、調査井No.6孔の北部は地熱開発にとって有望であると推定される。CORFO独自で掘削されたタイピコージョ山南・南東部の地域は地熱発電にとって、経済的に開発できる高温の貯留層は期待できない。測線長30kmの電気探査の結果は、今後更に探査の価値のある地域を抽出することが出来た。しかし、調査井No.6孔から、連続的な噴気がなかったこと及び掘削機の能力が不足したため、地熱貯留層に関する十分な情報は入手できなかった。

以上から、次の勧告がなされた。①調査井No.6孔の温度は下部に向かって更に上昇する傾向にあり、且つ孔底で最高温度が記録されたので、調査井No.6孔の北方地域で探査を継続が適当であり、地質、地化学、地球物理探査によって得られたデータは、高温の地熱貯留層の存在を示している。②以上に加え、ナティビダ山の南斜面ですくなくとも東西方向測線長6km、3測線の電気探査を実施すること。③世界の多くの地熱地帯では蒸気生産井の深度は2000mを越えているのでより大きな能力をもつ掘削機を準備することが必要。

4-5-5 開発調査後の状況

実施機関のCORFO地熱委員会は1983年3月に解散し、現在CORFO開発局に委ねられており、推

進体制が弱体化したこと、及び調査井の現状では地熱発電に十分な蒸気が得られていないため、我が国の勧告は実施されていない。

4-6 コスタ・リカ

4-6-1 エネルギー事情

コスタ・リカのエネルギー供給量は1990年で1,891石炭換算千トンであるが、内訳は電力が432石炭換算千トン(22.8%)、輸入が1,459石炭換算千トン(77.2%)であり、77%を輸入に依存している。またエネルギー消費で見ると、1,771石炭換算千トンのうち452石炭換算千トン(26%)が電力、1,319石炭換算千トン(74%)が石油等液体燃料であり、エネルギー輸入のほとんどが石油等液体燃料となっている。石油については国内生産しておらず、100%輸入に依存している。

4-6-2 電力需要と供給

電力はコスタ・リカのエネルギー消費量の26%(1990年)を占める。その総発電設備容量は、933千KWH(1990年)で内訳は、179千KWH(19.2%)が火力、754千KWH(80.8%)が水力であり、生産量は36億KWHで火力が9,500万KWH(2.6%)、水力が35億KWHと97%を占めている(1990年)。

4-6-3 地熱開発の現状

コスタ・リカでは化石燃料を全て輸入しており、この依存度を低くするために地熱エネルギーの開発に焦点がおかれている。

1968年に国連により最初の踏査が行われ、国の北西部は地熱開発に高い可能性があるとの結論が出された。コスタ・リカ国営電力公社(ICE)は1974年に約500km²にわたり地熱調査を行い、ミラバジェスとリンコンデラビエトの地熱地域が確認された。尚、我が国政府の開発調査の対象となった案件はない。

(1) ミラバジェス地熱発電所

1980年9月ICEの要請により、米国ロジャース社により、プレ・フイージビリティ・スタディーが完了し、3本の調査井が掘削された。これらの調査井の結果により、フイージビリティ・スタディーが行われ、35MWの復水型タービンの発電所設置を進める結果が得られた。1984～85年の間に6本の追加調査井が掘削され、ミラバジェスの確認包蔵量が増加し、発電所の計画建設容量は55MWに増大した。さらに、55MW級の2号基のフイージビリティ・スタディーが完了した。1、2号基のフイージビリティ・スタディーにより、当地熱地域9km²、生産区域として認められた。

この計画に対し、日本政府の円借款（E/N；1985年11月）とIDBの協調融資により、現在1号基を建設中で、1994年2月には、1号基55MWのタービン発電機が運転開始予定である。また、2号基については、IDBのローンにより増設が進んでいる。

(2) 全国的踏査

1987年国連とイタリア政府の協力により全国的踏査の開始され、現在まで国土の50%が完了している。

この計画は、コスタリカの地熱資源の確認と、有望地域として選ばれた地域でプレ・フイージビリティ・スタディーを行うことの2段階に分かれている。最初の段階で、踏査は25,000Km²にわたり行われ、下記7ヶ所が有望地域として選ばれた。

- ①リンコンデラビエハ
- ②テノリオ火山
- ③アレナルーボコソル
- ④セロペラド
- ⑤プラタナルーポロアス
- ⑥バルバ火山
- ⑦イラスートリアルバ火山

このうち①のリンコンデラビエハは国立公園の中にあり、これ以上の調査は行われなかったが、②のテノリオ火山において、第2段階の踏査が1988～1989にかけて550Km²の範囲で行われ、フイージビリティ・スタディーの行える6地域が確認された。これら地域の中からテノリオ火山の南のサンファン川ーティエラスモノナス地域が選ばれ、4本の調査井が掘削予定である。

5. 結論と提言

現在の日本において、地熱開発は調査着手から地熱発電所の竣工まで、およそ15～20年を要すると言われている。これは、専ら地下の地熱貯留層の評価に長い期間を要することに起因し、水力や火力など他の電力開発と著しく異なる点である。日本において現在実施中の地熱開発促進調査（表1参照）では、まず100～300km²程度の面積を対象とする調査（調査A）に原則として3年と費用10～15億円、50～70km²に面積を絞りこんだ調査（調査B）に同じく原則として3年と費用10～15億円、さらに5～10km²に絞りこんだ調査（調査C）に原則として4年と費用30～40億円をかけている。調査Aは高温部の抽出、及び調査B或いは調査Cの実施対象候補の抽出を目的とし、調査Bは地熱貯留層存在有無の確認、地熱系概念モデルの作成、調査Cの実施対象候補地域の抽出、調査Cは推定地熱資源量の評価により地熱開発事業の探査リスクの軽減及び地熱開発促進、地熱貯留層賦存の可能性の高い数km²の精査地域の抽出を目的とした調査である。調査Cは発電所建設のための地熱開発のフィージビリティ調査で、民間地熱開発事業者が担える程度まで探査リスクを軽減することが期待されている。地熱開発を目指す途上国の探査技術水準、過去の調査実績は様々であり、今回調査を行なった4カ国でもかなりの開きが見られた。日本の地熱開発の手順で途上国の地熱開発を考える場合、各国が地熱案件の要請を上げてきた時点が上記調査のどの部分に該当するかが重要となり、それが当該開発調査のデザイン、調査結果に大きく影響することになる。JICA 開発調査で地熱案件は過去9件（そのほか本格調査途中で中断した調査が2件）行なわれてきたが、9件中8件が "Feasibility Study" ないし "Pre-feasibility Study" と銘打たれている。今回現地調査を行なった4カ国5件の調査は、"F/S" が2件、"Pre-F/S" が3件であるが、実際は全調査とも、上記の開発ステージで言う「フィージビリティ調査」より前の段階の調査であった。これは当該本格調査自体に問題があるというよりも、上記「調査C」に該当する「(プレ) フィージビリティ調査」がS/Wで要求されていないと言うべきであり、むしろ地熱貯留層探査のための資源調査という性格の強い調査であった。従って、発電プラント建設をこれらの地熱開発調査のゴールとして、調査の成否を判断することは妥当ではないと考えられる。

今回対象となった JICA 地熱開発調査の相手国に対する貢献を要約すると、

- ・ JICA 開発調査に伴う技術移転を通じ、自国の地熱開発技術の進歩発展に貢献した。また、供与機材は調査終了後も有効に活用されている。
- ・ 地熱貯留層の構造がより詳細に把握された。
- ・ 調査後に独自の調査井掘削を行ない、開発ステージの進展を見た。

表1 日本における地熱発電所建設計画

5万kW地熱発電所建設工程表（地熱開発促進調査フェーズIIの場合）

調査項目	年次	調査内容
地熱調査	-10	I 既存資料収集
地熱調査	-9	II 貯留構造存在可能性調査
地熱調査	-8	III 高温異常賦存可能性調査
地熱調査	-7	IV 総合調査
地熱調査	-6	I 地熱資源賦存可能性調査
地熱調査	-5	1 地上調査
地熱調査	-4	2 坑井調査（小口径）
地熱調査	-3	III 環境影響調査（温泉調査）
地熱調査	-2	I 総合解析
地熱調査	-1	I 地熱資源評価調査
地熱調査	0	1 精密地上調査
地熱調査	1	2 坑井調査（小、大口径）
地熱調査	2	3 資源量評価
地熱調査	3	III 環境影響調査
地熱調査	4	III 総合解析・評価
地熱調査	5	I 調査準備
地熱調査	6	II 坑井調査（大口径）
地熱調査	7	III 実証調査、環境影響調査
地熱調査	8	IV 総合解析
企業調査	-10	I 調査準備
企業調査	-9	II 坑井調査（大口径）
企業調査	-8	III 実証調査、環境影響調査
企業調査	-7	IV 総合解析
共同開発	-10	I 生産井・還元井掘削
共同開発	-9	II 環境影響調査
共同開発	-8	III 発電所建設準備
共同開発	-7	IV 発電所建設

出典：新エネルギー財団 平成4年度地熱開発利用マネジメント研修会資料

等のコメントが、現地ヒアリングの際に相手側担当者から出され、JICA 調査は概ね良好な評価を受けている。従って、JICA 地熱開発調査を資源開発調査と位置付けるならば、これまでのJICA 調査は十分評価されるものと考えられる。

本格調査報告書の結論を詳細に見ると、トルコのディギリ・ベルガマ地熱開発はフィージビリティなしと結論されており、インドネシアのルンプール及びその第二次調査であるクリンチ地熱開発と、タイのサンカンベン地熱開発に関しては、フィージビリティは「有り」とされてはいるものの、その条件等を考慮すると必ずしもフィージブルとは言い難い結果となっている。これらの調査に関して地熱開発の次のステージに進むか否かは、判断の難しい問題である。メキシコのラ・プリマベラ地熱開発は、JICA 調査実施中に発生した環境問題が、調査終了後の開発一時中止という州政府決定の主要因となったが、地熱開発担当機関のその後の環境回復努力が評価され、1993年度中の開発再開の目途が立っている。その場合、JICA 調査の勧告とは違う形ではあるが、ともかく小規模発電プラントの建設が行なわれる予定である。

各地熱開発調査の調査期間（ディギリ・ベルガマ3年、ルンプール+クリンチ計7年、サンカンベン6年、ラ・プリマベラ5年）は、他の開発調査に比べて長期間であるが、上記のように地熱開発（探査）の実績がある日本でさえ、政府によるフィージビリティ調査が終わるまで原則として10年を要することを考えると、かなりの短期間で結論を導いたことになる。その意味では、フィージビリティの有無を導いた探査が期間の点で十分でなかった可能性があり、特に調査期間が3年と短期であった、ディギリ・ベルガマ地熱開発に関しては、本現地調査メンバーの専門家からもその点が指摘されている（ただし、その後のトルコの独自調査による、調査井の掘削で、JICA調査の結論を支持する結果がでている）。

以上の本調査結果から、今後の地熱案件開発調査の進め方に対する提言を行なう。

まず、案件採択に関しては、より詳細な事前調査を行ない、S/W 合意に際して、相手側のニーズと既存の調査結果から推して最適の調査ステージを提示する必要がある。たとえ相手側がプラント建設のためのF/Sを望んでいても、過去の調査資料等から判断してそのステージにないと事前調査団が判断する場合には、ステージにあった探査を提案すべきである。資料の検討に時間を要する場合は、事前調査団派遣に先だって予備調査団を派遣し、関連情報収集と相手側ニーズの聴取を行ない、日本に持ち帰って十分検討した上で事前調査団を派遣し、JICA側の調査提案を行なって相手側と協議の上S/W合意につなげる、といった方法も考えられる。

昭和58年にJICAが派遣した「中南米（ヴェネズエラ・メキシコ）地熱開発計画予備調査団」の報告書には、地熱開発計画の案件選定基準が示されている。即ち、

- a) エネルギー需給計画における「地熱開発」の位置付けが明らかであること。即ち地熱開発の手順について、政府の方針が固まっていることが望ましい。政府方針とは、国家開発計画、エネルギー計画、各省会議等を指す。
- b) 地熱開発のための組織、人材が整っていること。これは、組織図、人材育成計画等の入手が望ましいが、代りに彼等の作成したレポート、地形図、地質図等から推定することも可能である。
- c) 必要機材の整っていることが望ましい。特にボーリングについては自前で掘削できることが必要である。これは技術協力による調査井掘削など、引き続き必要な調査井が自前で掘削不可能となれば、技術協力の成果はあがり難いとの考えにもとづく。
- d) 地熱ポテンシャルがある事。地質学的にポテンシャルの高いことはいうまでもないが、その他、治安問題、良好なアクセス、労働力の確保、ボーリング用水の確保等、一般的条件の良好な事が望ましい。（予備調査報告書 1.3.1 「案件選定基準」原文通り）

このような選定基準を明確にして案件選択を行なうことも、本格調査を充実させるために必要である。

以上の既存「案件選定基準」と今回の現地調査結果を踏まえ、今後の地熱開発計画調査の案件選定に当たっては次の点に留意する必要がある。

1. 当該国政府が地熱開発を行う堅い意志を持っていること。
 - (1) 地熱開発が当該国にとって必要性が高く、当該国のエネルギー需給計画における地熱開発の位置付けが明らかであること。
 - (2) 発電所建設における費用調達の見込みがあること。
 - (3) 赤字経営でも発電所を運営・維持する姿勢があり、財政支援が見込めること。
2. 当該案件の所在地の社会的、人為的条件が地熱開発可能であること。
 - (1) 政治情勢が安定し、開発を進めるに当たり、現地の治安が確保されること。
 - (2) 地元住民は地熱開発に対して賛成であること。
 - (3) 将来開発に移行した時点で労働力が確保されること。
 - (4) 地熱開発に必要な機材搬入のためのアクセスが確保できること。
 - (5) 経済的な地熱開発に見合った電力需要が調査地域周辺に見込めるか、または送電系統に連携可能であること。
3. 当該案件の所在地の自然的条件が地熱開発可能であること。

- (1) 経済的に地熱開発可能な地熱ポテンシャルが事前に推定されること。
- (2) 開発に当たって掘削用水、発電用水等が確保出来ること。
- (3) 調査対象地域周辺の自然環境保全上、地熱開発が問題とならないこと。

ただし、案件選定のための留意点は、調査の目的によって変わることには注意する必要がある。特に、発電プラント建設を目的とするものであれば、案件選定の条件はより厳しくする必要があるだろう。例えば、上記の留意点に加え、地熱開発を担当する期間、組織、人材が整備されていること、及び将来自前で坑井掘削（調査井、蒸気生産井）が可能であること、等も念頭に置かなければならない。

尚、本格調査に関しては、当該国の調査ステージに併せ、調査期間内に探査可能な範囲を明確にし、フィージビリティ算出の必要のある場合はとくに慎重に行なう必要がある。また、調査井からの噴気等の周辺環境に対する影響についても十分な配慮が必要である。探査技術の相手国への移転はこれまでも高い評価を受けており、今後とも開発調査の重要な一面であることに留意すべきである。さらに、当該国の探査のステージが現在のどの段階であるかを相手国担当者に十分に理解させ、JICA 調査終了後の開発スケジュールを可能なかぎり詳細に設定し相手国担当者に提示することも、次段階の開発に繋げるためには不可欠であると考ええる。

地熱発電は、現状では水力・火力発電に比べ、探査からプラント建設まで時間と費用がかかり、かつ開発に伴うリスクが高いため、途上国では水力・火力発電に比べて開発プロジェクトとしてのプライオリティが低くなる傾向にある。また発電量に対する単位当たりコストも、原油価格の低位安定傾向が続いていることを反映して、現状では水力はもとより火力発電に比べても割高となっている。しかし地熱は、貴重な再生可能エネルギーであり、また今後さらに強い規制が求められる CO₂ 排出量も非常に少なく、いわゆる「クリーンエネルギー」としての価値も高い。中長期的視野に立てば、途上国において地熱開発を今後も継続させることは、この意味において大きな意義があると考えられる。他の発電と比較した場合の経済性の低位に鑑みると、短期的には発電と併せて地熱資源の多目的利用を考慮すべき場合もあろう。また、ローカルエネルギーとしての価値を認識し、比較的小規模な発電プラントの建設を目的とした調査を行なうことも検討に値する。小規模発電プラントを、先ず一つ具体化することは我が国の地熱開発プロジェクトの実績を広く知らしめるためにも有効であろうと考える。

これまでの JICA 地熱開発調査がプラント建設に結びついたケースは、種々の理由によって現在のところ皆無ではあるが、日本の進んだ地熱探査技術が相手国に移転され、供与機材とともに調査終了後も当該国の地熱開発に貢献しているケースは多い。上記改善点を踏まえたうえで、地熱開発調査は今後とも継続されるべきものであると考える。

JICA