

技術移転手法事例研究

地	中 南 米	分	エ ネ ル ギ ー
域	グアテマラ	3400	野 新再生エネルギー 501040

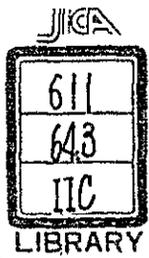
地熱発電に関する専門家活動報告
(グアテマラ)

個別派遣専門家活動報告シリーズ - 5 -

昭和59年3月

国際協力事業団
国際協力総合研修所

総 研
J R
84 - 6



技術移転手法事例研究

地	中	南	米	分	エネ ルギ ー	
域	グ	ア	テ	マ	野	新
	マ		マ		野	野
	ラ		ラ		新	野
			3		生	5
			4		エ	0
					ネ	1
					ル	0
					ギ	4
					ー	

地熱発電に関する専門家活動報告

(グアテマラ)

個別派遣専門家活動報告シリーズ - 5 -

専門家氏名： 伊東 潤二

担当分野： 地熱発電

派遣期間： 昭和55年1月28日～昭和58年1月27日

派遣国： グアテマラ

派遣機関： 国家電化庁

（注）

本シリーズは、国際協力総合研修所の調査研究活動の一環として実施している技術移転手法事例研究のうち個別派遣専門家の現地活動について、要請の背景、業務の範囲と内容、業務の達成と具体的成果及び技術移転手法の実際例をとりまとめたものである。

なお、作成に当たっては、専門家本人による執筆原稿を統一的な記入要領に基づき多少加筆修正した。

JICA LIBRARY



1052037[7]

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 8. 29	611
登録No. 10641	643
	11C

目 次

1, 要請の内容と協力の背景	2
2, 要請業務と実施業務の範囲・内容についての 対比における業務実施概要	4
3, 業務項目別目標設定と達成及び具体的成果	6
① 地 質	6
② 岩石密度	6
③ 岩石孔隙率	6
④ 地熱変質	6
⑤ 河川水分析	6
⑥ 温 泉 水	6
⑦ 地 下 水 位	6
⑧ 地 下 温 度	6
⑨ 噴出熱水成分	6
⑩ 蒸 気 成 分	7
4, 業務と技術移転の実際例	8
5, 提 言	10

序 文

(1) 略 歴

- 1946年 京都大学工学部資源工学科（当時鉱山学科）卒。
- 1946年～53年同資源工学教室文部教官として地下資源物理探査の研究に従事。
- 1953年～78年三菱金属株式会社に入社国内海外の地下資源開発に従事。特に1967年～69年ブラジル国バイヤ州カライバ鉱山に駐在物理探査，1973年～78年同社地熱開発事務所長として秋田県北八幡平地域の地熱開発に従事。
- 1979年 国際協力事業団特別嘱託
- 1980年 国際協力事業団グアテマラ派遣専門家として同国電化庁（ Instituto Nacional De Electrificación - INDE ）に勤務。同国地熱開発計画に協力。1983年帰国。

主たる専門職種

技術士（応用理学部門、物理地下探査）

地下資源特に金属鉱床及び地熱等の物理地下探査、及びこれら地下資源の開発、計測、評価、管理

(2) 準備した学習

派遣前にスペイン語を集中的に学習

1. 要請の内容と協力の背景

1971年、グアテマラ政府は国家開発5ヶ年計画を作成した。5ヶ年計画のなかに国家電化庁（INDE）は国家電源開発計画を担当し、この計画に地熱開発計画が含まれていた。グアテマラ政府は、かねてより地熱開発の技術者をJICA、九州大学、日本地熱調査会共催の日本地熱研修コースに参加させ研修せしめていた。これらの技術者は帰国後地熱開発の推進者となって、地熱開発計画を日本政府に技術協力案件として要請を行った。

1973年、日本政府はJICAを通じて協力する事を決め、JICAは第1次調査団を派遣、1ヶ月の概査の結果、同国スニール地熱地帯はグアテマラで地熱発電の可能性を持つ重要な地熱地帯で、地質学、地化学、地球物理学的地下探査による精査を行う価値があることを報告した。当時大手開発（物理探査部長であった小生はその精査計画の作成に協力した。

1974年、JICAは精査の電気比抵抗法、及び人工地震探査法による物理地下探査の準備のため、第2次調査団を派遣し、測線設定測量を行うと共に人工地震探査法のための発破孔の掘削をINDEに依頼した。INDEは基礎的調査と発破孔の掘削を開始したが、その後グアテマラに大地震があり遅れた。

1976年、JICAは第3次調査団を派遣、2ヶ月に亘り地質精査、電気比抵抗法及び屈折法、反射法による人工地震探査法、地化学探査等を実施し、開発有望地点を指示、基盤花崗閃緑岩の深度を推定、開発の第1歩として有望地点に小口径探査試錐孔を掘削し、試料採取温度測定等を行って開発基礎資料を得て諸データを解析すること、及び周辺の広域調査を行うことを勧告した。INDEはこれを受けて地質精査、航空写真調査、火山地質、地化学、地球物理学的探査（電気探査、磁気探査、重力探査）等による調査を行い、12孔の小口径調査試錐孔を掘削、内4孔より熱水交り蒸気の噴出を見、その資料を分析した結果熱水は中性で弱塩水で、それより熱水型地熱貯溜層の存在が確実により、地熱発電の可能性が更に高まった。そこでINDEは最終口径8 3/4 吋の生産井規模の本格的生産調査井3孔の掘削を計画し、日本に3名の技術指導専門家（試錐、計測、解析評価各1名）の派遣を要請した。JICAは3名の専門家を選定、1978年8月に派遣する準備をしたが、グアテマラ側の事情により一時延期された。INDEはこれまで得られたデータを基に予備実用化調査報告書を作成し、1979年2月INDE

地熱部長ベタンクール氏他1名の技術者を日本に派遣、JICAに調査結果を報告すると共に、1979年8月より始まる上記生産調査井掘削に合せて上記3名の専門家派遣を要請した。JICAはこれを受けて1979年8月井上公刀専門家(計測)、9月に窪田康宏専門家(試錐)、1980年1月に小生(解析評価)を夫々派遣した。

またINDEは、生産調査井掘削の資金を金融機関より借入のため、彼等の予備実用化調査報告についてJICAによる採択を求めたがこれはJICAのいれる所とはならなかった。

2. 要請業務と実施業務の範囲・内容についての

対比における業務実施概要

1979年8月掘削開始と計画された生産調査井の掘削は、実施が延びて結局1980年1月より開始された。これはグアテマラ政府の事情及び掘削を請負う隣国エルサルバドルの請負業者との請負契約の遅延等によるもので、グアテマラの様な経済規模の小さな国で、ラテンアメリカ気質では普通の遅延で、むしろ早く始まったと解してよい。この遅れは、先発した井上、窪田両専門家にはスペイン語会話の習得と作業の諸準備をするに都合の良い時間を与えた。スペイン語圏初めての人には、やはり日常会話に慣れるには数ヶ月は必要である。しかし上記両専門家は、日本での所属先の会社が1ケ年の派遣しか認めず、したがってこの遅れは業務半ばで帰国せざるを得ぬ結果となった。小生は日本における所属先がなく、グアテマラの要請で任期が延長され目的を遂げることが出来た。開発途上国への技術協力では、途上国のカウンターパート達が如何に誠意を持って目的達成に努力しても、開発途上国的な理由で事業が予定通り進展しないことが殆んどであるので、それに協力するわれわれの側にもある程度それを見込んで予定を立てることが望ましい。

小生は生産調査井の掘削が始まった時に着任し、掘削の進行にもタッチ出来て何かと好都合であった。スペイン語も1967年より3年間ブラジル奥地に駐在してポルトガル語に慣れたため、よく似たスペイン語にはすぐ慣れることが出来た。さらにラテンアメリカ気質にある程度慣れて居るために、相手の時間的なずれに腹を立てる事なく対応出来た。

3孔の生産調査井の進展に伴い、地熱貯溜層解析の資料を揃えるべく試錐による岩芯の密度、孔隙率の測定、岩芯の地質的検討、河川及び数多くの温泉の成分分析及びその時間的推移の検討、地下温度の測定、等熱に関する情報の集積、噴気した調査井についてはその蒸気量、熱水量、蒸気凝結水及非凝結ガス、分離熱水の分析及びその時間的推移等多くの資料の集積を依頼した。これらはかなりスローなテンポではあったが着実に実行された。

ただこの生産調査井№1号井の掘削が終り、掘削による温度低下の回復をまち、1980年4月噴気テストを行なった。噴気は成功したが、蒸気量が期待していた量よりかなり少く6 T/H程度であった。全員協議して300m掘り足し、5月末再度噴気テストを行なったが、蒸気量は約7 T/Hと大差なかった。ここでIND E首脳部は、これまでの調査で一番良い場所に百万米\$の巨費を

投じて掘削した№1号井の結果のみより前途を悲観して、生産調査井のこれ以上の掘削を止め地熱開発計画断念との論まで飛び出した。小生等派遣専門家は、日本での地熱井掘削の成功の確率は60%程度で№1号井の失敗にこりず事業を続行すべしと主張した。I N D E首脳は土木技術者により構成されて居り、地熱の様な地下資源開発の経験なく、かなり迷い、悲観論が支配的となった。地下資源開発はリスクを伴い、物理探査の様な近代手法を導入し此の様なリスクの確率を低くする様に努力しているが、やはり掘って見なければ分らぬ因子が多い。地下資源開発の経験を積むと或る程度継続か、中止かの判断がなし得る。我々はこれまでのデータより事業の継続を主張し、遂に№2号井の掘削へ進むことが出来た。幸いこの№2号井が成功し所期の蒸気量の噴出を見ることが出来た。これ以後は、I N D E首脳も成功の確信をいただき始めそれ以後の事業は順調に進展した。かえり見ると№1号井の失敗の時がグアテマラ地熱開発事業の最大の危機であった。これを地下資源開発の経験哲学で乗り切った。№2、3号井が成功し、噴気を続け蒸気及熱水の分析を続けた処蒸気は、非凝結ガス分少く非常に良質で、分離熱水は弱アルカリ性で全体としての成分は日本の九州大泉と秋田県大沼の両地熱発電所の噴出蒸気及熱水の中間にあり、地熱発電の可能性は更に確かとなった。

1980年末、気をよくしたI N D E首脳は生産調査井を更に3孔掘削することを決め、日本側に小生の任期延長を求めた。

1981年、№2、3号井の噴気を続して計測分析を続け、№4、5、6号井の掘削を行い、何れも成功し、№5号井は熱水を伴わぬ過熱乾燥蒸気を噴出、№1、2、3、6号井は熱水を伴い、№4号井はその中間（熱水噴出割目と乾燥蒸気噴出割目併存）であることが判明した。

1981年末、グアテマラ側は更に小生の任期延長を求めた。

1981年、成功した生産調査井の噴気を続け、各蒸気量、質、熱水成分についての詳細の資料及び1ヶ年の噴出による時間的推移変化より蒸気噴出量の自然減衰についてある程度の資料を得ることが出来る様になり、小生の地熱貯溜層評価のためにかなりの資料を蓄積することが出来た。

1982年末、グアテマラ側は更に地熱発電所建設のため、基礎的資料を作成すべく地熱タービン材料の地熱蒸気熱水による腐蝕試験等に進むため、更に小生の任期延長を求めたが、日本側の認める処とならなかった。

3. 業務項目別目標設定と達成及び具体的成果

① 地質

地表よりの地質精査、12孔の全岩芯採取小口径試錐、部分的岩芯採取生産調査井等の岩芯調査により詳細の地質断面を作成し得た。これにより地熱貯溜層の内容は非常に明瞭となった。

② 岩石密度

小口径及生産調査井の岩芯より測定され非常に明らかとなった。

③ 岩石孔隙率

上と同じ

④ 地熱変質

日本に送られた資料について地熱変質が研究され、又岩石年代も測定され地熱貯溜層の構成につき多くの資料を提供した。

⑤ 河川水分析

地域を貫流するサマラ川の8ヶ地点で採水分析を続け、川水は雨量により成分が季節的变化をするが、地熱開発による影響はほとんど受けないことが明らかになった。

⑥ 温泉水

地熱地帯にある数十の温泉の計測分析を続け、自然間欠泉が止まった以外地熱開発の影響は殆んどなく、温泉と地熱開発による深部熱水とは異なる組織で、別の貯溜層であることが明らかとなった。

⑦ 地下水位

可能な限りの観測井について地下水位の観測をつづけた。地熱開発地帯は生産調査井の噴気を続けたのでかなり影響を受け、年間で10m位の低下が観測され、噴出熱水の地下還元の必要性が痛感された。

⑧ 地下温度

掘削された諸調査井につき詳細の温度測定が長時間かけて測定され、その時間的推移も明らかとなった。これより掘削の影響を除いた真の地下温度が算出された。貯溜層について百米毎の地下温度を平均すれば、250℃に及び優秀な地熱貯溜層と考えられる。

⑨ 噴出熱水成分

約2年間の毎週の分析値を更に各井全部につき平均すれば、PH 8.54 ナトリウム872ppm、カリウム152ppm、カルシウム16ppm、シリカ409ppm、塩素

1441 ppm を含む弱アルカリ性弱塩水で日本の地熱発電所と大差ない。

⑩ 蒸気成分

蒸気分離セパレーターが不完全であったが、以下のような検査値を得た。
ナトリウム 0.86 ppm、カリウム 0.21 ppm、カルシウム 0.14 ppm、シリカ
5.99 ppm、PH4.68、非凝結ガス 0.215 Vol%、ガス中 H₂S 2.03%、CO₂
90.77%、O₂ 1.06%、H₂ 0.79%、その他 5.45%

以上の他蓄積された資料は数多くに上るがこれらを総合して総合解析を行った。

グアテマラの技術者は個々の計測分析データを取ることに習熟したが、それらのデータを整理し解析に便利な様にプロット編集することに慣れて居らず、データはいたずらに各技術者の個人ファイルに埋もれてしまう事が多い。更に技能に優れた人々は他よりの引き抜きが多く、終身雇用の日本より見ればデータの処理につき技術者の定着性を考慮する必要がある。そしてささいな技術を自分の飯の種として秘密にする事が多く、我々日本の技術者が多くのグアテマラの技術者に技術の移転に気をくばる事が驚きとなっている。

4. 業務と技術移転の実際例

特に重点を置いた地熱貯溜層評価の実際につき以下に述べる。

集積された多くのデータを解析シグアテマラ、スニール地熱貯溜層の場合その開発可能な範囲は南北2,500m、東西2,000m、深さ1,400mでその平均温度が250℃と考えられる。

詳細な地質断面図より比の貯溜層を構成する岩石の容積、重量を計算すると下表のようになる。

岩石名	容 積	比 重	重 量
花崗閃線岩	$3375 \times 10^9 \text{ m}^3$	2.66 T/m^3	$= 8.9775 \times 10^9 \text{ T}$
同風化部	0.25	$\times 2.41$	$= 0.6025$
火砕岩礫岩	1.403	$\times 2.14$	$= 3.0018$
スニール火山石溶岩	2.022	$\times 2.20$	$= 4.4490$
これらに含まれる地熱熱水容積重量			重 量
花崗閃線岩内	$0.0664 \times 10^9 \text{ m}^3$		$0.05319 \times 10^9 \text{ T}$
同風化部内	0.0288		0.02304
火砕岩礫岩内	0.2219		0.17758
スニール古火山石溶岩内	0.2667		0.21339
計	$0.5840 \times 10^9 \text{ m}^3$		$0.4672 \times 10^9 \text{ T}$

これら地熱貯溜層内の250℃のもつ熱量は、現在の技術では150℃まで利用可能と考えられる。

埋蔵熱量(利用可能熱量)

種 別	埋 蔵 熱 量
花崗閃線岩内	$161595 \times 10^{11} \text{ Kcal}$
同風化部内	0.126525
火砕岩礫岩内	0.63059
スニール火山石溶岩内	0.934308
含有地熱熱水内	0.467211
計	3774587

茲で、

Q : 地熱貯溜層の発電能力

α : 地熱貯溜層より熱量抽出可能性 (一般に 50 % 程度と考えられる)

β : 地熱発電プラントの熱量を電気に変換効率 (今 13.24 % とする)

r : 地熱流体より熱量を蒸気により抽出し得る効率 (比の場合 53.448 % 程度と考えられる。

860 Kcal : 電力 1 ㎓ の熱量換算

n : 地熱貯溜層の寿命 (日本では一般に百年とする。これは略永久という意味。)

A : 地熱貯溜層の周辺に此の様な大きさの貯溜層がどの位あるか周辺系数
しかるとき

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\text{埋蔵熱量} \times \alpha \times \beta \times r}{860 \text{ Kcal} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times n \text{ 年}} \times A \\ &= \frac{3.774587 \times 10^{14} \text{ Kcal} \times 0.5 \times 0.13 \times 0.5}{860 \text{ Kcal} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times 100 \text{ 年}} \times A \\ &= \frac{0.9436468 \times 10^{14} \times 0.13}{7.5336 \times 10^3} \times A = 0.125284 \times 10^9 \times 0.13 \times A = 16284 \times A \text{ Kw} \end{aligned}$$

ここに貯溜層を南北 2,500 m、東西 2,000 m、深さ 1,400 m だけに限定すれば $A = 1$ すなわち最低 16,284 Kw の発電が略永久に可能との評価がなされる。

以上の如く基礎資料の測定法より始まりデータの集積、整理編集、解析、評価に至るまで、スニール地熱貯溜層に例を取って具体的に計算し、日本における地熱貯溜層解析、評価の技術移転を実施した。

5. 提 言

地熱開発は、電力事業が国営である開発途上国に対する協力として、その成果が対象国民の共有資産となるため、非常に価値ある事業と思われる。グアテマラの例でもわかる様に基礎資料の集積より、10年余の年月を要している。国際協力として息の永い事業として見て戴きたい。国際協力で途上国の人達が問題とするのは同一事業で途中で協力専門家が変り、対象への考え方、表現が変わると途上国の人達は困惑することである。したがって同一事業については日本より同一人物を派遣して同一の考え方で進める事が望ましい。そして途上国の技術者は技術者不足及び終身雇傭でないことを良く考慮して実施すべきである。小生の場合、カウンターパートは日本で研修を受け、後日報告のため来日したIND E地熱部長ベタンクール氏で、彼が地熱開発の中心として初めよりずっと一貫してリーダーであったため事業は極めて安定して前進した。然し各部門の技術者は約半数が入れ替った。技術者不足の此の国では何らかの形で海外で研修し、国内で適当な地位につき、或る程度実績を挙げた人達には民間に高給のポストがまちうけている。更に技術者は終身雇傭でなく2～3年の契約である。此のために技術者は、自分の職場の長になれる見込が少なければ契約が終ればさっさと給料の良い職場に転職してしまふ。我々はこれを念頭に置いて技術移転を行わねばならない。

更に我々が技術を移転しようとするカウンターパート達は、それぞれ創立200年を誇るこの国のサンカルロス国立大学出身で、それぞれ日本、メキシコ、イタリア等の地熱研修コースで研修し、海外のセミナー等にも出席している人達である。極めてプライド高くエリート意識が強い。そして書物で読み、外国へ行って良い部分のみを見て来た所謂頭でっかちで耳学問、目学問の人達である。これに対し我々が勝るものは、理論と実際のギャップを知り、理論を実現するための経験と目前の多少の失敗にもびくともしない地下資源開発の経験哲学である。そしてこれらは基礎資料を集積、整理、編集して行くことより生じてくる。

相手のエリート達の心の扉を開かさねば折角の技術移転も上すべりに終わってしまう。相手の心の扉を開かせる唯一の方法は、相手の言葉を話して全人格のおつき合いをする他はない。私はこのため着任時よりスペイン語になれる事に熱中し、英語は一切使わず、私のスペイン語発音が以前に習い覚えたポルトガル語(ブラジル語)がかって居ることを直して貰いながら約半年で普

通の会話に支障なく出来る様になった。技術的な言葉は、その都度教えて貰った。そしてセニョールイトウより略してセニョーリート（訳せば若旦那様）との愛称を戴いた。地熱開発は、首都グアテマラ市より200Km西のスニール地熱地帯で行われるため、グアテマラ市に住むカウンターパート及び我々は、月曜日グアテマラ市のINDE事務所で結果整理報告打合せを行い、火曜より金曜まで開発現地で合宿で作業を行ったため、全人格的なおつき合いが出来、非常に感銘深い3年間であった。成功したといつては飲み、失敗したといつては飲み、裸の人間は日本グアテマラも同じであることを痛感した。これは全く向うの言葉に熱中しての全人格的のおつき合いの賜と感謝している。派遣国の言葉でない英語を用いた場合英語に対する両者の理解の相違から、靴を隔てて疼きをかき感とする。

以上を要約すれば、

- ① 日本側は出来る限り一貫した計画で出来る限り同一人による協力が望ましい。
- ② 受入側も同一計画により同一人によることが望ましいがこれはかなり困難である。
- ③ 相手国の人達のプライドを充分考慮することが望ましい。
- ④ 相手国の言葉を使うことが望ましい。

JICA