

ペルー共和国
エネルギー鉱山省

ペルー国
地熱発電開発マスタープラン調査
ファイナルレポート

要 約

平成 24 年 2 月
(2012 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

西日本技術開発株式会社

産公
JR
12-012

略 語 表

Abbreviation	Description
ACRVM	Regional Conservation Area Vilacota Maure (Área de Conservacion Regional Vilacota Maure)
ANA	National Water Authority (Autoridad Nacional de Agua)
ADINELSA	Enterprise for the Administration of Electric Infrastructure (Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica S.A.)
ANP	Protected Natural Areas (Áreas Naturales Protegidas)
a. s. l.	above sea level
COES	Committee for the Economic Operation of the System (Comité de Operación Económica del Sistema)
CENERGIA	Energy and Environment Protection Center (Centro de Conservacion de Energía y del Ambiente)
CTE	Electricity Tariffs Commission (Comisión de Tarifas Eléctricas)
DEFENSORIA	Customers Protection (OSINERGMIN branch)
DGAA	General Directorate of Environmental Affairs (Dirección General de Asuntos Ambientales)
DGAEE	General Directorate of Energetic Environmental Affairs (Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos)
DGE	Directorate General of Electricity (Dirección General de Electricidad)
DREM	Regional Directorates of Energy and Mines (Direcciones Regionales de Energía y Minas)
EIA	Environmental Impact Assessment
FONAFE	National Fund for the Financing of State Entrepreneurial Activities (Fondo Nacional de Financiamiento de la Actividad Empresarial)
GART	Division of Tariff regulation annexed to OSINERGMIN (Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria)
GOP	Government of Peru
INACC	Concessions and Cadastral Institute (Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero)
INDECOPI	National Institute for the Defense of Competition and Intellectual Property (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual)
INGEMMET	Institute of Geology, Mining and Metallurgy (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico)

INRENA	National Institute of Natural Resources (Instituto Nacional de Recursos Naturales)
IPEN	Peruvian Nuclear Institute (Instituto Peruano de Energía Nuclear)
JBIC	Japan Bank for International Cooperation (Banco del Japón para Cooperación Internacional)
JETRO	Japan External Trade Organization
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional del Japón)
MEF	Ministry of Economy and Finance (Ministerio de Economía y Finanzas)
MEM (MINEM)	Ministry of Energy and Mines (Ministerio de Energía y Minas)
MINAG	Minister of Agriculture (Ministerio de Agricultura)
MINAM	Ministry of Environment (Ministerio del Ambiente)
MT	Magneto telluric
OGGS	Social Impact Management Office (Oficina General de Gestion Social)
OSINERGMIN	Organization of Supervising for Investments in Energy and Mines (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)
PPC	Citizen Participation Plan (Plan Participacion Ciudadana)
RER	Renewable Energy Resources (Recursos Energéticos Renovables)
SEIN	Electric National Interconnected System (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional)
SERNANP	National Service of Natural Protected Areas (Servicio Natural de Áreas Naturales Protegidas)
SINANPE	National System of Protected Natural Areas State (Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado)
SNIP	National System of Public Investment (Sistema Nacional de Inversión Pública)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TOR	Terms of Reference
UTM	Universal Transverse Mercator, geographical coordinate system

目 次

結論と提言

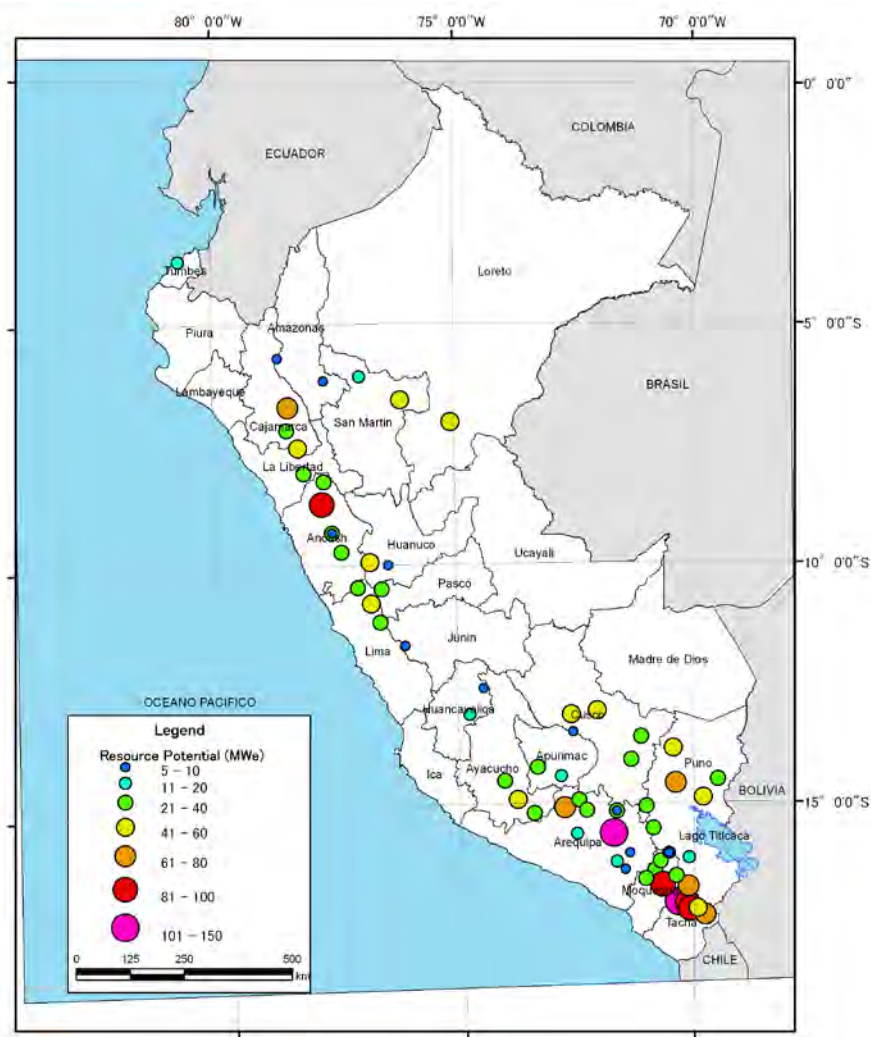
I	序論	6
I -1	調査の背景	6
I -2	調査の目的と内容	6
II	地熱発電開発の現状と課題	7
II -1	エネルギー・電力セクターの状況	7
II -1.1	エネルギーセクターの状況および政策	7
II -1.2	電力セクターの関連法・関係機関	7
II -1.3	電力需給	8
II -1.4	電力供給体制	9
II -1.5	電力料金	10
II -1.6	電力政策	10
II -2	再生可能エネルギーの利用促進状況	12
II -2.1	背 景	12
II -2.2	再生可能エネルギー発電事業推進法の制定	13
II -3	地熱資源開発の法的枠組み	16
II -3.1	地熱資源法および細則	16
II -3.2	所轄機関	16
II -3.3	地熱権の区分	16
II -3.4	地熱権の申請手続き	18
II -3.5	環境社会配慮に係わる法規制	19
II -4	地熱発電開発の現状	22
II -4.1	これまでの地熱資源評価	22
II -4.2	地熱権の申請手続きの現状	23
II -4.3	地熱発電のための組織・体制の現状	25
II -5	地熱の多目的利用の現状	27
II -5.1	世界の地熱の直接利用	27
II -5.2	ペルーでの地熱の多目的利用	28
II -6	地熱発電開発推進のための課題	28
III	マスタープラン	29
III -1	提言およびアクションプラン	29
III -1.1	地熱発電開発量の目標に関する提言	29
III -1.2	地熱発電開発の法規制・体制に関する提言	46
III -1.3	地熱発電開発への援助・支援に関する提言	49
III -1.4	地熱発電開発での環境社会配慮に関する提言	57
III -1.5	地熱の多目的利用に関する提言	58

III -1.6	地熱開発のためのアクションプラン	63
III -2	地熱発電開発データベース	66
III -2.1	データベース構築の目的と利用法	66
III -2.2	データベースの構造	66
III -2.3	データベースへの入力データ	67
III -2.4	データベースの管理・更新	67
III -3	地熱発電開発計画	68
III -3.1	地熱地点の開発優先順位の評価基準	68
III -3.2	地熱地点の開発優先順位付け	69
III -3.3	地熱発電開発ロードマップ	73

結論と提言

1. ペルーの地熱資源

ペルーには豊富な地熱資源が存在し、本調査によりペルー全土の地熱資源量は 61 地点合計で 2,860 MWe と推計された。特に地熱資源が豊富であるのは南部地域である。



2. 地熱発電開発推進のための課題

- 地熱を含む再生可能エネルギーによる発電量の目標は、現時点では総需要の5%とされているが、各電源の割合や具体的な開発計画は策定されていない。
- 地熱発電特有の資源リスクや比較的高い初期投資が必要なことから、現状のままでは民間企業による開発が進まないことも考えられるため、制度の改良や政府による発電事業等のオプションについても考慮されるべきである。
- 地熱発電の開発推進に関するインセンティブは、現時点では、入札を通じた発電電力の固定価格による買取制度だけであるが、その買取価格（入札でのベース価格）の検討は未だなされておらず、民間企業による開発を促すために十分かどうかは明らかでない。

- 政府関係機関には地熱発電・利用に関する専門的知識を有する人材が少なく、また開発推進に向けた関係組織の情報交換や協力態勢は十分であるとは言い難い。

3. 提言

➤ 地熱発電開発量の目標

- ⇒ 地熱資源はペルー国保有の貴重なエネルギー資源として、可能な限り多くの発電・熱利用のための開発が望まれる。その開発には、資源探査から始めて比較的長期間を必要とするが、中・長期的なエネルギーミックスを目指して、2030 年までに設備容量 1,000MW の開発を目標とすることが望まれる

➤ 地熱発電開発の法規制・体制

- ⇒ 現状での法規制に大きな問題はないが、まずは政策としての地熱開発推進の方針を明らかにし、民間企業だけでの開発が進まない場合には、必要に応じて地熱資源法・再生可能エネルギー発電事業推進法の見直しを行うことが望まれる。見直しの中では、地熱開発の探査段階や発電事業化段階で、政府関係機関や国営企業が直接に参画できるようにして、資源リスクや投資の負担を軽減することが考えられる。

- ⇒ DGE・INGEMMET 等の政府機関における地熱開発推進のための組織確立・キャパシティービルディングを進めるとともに、地熱開発に直接参画することが望まれる Electroperú 等の国営企業における地熱関連部門の設立を含めた体制造りが望まれる。

➤ 地熱発電開発への援助・支援

- ⇒ 民間誘導による FIT 制度での地熱開発推進では、可能な限り高めの固定買取価格を設定することが望ましいが、消費者が負担する電気料金への影響が大きくなり過ぎることが予想される。それを避けるためには、その他の援助・支援を講ずることが望まれる。

- ⇒ 地熱発電事業への支援として、民間企業のみでの開発では、Tax Holiday 等の優遇税制や、金融支援として開発金融公社（COFIDE）などを通じたソフトローンの対外借り入れ（ツーステップローン）等のスキームを確立することが望まれる。

- ⇒ 民間だけでは地熱開発が進まないことも考慮し、国営企業も参画する PPP により ODA 資金によるソフトローン適用のスキームについても早期に検討することが推奨される。

- ⇒ 財政支援としては、政府による試掘探査の実施も望まれる。これにより、民間事業者にとっては、資源リスク、開発コスト、リードタイムが軽減される。

➤ 地熱の多目的利用

⇒ 地熱の多目的利用に関して、発電利用との併用も考慮したうえで、資源開発・事業を行うための法整備が望まれる。併せて、多目的利用事業への補助金・優遇税制等の援助・支援に係る政策検討が望まれる。多目的利用の実行可能性の検証のため、政府主導によるパイロットプロジェクトの実施が推奨される。

4. アクションプラン

地熱開発推進に向けた各分野（法規制、体制・組織、援助・支援、多目的利用）に係るアクションプランを下図のようにまとめた。

[illegible]

5. 地熱発電開発データベース

本調査で構築した地熱発電開発データベースは、地熱資源データベースをもとに電力需給データ、送電系統に関する情報および社会環境的な情報などを追加したものである。このデータベースを利用することによって、地熱発電開発に関する必要なデータの閲覧・更新を容易に行うことが出来るため、今後のペルーにおける地熱発電開発の促進に活用されることが期待される。ペルー側の関連組織が連携して管理・更新を行って有効活用することが望まれる。

6. 地熱発電開発計画

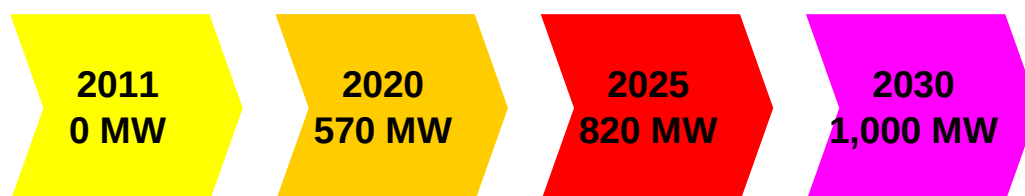
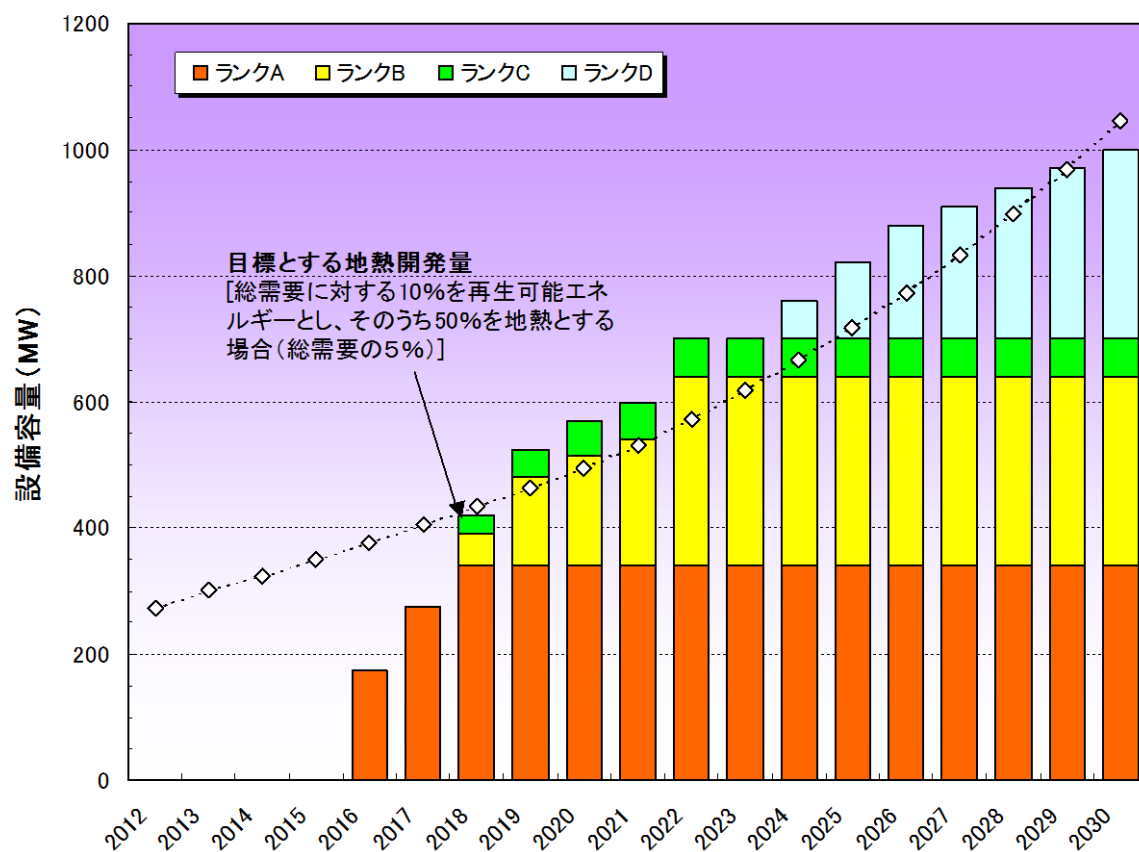
ペルーの地熱地点の開発優先順位に関する評価結果は下表のようにまとめられる。優先順位が比較的高いランク A とランク B の地点での開発により 640MW 前後の地熱発電が期待される。

開発優先順位のランク	優先順位の位置付け	該当地点	想定される開発規模 (MW)	開発規模合計 (MW)
ランクA	最優先での開発が期待される。(政府支援が無くても開発される可能性が高い)	Tutupaca	105	340
		Crucero	70	
		Calacoa-Putina	100	
		Pinaya	35	
		Puquio	30	
ランクB	ランクAに準ずる地点。(資源探査権の付与待ち)	Chivay-Pinchollo	150	300
		Ancocollo	90	
		Collo/Titire	35	
		Ulucan	25	
ランクC	比較的早い時期での開発が期待されるが、開発には資源の有望性を確認する必要がある。	Cailloma	5	(60)
		Huancarhuas	(30)	
		Paila del Diablo	(15)	
		Pararca	(10)	
ランクD-1	開発には資源の有望性を確認する必要がある。 (現存のデータから資源有望性が比較的高そうな地点)	17地点 (Chancos, Jesus Maria地点を含む)	—	不明
ランクD-2	開発には資源の有望性を確認する必要がある。 (現存のデータから資源有望性は比較的低そうな地点)	24地点	—	不明
その他	自然・社会環境の影響に関する評価が必要な地点。問題なければ開発を検討すべき。	7地点 (Borateras, Calientes, Chungara-Kallapuma地点を含む)	—	225以上

※評価対象は合計61地点

提言に挙げた地熱開発量の目標に合わせて、2030 年までに 1,000MW を開発するシナリオとし、開発優先順位のランクに応じて開発を推進する計画を策定した。開発の年度展開（ロードマップ）を次頁に示す。

ロードマップでの開発目標のマイルストーンとしては、2020 年：570MW、2025 年：820MW、2030 年：1,000MW となる。この目標の実現に向けては、民間企業による探査・開発を適切に指導・管理するとともに、民間での開発が進まない場合には、政府による直接事業参画や援助・支援を適宜実行していくことが望まれる。なお、本ロードマップについては、探査・開発の進行に合わせ、必要に応じて改定・更新していくことが望まれる。



探査権付与開始 総電力需要の5%供給

ランクA地点開発: 340 MW

ランクB地点開発: 300 MW

ランクC地点開発: 60 MW

ランクD地点開発: 合計300 MW

I 序論

I -1 調査の背景

ペルー共和国（以下、ペルーと記す）には概算で 3,000MW 以上の発電可能利用な地熱資源が賦存していると報告されている。しかしながら、発電所建設に至るまでの調査開発や維持管理のための技術ノウハウが不足していることもあり、これまで同国では地熱資源は開発されておらず、地熱資源は未利用の状態となっている。

こうした状況を反映し、ペルー政府は 2008 年、再生可能エネルギー利用による発電推進法を制定し、今後 5 年間で総電力の 5 % を再生可能エネルギー（太陽光、風力、バイオマス、地熱、20MW 以下の水力）により賄う方針を打ち出した。この法律に基づき、今後は再生可能エネルギー国家計画が 2 年毎に作成される予定であるが、地熱については、Boratera 地点および Calientes 地点における Pre-F/S レベルの調査を除いては、全国の資源量が詳細に調査されておらず、資源開発や発電所運転・管理の技術・経験も蓄積されていないため、具体的な開発計画が準備されていない。このため、ペルー政府は、今後地熱開発・発電を推進するため、政府関係機関で構成する地熱発電推進委員会の設置を法律で定める一方、地熱発電開発マスタープラン作成についての協力を日本政府に要請した。

I -2 調査の目的と内容

本調査プロジェクトの目的は、ペルーの地熱開発有望地点の地熱資源量、電力需要等に基づく全国地熱発電開発計画（マスタープラン）を作成し、同国の地熱発電開発を促進することである。

同国の地熱資源、地熱開発を取り巻く社会環境、電力需要、電源開発計画、送電線網整備、さらに関連政策・法律等を考慮し、国の電力開発計画のなかでの地熱発電の位置づけや開発順位を明らかにし、地熱開発を促進するための政策提言を含む地熱発電開発マスタープランを作成する。同時に、同国技術者が自力で計画を実行し、必要に応じて見直しができるように、地熱発電開発計画策定に関するデータベースを作成し、調査期間を通じて本調査のカウンターパートであるエネルギー鉱山省（以下 MEM）電力総局（以下 DGE）および地質鉱業冶金研究所（以下 INGEMMET）へ技術移転を行う。

ファイナルレポートの内容は以下のように構成される。

- 本報告書 I 章： 地熱発電開発の現状と課題
- 本報告書 II 章： マスタープラン
 - 提言およびアクションプラン
 - 地熱開発データベース
 - 地熱発電開発計画
- 別冊： 調査結果資料
 - 有望地点に関する調査結果（資源・環境等）
 - 有望地点での発電開発計画
 - 各種検討結果資料

II 地熱発電開発の現状と課題

II -1 エネルギー・電力セクターの状況

II -1.1 エネルギーセクターの状況および政策

ペルー国内のエネルギー供給は、石油および派生品が 53%、バイオマス（主に薪）が 37%を占めていた 70 年代の状況から大きく異なり、現在では天然ガスが 33%を占め、石油および派生品は 35%、バイオマスが 15%にまで減少している。また水力エネルギーは、2004 年にはピークの 17%を占めたが、Camisea ガス田の開発の本格化により 2008 年には 14%に減少した。天然ガスの開発により、石油への依存とバイオマス（薪燃料）の利用を減少させる効果をもたらしたが、一方で国内で 58,000 MW のポテンシャルと言われる豊富な水力資源が十分に活用されない状況となっている。

国のエネルギー政策としては、積極的に民間資本を導入し、競争的な環境の下でエネルギーの自給を達成することに主眼が置かれ、エネルギー部門に国内経済の持続的な成長を牽引する役割が期待されている。特に国内資源の開発によるエネルギー源の多様化（石油依存から天然ガス・LNG および再生可能エネルギーの生産および消費の拡大）、再生可能エネルギー（20 MW 以下の水力、地熱、風力、太陽光、バイオマス等）の開発促進、地方（農村）電化の促進、エネルギーの効率的な利用の促進、環境への影響を最小限とする持続可能な開発、温暖化ガス排出の削減、地域エネルギー市場の統合などが長期的な目標としてとして挙げられている。2010 年 11 月に大統領令により承認された「国家エネルギー政策 2010-2040」では、以下の 9 つの政策目標が示されている。

1. 再生可能エネルギーとエネルギー効率的利用を重視した、多様性のあるエネルギーマトリックスの実現
2. 競争力のあるエネルギー供給の実現
3. エネルギー供給へのユニバーサルアクセス
4. 生産チェーンの効率化、エネルギー利用の効率化
5. エネルギーの自給自足の達成
6. 環境への影響を最小化し、持続的開発の枠組みにおいて CO₂ 排出量を抑制するエネルギーセクターの構築
7. 天然ガス産業の開発、その家庭・運輸・商業・産業活動での利用、効率的発電利用の促進
8. エネルギーセクターの制度的枠組みの強化
9. 長期的視点から、地域エネルギー市場の統合

II -1.2 電力セクターの関連法・関係機関

II -1.2.1 関係法

現在の電力事業の制度的な枠組みは、1992 年に制定された電気事業法（Ley de Concesiones Eléctricas, No. 25844）およびその細則に基づいている。

その後も電力セクターの改革路線は続き、2006 年には、電力事業法を補完しその後の電力市場の展開に適合させる形で、発電事業効率的開発保証法（Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica、No. 28832）が制定されている。

II -1.2.2 組 織

電力セクター全体の関係図を図 II-1.2.1 に示す。同図に示されるとおり、参加主体は「プロモーター」「レギュレーター」「エージェント」の3つの役割に区分され、それぞれが相互に関連しながら機能している。



図 II-1.2.1 ペルー電力セクター参加主体の相互関係（MEM, 2010）

II -1.3 電力需給

II -1.3.1 発電関連

2010 年末におけるペルーの発電設備容量は 7,309 MW（自家発電設備容量 1,303 MW を除く）であり、これらの発電設備は 45 社が所有・運転している。

また、発電種別では表 II-1.3.1 に示すとおり、水力発電が 3,345 MW（45.8%）、火力発電が 3,964 MW（54.2%）となっている。火力発電のうち、約 63%の 2,479 MW が天然ガス発電である。なお、2010 年より風力発電が加わったが、まだその発電容量は 0.7 MW（0.01%）に過ぎない。

表 II-1.3.1 発電種別一覧

発電種別	設備容量 (MW)	%	発電可能 容量(MW)	%
水力発電	3,345	45.8%	3,237	47.1%
火力発電	3,964	54.2%	3,637	52.9%
天然ガス	2,479	33.9%	2,306	33.5%
ガスコンバインド	544	7.4%	509	7.4%
ディーゼル	500	6.8%	407	5.9%
石炭	426	5.8%	404	5.9%
その他	15	0.2%	11	0.2%
風力発電	0.7	0.01%	0.7	0.01%
Total	7,309	100.0%	6,875	100.0%

（出典：MEM_2010 データ）

II -1.3.2 送変電関連

2010 年末時点におけるペルーの送電系統は、220 kV、138 kV および 66/30 kV から成っている。現在、ペルー国は南北 2,200 km が 220 kV で連系されている。2010 年末の系統図を図 II-1.3.1 に示す。

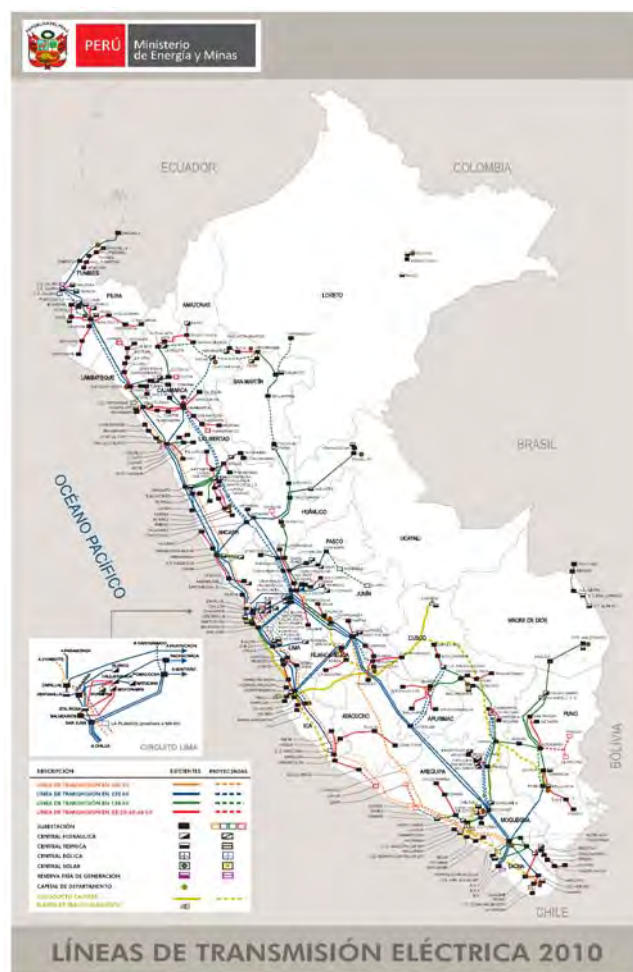


図 II-1.3.1 ペルー全国送電線系統図 (MEM、2010)

II -1.4 電力供給体制

II -1.4.1 発電部門

卸電力市場は自由化されており、多くの発電会社が参加している。発電会社は、卸電力市場を通じて配電会社または大口需要家（2,500 kW 以上）に電力を供給する。給電機能を担うのは、送電系統ごとに設置され、同一系統内の発電会社と送配電会社によって構成される COES-SINAC（電力系統経済運用委員会）である。給電指令は 1 時間毎に計画されるメリットオーダー方式の下、供給コストが最小となることを基本に行われる。

II -1.4.2 送配電部門

卸電力部門と小売部門に自由化を導入する前提として、送配電線への第 3 者アクセスが保証される。送配電線の利用者は、OSINERGMIN が承認する送電料金と配電料金を負担する。

II -1.4.3 小売部門

2,500 kW 以上の大口需要家のための自由市場と 200 kW 以下の需要家のための規制市場の 2 種類があり、その間の需要家はどちらかの市場を選択できる。大口需要家は、配電業者あるいは発電業者と自由に契約を結ぶことができる。一方、規制市場の場合、配電会社は供給エリア内の規制需要家に対する供給義務が課せられる。

II -1.5 電力料金

電気料金は、発電、送電、配電ごとに OSINERGMIN により設定される規制料金がある。その場合、最終需要家向けの料金は、ノード（母線）料金（発電料金と送電料金から成る）に配電料金を加算して算出される。料金の仕組みは、容量料金（/kW）と電力量料金（/kWh）からなる二部料金制で、電力量料金はピーク時とオフピーク時に分けられる。

図 II-1.5.1 には、1995 年から 2010 年の自由・規制市場における電力平均価格の推移を示す。

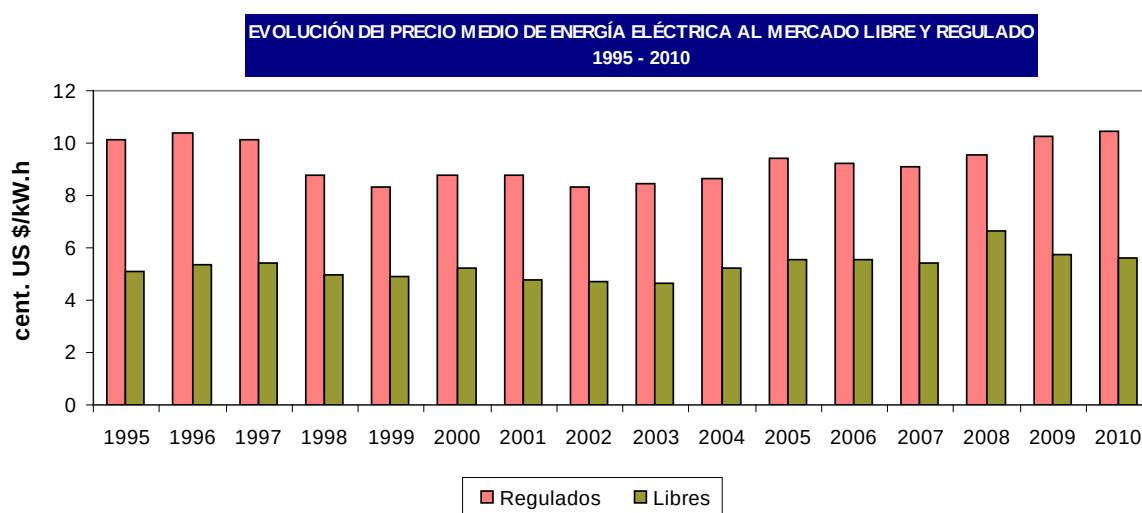


図 II-1.5.1 市場別電力平均価格の推移（1995～2010 年）

II -1.6 電力政策

ペルーでは、世界経済の減速にも係らず、鉱業・製造業の活発な成長により、電力需要が過去 5 年で年平均 8 % の伸びを見せている。図 II-1.6.1 には、2009 年から 2019 年までの予想される需要の伸びを示している（楽観的シナリオ：9.0%、中間的シナリオ：8.1%、保守的シナリオ：7.0%）。電力事業への投資額はマクロ経済の堅調により過去 5 年で年平均 23% 増加しているものの、この需要増をカバーし安定的な電力供給を可能とするために、新しい事業の迅速な実施が必要とされている状況である。

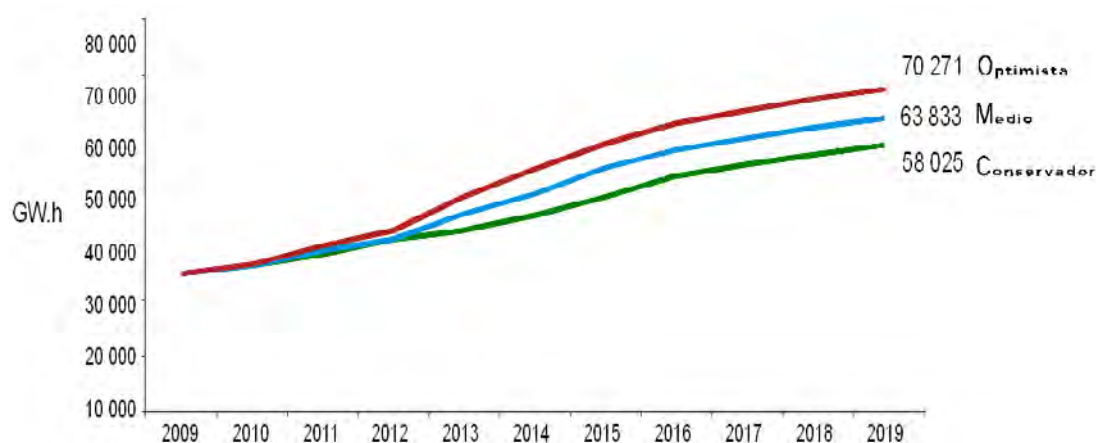


図 II-1.6.1 2009 年から 2019 年の需要予測（楽観的・中間的・保守的シナリオ：MEM，2010）

このため MEM は以下の項目を柱とした政策を行っている。

- エネルギーマトリックスの多様化
- 電力事業への投資促進のためのインセンティブ導入
- 電力セクターの法規制整備
- 発電向けの再生可能エネルギー開発と利用の促進、特に水力の利用を推進。
- 発電向けの天然ガスの効率的利用
- 送電システムの安全と拡張
- 自由競争に適さない電力料金の規制
- 農村地域、遠隔地域、国境付近地域の電化率拡大
- エネルギー効率的利用、安全に対するユーザーの文化の醸成
- エネルギー安全保障
- 地域エネルギー統合のための発電・送電事業への投資の促進（豊富な水力資源による地域へのエネルギー輸出の可能性）
- 環境保全に配慮した電源開発の促進

MEM の電力セクター2010 によれば、2019 年までの発電設備容量増加分は 8,634 MW で、そのうちの 49%が水力、49%が天然ガス火力、そして再生可能エネルギー（風力と太陽光）による発電設備容量は 2 %を予測している（図 II-1.6.2）。

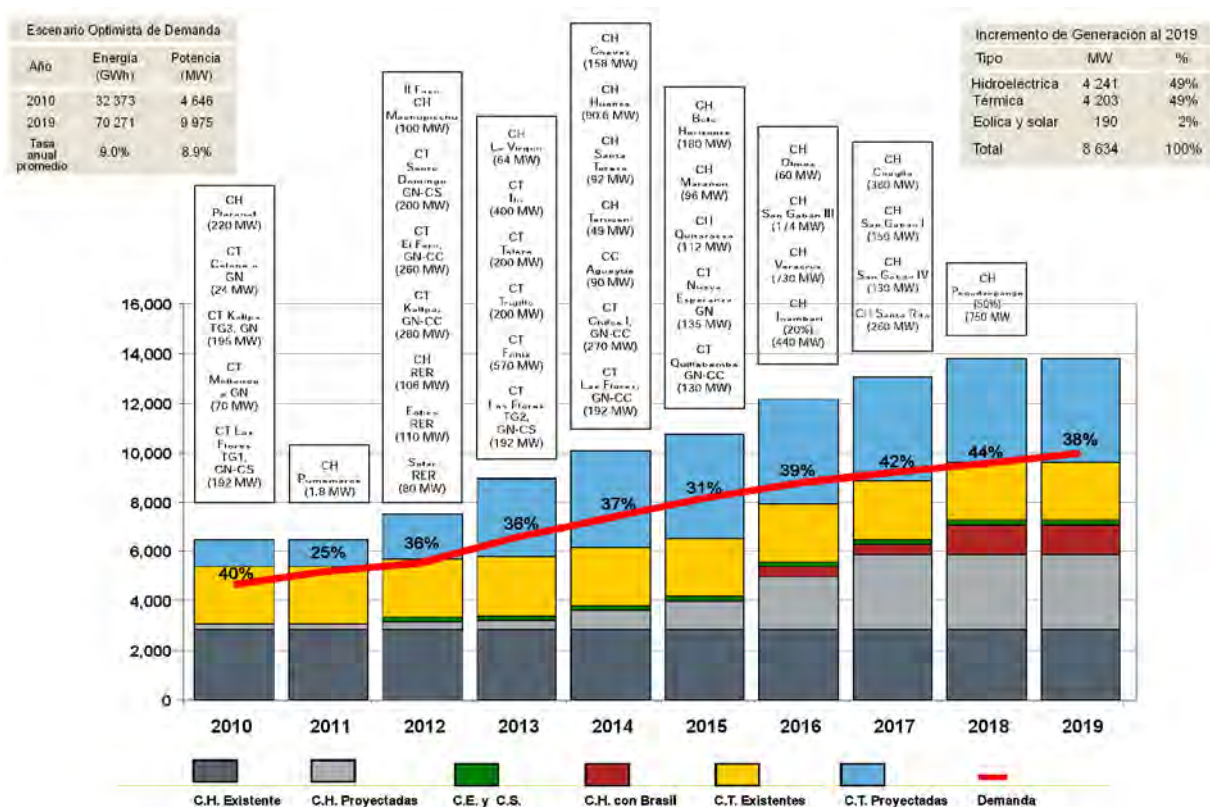


図 II-1.6.2 2010 - 2019 年の SEIN 供給需要のバランス予測 (MEM, 2010)

II -2 再生可能エネルギーの利用促進状況

II -2.1 背景

ペルーの電力政策においては、再生可能エネルギーの利用促進は大きな重点が置かれ、具体的な施策が成果を上げつつある。これには環境という観点に加え、電力需要が中期的に高い増加を続けていく状況で、再生可能エネルギーの利用が不可欠となっている状況が背景にある。また図 II-2.1.1 に示されるとおり、ペルーの電源構成は、水力発電への過度の依存と天然ガス利用の増大が特徴となっていることから、再生可能エネルギーを導入することでエネルギーミックスを進めることが国のエネルギー安全保障上重要になってきている事情もある。

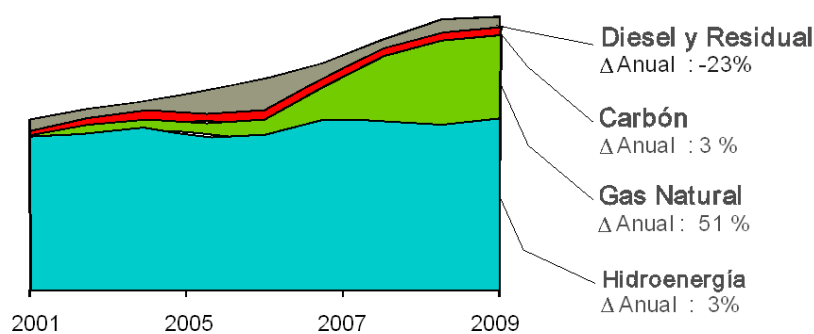


図 II-2.1.1 電源別発電量の推移 (2001-2009 年 : MEM, 2010)

ペルー政府は、将来的にはエネルギー供給（電力以外を含む）の約 3 分の 1 を再生可能エネルギーで賄うというビジョンを有している（図 II-2.1.2）。2010 年 6 月、ペルー政府は、国連第 15 回気候変動枠組条約締約国会議の合意（コペンハーゲン合意）事項に基づいて、2020 年までに国のエネルギーマトリックスの少なくとも 33% を「非在来型エネルギー・水力・バイオマス」で賄うことを同国の自主的な目標とすることを表明している。

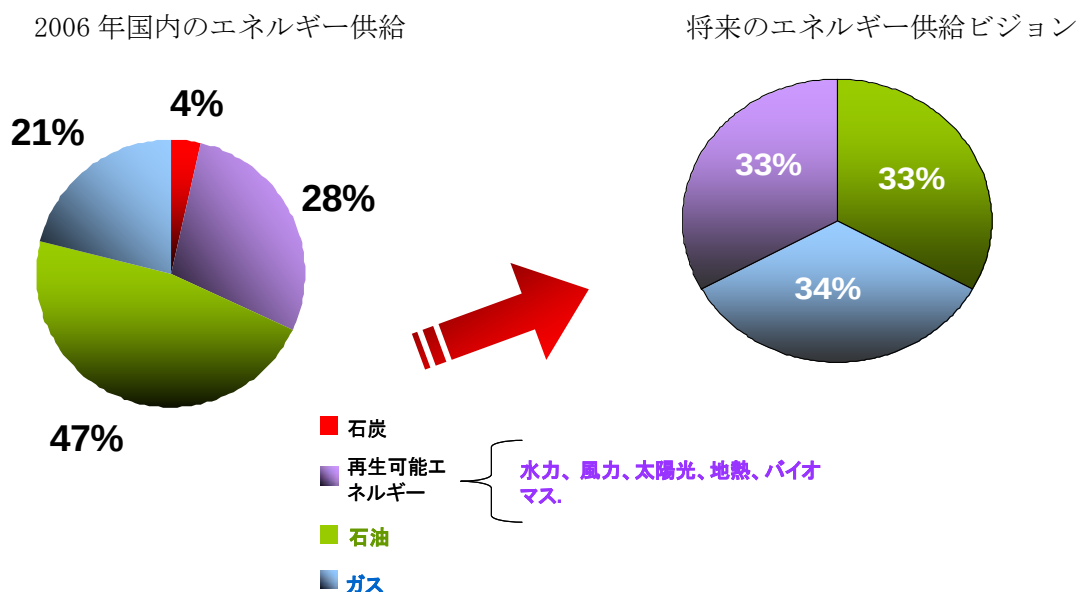


図 II-2.1.2 将来のエネルギー供給ビジョン

（出典：MEM プレゼン資料 “Marco Normativo para Promover la Generacion de Electricidad con Energia Renovables en el Pais” 2008 年 10 月）

II -2.2 再生可能エネルギー発電事業推進法の制定

ペルー政府は、今後 5 年で電力エネルギー消費量の 5 % を再生可能エネルギーで賄う目標を国として掲げている。このため、再生可能エネルギー資源（RER: Recursos Energéticos Renovables として、バイオマス、風力、太陽エネルギー、地熱、海洋、20MW 以下の水力が定義されている）による発電を推進するため、多くのインセンティブ・法規制の整備を行ってきた。そのうち最も重要なのが、2008 年 5 月に制定された再生可能エネルギー発電推進法（No. 1002）である。同年 10 月にはその細則（Decreto Supremo No. 050-2008-EM）が制定されている。

同法および細則により、国として定める電力消費量に占める再生可能エネルギー枠を達成するために、再生可能エネルギー発電による電力を 20～30 年間固定価格で買い取るための入札が、以下の要領で実施されることとなった。

- 国は 5 年毎に、電力エネルギー消費の一定割合を再生可能エネルギー（大規模水力を除く）でカバーすることを目標とする。最初の 5 年の目標は 5 % である。
- この目標を達成するために、再生可能エネルギーによる電力供給の入札を行い、落札者に対して、システムに提供される電力を 20 年から 30 年まで固定価格で買い取ることを保証する。
- 入札書類は MEM が作成する。電源構成は、国家再生可能エネルギー計画、コンセッション

が申請されているプロジェクト、すでにコンセッションが与えられているプロジェクトを参考に決定する。

- 入札の全プロセスは、MEM の委託により OSINERGMIN により実施される。
- 入札では、電気事業法 79 条で定められている収益率 12% 率を下回らないよう、再生可能エネルギーの電源別に OSINERGMIN が独自の方法で設定するベース価格（設定方法は非公開、ベース価格は入札後に公開。）を上限として行われる（入札の仕組みは図 II-2. 2. 1 参照）。

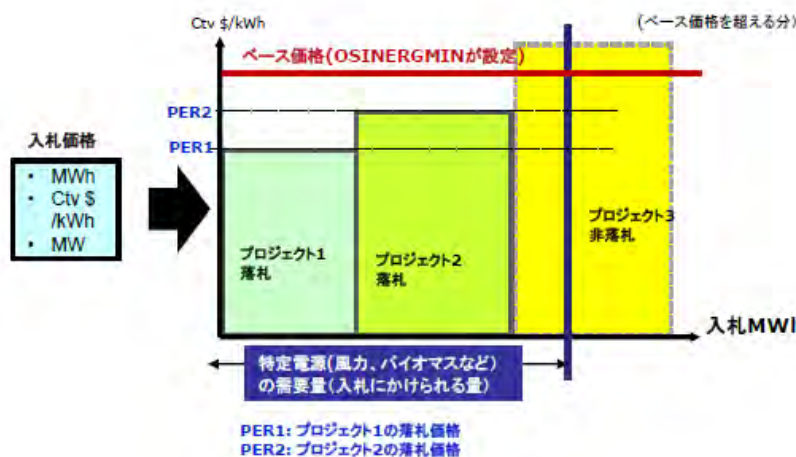


図 II-2. 2. 1 再生可能エネルギー入札の仕組み

- 入札価格は、今後再生可能エネルギー発電業者が保証する供給電力 (MWh) の価格 (USD/MWh) で示される。
- 入札評価は、再生可能エネルギーの電源別に行われる。
- 落札業者は、OSINERGMIN の設定するベース価格を超えない範囲で、電源別のエネルギー需要量を満たすまで、メリットオーダー（入札価格の安い順序）で決まる。
- 入札は2年毎に行われる。
- 再生可能エネルギー発電業者は、落札価格と実際のスポット市場における限界費用との間に差がある場合にプレミアムを受け取ることができる（図 II-2. 2. 2）。プレミアムはユーザーの支払う電気料金に反映される。

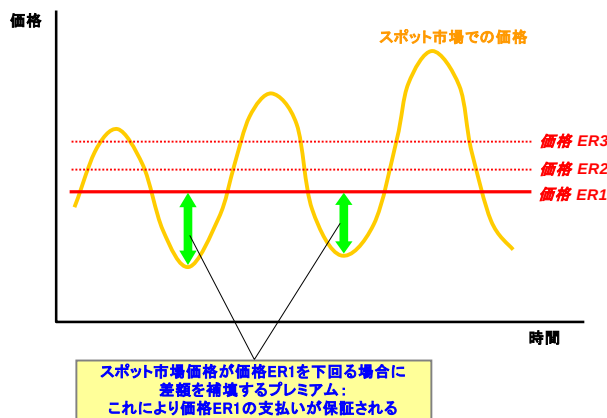


図 II-2. 2. 2 再生可能エネルギー発電業者に対するプレミアム

- 一時的コンセッション（temporarily concession）を有していることは入札参加の条件とはならない。
- 再生可能エネルギー発電に対して負荷配分と送配線アクセスの優先権を保証する。

ペルー政府は今後 5 年間の目標を達成するために必要な水力を除く再生可能エネルギー発電の出力を 500 MW（必要とされるエネルギー量 1,134GWh/年を設備利用率 30%で換算）と設定し、2009 年 10 月に第一回の入札を行った（2010 年 2 月、落札業者決定）。入札には 20 業者、31 のプロジェクト（内、水力 17、風力 6、バイオマス 2、太陽光 6 プロジェクト）が参加し、内 26 プロジェクトが落札した。OSINERGMIN によって事前に設定されたベース価格は、水力、風力、バイオマス、太陽光の順で、74 USD/MWh、110 USD/MWh、120 USD/MWh、269 USD/MWh であったが、実際の落札価格は全てそれを下回る結果となった。この入札による再生可能エネルギーの固定価格での買取期間は 20 年間とされ、落札業者は 2012 年 12 月 31 日までに契約されたエネルギーの提供を開始することが義務付けられている。不足分の入札は、2010 年 3 月に公示され、25 のプロジェクト（内、バイオマス 5、太陽光 3、水力 17）が参加したが、大半のプロジェクトがベース価格を上回り、落札したのは水力 2 件に留まった。第二回入札は 2011 年 4 月に実施され（2011 年 7 月、落札業者決定）、バイオマス、風力、太陽光が各々 1 件ずつ落札した。ベース価格は、バイオマスのみが 65 USD/MWh と公表された。これまでに落札されたバイオマス、風力、太陽光のプロジェクトを表 II-2.2.1 に示す。

表 II-2.2.1 再生可能エネルギーによる電力供給契約の入札結果（落札プロジェクト）

プロジェクト名	設備容量 (MW)	入札価格 (centUSD/kWh)	利用率 (%)	入札年	発電開始年
バイオマス	29.4				
Generación Ingenio Azucarero Paramonga	23.0	5.20	57.10	2009	2010
CTB Huaycoloro	4.4	11.00	73.40	2009	2011
La Gringa V	2.0	9.999	80.00	2011	2014
風力	232.0				
Marcona	32.0	6.55	52.93	2009	2012
Central Eolica Talara	30.0	8.70	46.00	2009	2012
Central Eolica Cupishnique	80.0	8.50	43.00	2009	2012
Central Consorcio Tres Hermanas	90.0	6.90	52.73	2011	2014
太陽光	96.0				
Panamericana Solar 20TS	20.0	21.50	28.90	2009	2012
Majes Solar	20.0	22.25	21.50	2009	2012
Tacna Solar	20.0	22.50	26.90	2009	2012
Reparticion Solar 20T	20.0	22.30	21.40	2009	2012
Solarpack Corporación Tecnológica S.L.	16.0	11.99	30.50	2011	2014
合計	357.4				

落札した再生可能エネルギー発電事業者のうち、SEIN に電力を供給する場合は、スポット市場で電力の一部あるいは全部を販売し、スポット市場の限界費用が、落札価格よりも低い場合はプレミアムを受け取ることになる。また SEIN 外の発電事業者は、落札価格で配電業社に電力を直接

販売する。今回の入札に参加しなかった、あるいは落札できなかった発電業者は、通常どおり自由相対契約またはスポット市場での売電が認められる。

なお、再生可能エネルギーによる発電事業への税制優遇措置として、2008 年 6 月、投資額に対する 20%までの加速度的減価償却を認める法律 (No. 1058)、2006 年 6 月に、電力販売に対する付加価値税の減税措置を適用する法 (No. 28876) が発効している。

II -3 地熱資源開発の法的枠組み

II -3.1 地熱資源法および細則

同国の地熱開発推進を目的として、1997 年 7 月に地熱資源法 (No. 26848) が発布され、2006 年にその細則が制定されている。細則は 2010 年 4 月に、地熱開発への民間投資をさらに促進するために改定が行われた。また省令 No. 191-2007-PCM により、パイロットプロジェクトおよび地熱マスタープラン策定のためのマルチセクター技術委員会が設置されている。

II -3.2 所轄機関

地熱資源法およびその細則に定められる、同国の地熱開発に関する法的所轄機関は以下のとおりである。

エネルギー鉱山省-エネルギー次官室

電力総局 (DGE) により出される決議に対して反論が出された場合、地熱法およびその細則に加え MEM エネルギー次官室が第 2 の、且つ最終的な事務管轄機関として機能する。

エネルギー鉱山省-電力総局

電力総局は地熱資源法・その細則に従い、関連する全ての事務事項を手続きし、決議する第 1 の権限を有する。

エネルギー鉱山省-エネルギー環境総局

エネルギー環境総局 (DGAAE) は、地熱資源法とその細則に従い、地熱開発の環境影響調査に関連する全ての事務事項を手続きし、決議する。

エネルギー鉱山投資監督機構 (OSINERGMIN)

OSINERGMIN は、地熱開発の監督・検査、地熱権の保有者に対する罰金・制裁の決定、地熱権失効の原因となる違反に関して電力総局に報告する。

II -3.3 地熱権の区分

地熱資源法によれば、地熱資源開発は表 II-3.3.1 のとおり 3 つの段階に区分される。

表 II-3.3.1 地熱開発の開発段階と地熱権の関係

開発段階	活動内容	地熱権	期間
i) 概査 (Reconnaissance)	地質調査・地化学調査により、ある地域が地熱資源を有するかどうかを判断する活動	不要	—
ii) 探査 (Exploration) フェーズ 1: 1,000m 以上の探査用の井戸掘削を含まない事前調査 フェーズ 2: 最低 3 本の探査用の井戸の掘削	地熱資源の大きさ・位置・特徴・規模を判断するための活動で、熱流量坑の掘削を含む	探査権 (スペイン語では “autorización”)	合計 3 年 フェーズ 1: 2 年 フェーズ 2: 1 年 (一度だけ 2 年間延長可能)
iii) 開発 (Exploitation) →発電事業	商業目的で地熱エネルギーを蒸気・熱・流体の形で取り出す活動	開発権 (スペイン語では “concesión”) →その後発電事業が行われる場合、地熱資源の開発権は、発電事業の事業権の年数分自動的に延長可能	30 年 (一度に 10 年間延長可能)

地熱資源の開発は、地熱資源法に基づくものであるが、発電段階に入ると、電気事業法のもとの発電事業の事業権の取得を行い、地熱資源の開発権については発電事業の事業権の年数分自動的に延長される。一方、その他の電源については開発・発電とも電気事業法に基づいており、事業区分は以下の 3 つに分類される。

- コンセSSION (Definitive Concession) : 20MW 以上の水力発電事業、または再生可能エネルギー (20MW 以下の水力も含む) による発電事業 (発電所建設・運営) に適用。
- 一時的コンセSSION (Temporal Concession) : 2 年を超えない期間で F/S を実施するために付与される権利。再生可能エネルギーを含むいかなる規模の電力事業にも適用される。
- 認可 (Authorization) : 500kW 以上の火力発電事業 (発電所建設・運営) の事業権。

地熱開発・発電と、その他の電源の開発・発電に関連して必要とされる権利を表 II-3.3.2 に示す。

表 II-3.3.2 資源開発・発電事業で必要とされる権利

		火力発電(500kW以上)	水力発電 (20MW以上)	再生可能エネルギー (バイオマス、風力、太陽光、潮力、20MW以下水力、地熱の内、地熱を除く)	地熱
適用法		電力事業法			地熱資源法
必要な事業権	Pre F/S段階	無し	無し	無し	探査権(authorization)
	F/S段階	Temporary Concession	Temporary Concession	Temporary Concession	開発権 (Concession)
	発電事業段階	Authorization	Definitive Concession	Definitive Concession	電力事業法のもとではDefinitive Concession (発電事業権)を取得 (地熱資源の開発権はそれと同じ年数分自動的に延長)

また地熱開発の場合、探査権・開発権のどちらについても申請の段階では環境影響調査は必要とされないが、それぞれの活動開始前に、環境エネルギー総局に環境影響調査報告書を提出し、承認を受ける必要がある。

地熱を含む再生可能エネルギー発電事業の事業権の申請先および申請に必要とされる書類は、電力事業法およびその細則により、発電事業の出力（10 MW 以下、10 MW～20 MW、20 MW 以上の 3 ケース）によってそれぞれ定められている。

II -3.4 地熱権の申請手続き

II -3.4.1 探査権申請手続き

探査権申請には以下の情報、書類を提出する。

- 申請者代表により署名された電力総局宛の申請書
- 申請料納付証明書
- 会社登記簿（公共登録されているもの）
- UTM 座標により地熱地域が示されたもの。DGE の承認する基盤システムを使って示された地図（1:100,000）
- 事業概要書（法的代表者が署名したもの）、図面（監督技師が署名したもの）
- フェーズ毎の事業計画と主要項目についての予算書（井戸の数、事業計画のマイルストーンを示すこと）
- 活動開始前に環境エネルギー総局承認済みの EIA を提出する旨の誓約書
- 図面責任者の技師能力認定書

複数の探査権が同時に申請された場合、電力総局は申請順に審査することになっている。すでに鉱業や他の電力事業などの開発権が付与されている地域で、地熱権が申請された場合は、既存の開発権の保有者は、地熱権申請者に替わって、その権利を地熱権に替える優先権を有する。また、探査権の保有者は、開発権の申請に対する優先権を持つ。

II -3.4.2 開発権申請手続き

開発権申請には以下の情報、書類を提出する。

- 申請者代表により署名された電力総局宛の申請書
- 申請料納付証明書
- 会社登記簿（公共登録されているもの）
- 探査権（authorization）保有者が優先権を行使する場合は、探査権付与書
- UTM 座標により地熱地域が示されたもの。DGE の承認する基盤システムを使って示された地図（1:100,000）
- 蒸気の生産可能性に関する技術報告書およびそれに係る提案書
- 生産開始予定日
- 事業概要書（法的代表者が署名したもの）、図面（監督技師が署名したもの）
- 予測される生産能力、オペレーション規模
- 事業計画、作業スケジュール（法的代表者が署名したもの）
- 予算書、投資計画書（法的代表者が署名したもの）
- 活動開始前に環境エネルギー総局承認済みの EIA を提出する旨の誓約書

- 予算の1%の額と事業期間をカバーする保証
- 図面責任者の技師能力認定書

開発権の保有者が地熱発電を行う場合は、開発権契約は発電事業の事業権の期間分、自動的に延長される。

II -3.5 環境社会配慮に係わる法規制

II -3.5.1 環境影響評価制度

(1) 電力事業における環境影響評価の実施機関

ペルーではEIA（環境影響評価）について統一した管轄省庁はなく、現在は各省庁がEIAを担当している。2008年5月に環境省（MINAM: Ministerio del Ambiente）が設置され、自然資源の持続可能かつ戦略的な開発における環境管理のルール作成、自然保護区の管理およびアマゾン流域先住民族の研究等を担当している。

MINAMの管轄にはEIA調査の内容をチェックする実務は含まれていないため、電力事業におけるEIAの手続きには関与していない。MINAMの自然保護局（SERNANP: Servicio Natural de Áreas Naturales Protegidas）は、自然保護区内での開発の許可の権限を持ち、EIAにおける技術的な意見を述べることになっている。

電力事業におけるEIAの審査・承認を担当するのは、MEMのエネルギー環境総局（DGAAE: Dirección General de Asuntos Ambientales Energeticos）である。また、環境規則の管理は電力総局（DGE: Dirección General de Electricidad）が行う。

(2) 電力事業における環境影響評価

ペルー国におけるEIAの実施は、2001年4月23日に公布された法律27446（Ley No. 27446）に規定されている。電力事業におけるEIAの実施は、1993年に公布した電気事業に関する法律25844（LEY DE CONCESIONES ELÉCTRICAS y REGLAMENTO, DECRETO LEY N° 25844）により定められており、EIA実施の内容は1994年に発効した電力事業に関する環境保護規則の大統領令D.S. N° 29-94-EMで定められている。

法律25844によれば、電力事業におけるEIAは発電の出力規模に応じて要求されており、出力規模20MW以上の電力事業がEIA実施の対象となる。また、出力規模500kW以上の電力事業については、MEMのコンセッション、許可（火力発電所）が必要である。

なお、ペルーでは地熱資源法（Ley No 26848, Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos, 1997-07-29）が制定されている。同法の30条および49条に地熱開発権利付与の申請にはEIA調査書の添付を要求されており、地熱資源開発においてはEIAが必要である。

電力事業開発に要求されるEIAやコンセッションの関係を表II-3.5.1に示す。

表 II-3.5.1 電力事業開発における EIA やコンセッション

事業内容		要求事項		
		コンセッション	許可	EIA
再生エネルギー発電 ¹⁾	500 kW 以上～20 MW	○	—	—
	20 MW 以上	○	—	○
火力発電 ²⁾	500 kW 以上～20 MW	—	○	—
	20 MW 以上	—	○	○

注) ○：必要 —：必要なし

1)：水力、太陽光、風力、地熱、バイオマス発電 2)：鉱油、ガス、石炭

事業許認可の要件である EIA は、調査から EIA 報告書の作成完了まで約 1 年間を要する。EIA の手続きは、報告書の届出から許可まで 60 日間を要し、このうち EIA 報告書の公表から公聴会実施までに 20 日間を設けている。

II -3.5.2 自然保護区

(1) 自然保護区の種類

ペルーの自然保護区（ANP：Áreas Naturales Protegidas）に関する法律 26834（Ley de Áreas Naturales Protegidas, Ley N° 26834）および規則 D. S. N°038-2001-AG（Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas）は、ANP を保護のレベルに応じて 10 種類に分類し自然保護区外にバッファゾーン（緩衝地帯）を設けている。2010 年時点では 67 の自然保護区が設定されている。自然保護区の分布を図 II-3.5.1 に示す。



図 II-3.5.1 自然保護区の分布（SERNANP）

(2) 自然保護区の管理機関

自然保護区の管理機関は MINAM の SERNANP である。SERNANP は自然保護地域の国家システム (SINANPE : Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado) の運営機関であり、自然保護区の技術面での管理基準の設置や管理のための手順の確立の機能も有している。SERNANP は自然保護区内の資源開発における許可や技術的な点に関する意見を提出する。また、保護区のゾーニングやマスタープランの作成に関する活動を行う。

(3) 自然保護区の利用規制

保護区の利用に関しては、自然保護区の管理経営の目標に基づき、法律 27117 に従って規則を遵守した場合のみ間接利用と直接利用が可能である。

a) 間接利用規制

間接利用可能な自然保護区は、以下のとおりである。これらの自然保護区では、資源の開発は認められない。適切な管理のもとに行う科学的な研究調査、観光、レクリエーションに係る利用が認められている。

- 国立公園 (PN: Parque Nacionales)
- 国立聖地 (SN: Santuario Nacionales)
- 歴史聖地 (SH: Santuario Históricos)

b) 直接利用規制

直接利用可能な自然保護区は、以下のとおりである。これらの自然保護区では、SERNANP の許可により管理計画に従って自然資源の利用・開発が可能である。

- 国立保護区 (RN: Reservas Nacionales)
- 野生動物避難区 (RVS: Refugio de Vida Silvestre)
- 保護林 (BP: Bosque de Protección)
- 狩猟区 (CC: Coto de Caza)
- コミュニティ保護区 (CR: Reserva Comunales)
- 景観保護区 (RP: Reservas Paisajísticas)
- 保護ゾーン (ZR: Zona Reservadas)

c) バッファゾーン規制

バッファゾーン（緩衝地帯）での規制にはマスタープランが作成されており、マスタープランに従って主管官庁の許可でバッファゾーン内の活動・開発が認められる。

電力開発事業の場合は、事業者は、DGAAE に提出した EIA 報告書を SERNANP にも送付する。DGAAE は EIA 報告書に対する SERNANP の意見を参考に、バッファゾーン内の事業許可を判断する。

d) 地方保護区

ペルーには国立保護区以外に法律によって設けている地方保護区があり、地方保護区の周辺に国立自然保護区と同様にバッファゾーンが設定されている。

地方保護区およびバッファークーンの規制は、上述した国立自然保護区の利用規制の直接利用保護区およびバッファークーンの規制と同様であり、開発利用が可能である。また、EIA の許認可の手続きも同様であり、保護区内であれば SERNANP が許可し、バッファークーンであれば SERNANP の意見に基づき DGAAE が許可する。

e) 保護区の EIA の許可

保護区、バッファークーン内および保護区外における活動の規制および EIA の許可を表 II-3.5.2 に整理する。また、SERNANP による保護区およびバッファークーン内での活動の許可に必要な資料は EIA 報告書のみである。

表 II-3.5.2 電力開発事業における保護区の利用許可および EIA の承認

区分		開発の規制	EIA の許可
保護区	間接利用規制区	科学的な研究調査等以外の活動は不可	—
	直接利用規制区	EIA の許可により利用、開発は可能	SERNANP (DGAAE は SERNANP の許可を承認する)
バッファークーン規制区		EIA の許可により利用、開発は可能	DGAAE (SERNANP の意見に基づき、DGAAE が許可する)
規制区域以外の地域		規制なし	DGAAE

(JICA 調査団作成)

II -4 地熱発電開発の現状

II -4.1 これまでの地熱資源評価

ペルー国における地熱資源評価に係る各種の現地視察や初期的な調査・検討は、いくつかの国際機関の協力を得ながらペルー国関係機関 (Electroperú、INGEMMET、PET、IPEN 等) により、1970 年代から実施されてきた (Battocletti et al., 1999)。それらのうちこれまで最も重要と考えられる調査は、1997 年から 2003 年にかけて INGENMET により実施されたインベントリー調査であり、その調査ではほぼペルー全土における 500 箇所以上の 20℃以上の温泉等に関する地質・地化学に係る調査が実施された。

上記の現地視察や初期的な調査・検討を通じて得られたデータや情報は、現在 INGENMET により収集・集約されている。

地熱探査・開発への予算投入・投資の検討・決定の一助とするため、INGEMMET の技術者 (Vargas and Cruz, 2010) は、過去の調査・検討 (Cossio and Vargas, 1979 ; Huamaní and Valenzuela, 2003 ; Fidel et. al., 1997 など) に基づき、ペルー国内の地熱資源分布図を最新版に改定している (図 II-4.1.1)。

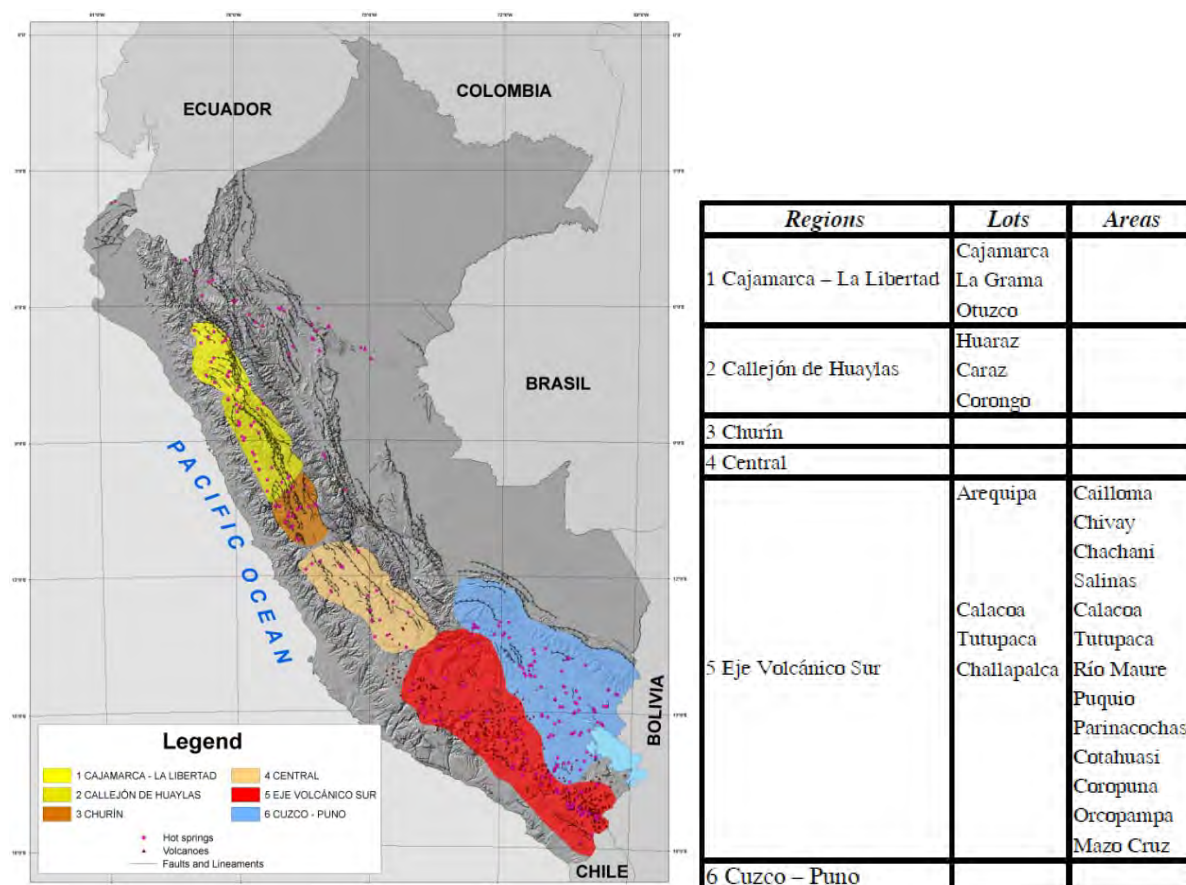


図 II-4.1.1 最新のペルー国地熱資源分布図 (Vargas and Cruz, 2010)

地熱資源分布図の改定に際しては、ペルー全土の温泉・鉱泉の位置分布が最も考慮された。改定された資源分布図では、6つの「地熱リージョン」の範囲の見直しが行われた。ペルーの北部と中央部（リージョン1・2・3・4）に分布する温泉は、天水起源であり、非火山的地温上昇の熱により形成されたものである。南部（リージョン5・6）では、地表の地熱兆候は火山活動に関連したものであり、いくつかの地点では温泉水は複数の起源水の混合物であって、天水を起源とする地下水が深部にまで浸透し、特定の熱源により加熱されたものも含まれる (Vargas and Cruz, 2010)。

ペルー国内の地熱地域においてこれまで取得されているデータや情報は、発電開発計画に利用できるレベルのものではない。ただし、Tacna 州の Calientes 地点と Borateras 地点だけは、MT 探査の実施に基づく資源調査・評価を含む、地熱発電開発の予備的可能性調査（プレフィージビリティスタディ）が実施されている (JBIC, 2008; JETRO, 2008)。

II -4.2 地熱権の申請手続きの現状

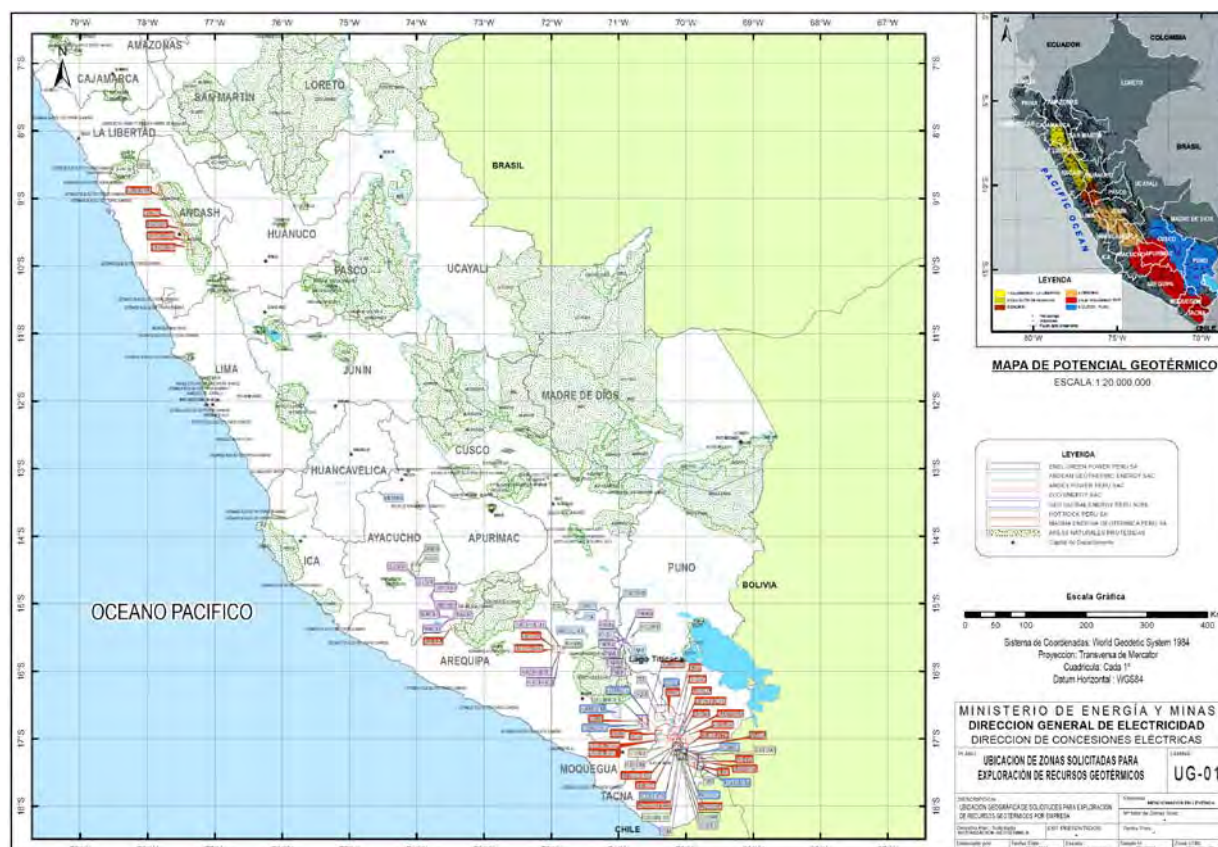
2010 年 4 月の地熱資源法細則の改定後、多数の探査権申請が行われているが、2011 年 12 月時点で、MEM により申請書類が受理されているのは表 II-4.2.1 に示す 98 件である。このうち、既

に公式に探査権が付与されたのは、4企業（カナダ系、オーストラリア系、ペルー系、米系）に対する20件である。探査権は2011年2月から付与され始めているが、これまでに開発権の取得にまで至った地点は無い。図II-4.2.1に探査権申請地点位置図を示す。

表 II-4.2.1 探査権の申請・付与状況（2011年12月時点）

No.	申請者別 No.	申請地区名	JICAマスタープラン 調査における地点名 (有望地点)	申請企業名	No.	申請者別 No.	申請地区名	JICAマスタープラン 調査における地点名 (有望地点)	申請企業名
1	1	Casiri	Chungara-Kallapuma	Magma Energía Geotérmica S.A.	55	1	Hualca Hualca	Chivay-Pinchollo	Eco Energy S.A.C.
2	2	Ticsani	Calacoa-Putina		56	2	Pinaya I	Pinaya	
3	3	San Pedro			57	3	Pinaya II	Pinaya	
4	4	Vilacota			58	4	Hualca Hualca I	Chivay-Pinchollo	
5	5	Ancoccollo	Ancoccollo		59	5	Hualca Hualca II	Chivay-Pinchollo	
6	6	Crucero	Crucero		60	6	Umacusiri I		
7	7	Pinchollo	Chivay-Pinchollo		61	7	Umacusiri II		
8	8	Tutupaca Norte			62	8	Geronta I	Puquio	
9	9	Suche			63	9	Geronta II	Puquio	
10	10	Cancave			64	10	Pinaya III	Pinaya	
11	11	Calientes Norte			65	11	Pinaya IV	Pinaya	
12	12	San Pedro Libre			66	12	Pinaya V	Pinaya	
13	13	Ancoccollo Libre	Ancoccollo		67	13	Pinaya VI	Pinaya	
14	14	Sara Sara			68	14	Rio Pararca I		
15	15	Pasto			69	15	Rio Pararca II		
16	16	Panejo			70	16	Rio Pararca III		
17	17	Loriscota			71	1	Tutupaca	Tutupaca	Andes
18	18	Huayllatiri			72	2	Borateras	Borateras	Power Peru
19	19	Antajave			73	1	No.3	Calientes	Murahuay S.A.C.
20	20	Atarani			74	2	Rio Calientes	Calientes	
21	21	Chancos	Chancos		75	3	Rio Calientes III	Calientes	Andean Geothermal Energy S.A.C.
22	22	Olleros Sur			76	1	Pusa		
23	23	Yungay			77	2	Pinaya	Pinaya	
24	24	Monterrey			78	3	Censuyo	Cailloma	
25	25	Huancarhuaz			79	4	Baños del Inca		
26	26	Olleros Norte			80	5	Pacla		
27	27	Crucero Libre			81	6	Occollo		
28	28	Tutupaca Libre			82	7	Baños del Inca		
29	29	Casiri Libre 1			83	8	Coline		
30	30	Pinchollo Libre	Chivay-Pinchollo		84	9	Condoroma		
31	31	Cancave Libre			85	10	Atecata		
32	32	Vilacota 21			86	11	Niñobamba		
33	33	Vilacota 22			87	12	Condoroma South		
34	34	Ticsani Libre	Calacoa-Putina		88	13	Condoroma		
35	1	Achumani	Chivay-Pinchollo	Hot Rock Peru S.A.	89	14	Atecata		Enel Green Power Perú S.A.
36	2	Ocururane	Ancoccollo		90	15	Niñobambba		
37	3	Quellaapacheta	Calacoa-Putina		91	16	Baños del Inca		
38	4	Turu	Cailloma		92	1	Carmen	(Puquio)	
39	5	Achuco	Chungara-Kallapuma		93	2	Chilata		
40	6	Rupha			94	3	Titiri	Ccollo/Titire	
41	7	Huarajayoc			95	4	Huaylluma	Calientes	
42	8	Chocopata	(Pinaya)		96	5	Pilar	Chungara-Kallapuma	
43	9	Huisco			97	6	Rio Salado	Ancoccollo	
44	10	Ocururane Sur	Ancoccollo		98	7	Putina		
45	1	Rio Calientes	Calientes	Geo Global Energy Peru SCR Ltda					
46	2	Rio Maure	Borateras						
47	3	Rio Kallapuma	Chungara-Kallapuma						
48	4	Ancoccollo	Ancoccollo						
49	5	Tutupaca	Tutupaca						
50	6	Ticsani Oeste							
51	7	Ticsani Este	Calacoa-Putina						
52	8	Huaynaputina	Ulucan						
53	9	Ubinas							
54	10	Ccollo	Ccollo/Titire						

エネルギー鉱山省により探査権付与済み
エネルギー鉱山省により審査中(または不許可済み)



(Source: DGE, 2011)

図 II-4.2.1 探査権申請地点位置図

II -4.3 地熱発電のための組織・体制の現状

II -4.3.1 資源調査の経緯と関係組織

ペルーにおいて最初の本格的な地熱資源調査は 1975 年に Mimer Peru 社による Moquegua 州の Calacoa 地区での地質および地化学探査とされている。1978 年には INGEMMET が全国に分布する地熱活動状況をまとめて、6 地域の区分けを行った。INGEMMET は、OLADE の援助を受けて 1979 年から 1980 年にかけてイタリアの地熱コンサルタントの Aquater 社と共に、リージョン 5 における地熱資源の調査を実施し、Tutupaca や Calacoa、Challapalca、Laguna Salinas、Chachani さらに Chivay などの有望な地熱地帯を抽出している。また、英国地質調査所（BES）と技術協力協定を結び、1983 年から 1985 年にかけてリージョン 6 の Cuzco-Puno 地熱地帯の初期調査を実施し、その温度は 160℃程度との評価結果を出している。

一方、Electroperú 社は、1979 年から 1983 年にかけてイタリアや日本などに技術者を派遣して地熱技術を習得させている。これは、社内に地熱グループを設置してドナーの援助を得て Calacoa や Tutupaca、Challapalca 地域における地熱開発の実施を意図していた。この結果、1982 年から 1986 年にかけてイタリア政府系エネルギー関連コンサルタント会社の CESEN 社（当時公営企業）と共に Cajamarca-La Libertad や Callejon de Huaylas、Churfn および Central を含む約 100,000 km² に及ぶ地域について浅井戸の掘削を含めた調査を実施している。当該地域には Callejon de Huaylas や Oturco、La Grama および Cajamarca の各有望地熱地帯を含んでいたが、

この地域は中低位の地熱資源との評価とされている。さらに、Electroperú 社は、1986 年に国際エネルギー・原子力機構 (IAEA) の援助を受けてリージョン 5 における地熱調査を実施し、Calacocha および Calientes 地区で有望な地熱資源を抽出している。

その後、1997 年には Cenergia が既存文献資料の収集整理を実施し、INGEMMET は温泉の全国規模の基礎調査を 2000 年代前半にかけて行っている。さらに 2007 年には JBIC および JETRO によるカリエンテスおよびボラテラスにおいて本格的な地熱資源調査が実施された。

以上のように、1970 年代から 1980 年代にかけて実施された一連の初期的地熱資源調査の中で技術者の育成も配慮されていたが、開発を前提とした本格的なプロジェクトは空白の期間が続いており、さらに所属事業会社の改編などにより技術の連続性は十分に担保されていない。過去のプロジェクトの従事者の中には大学などの教職に就いて地熱に係るコンサルティングを行っている技術者もいるが高齢化しており、また地熱資源に関する知見は過去の調査結果を踏襲せざるを得ない状況にある。現況において特に地熱資源に関わる開発技術について一定のレベルを有する専門家グループとしては INGEMMET 以外に期待できない。ただし、INGEMMET にしても地熱開発に必要な人材と機材は全く不十分な状況にある。

表 II-4.3.1 ペルーにおける地熱開発技術または関連技術の専門家数 (2011 年 9 月)

専門家	DGE	INGEMMET	Petroperú	大学	民間	合計
Geologist	0	1	0	5	100	106
Geochemist	0	1	0	1	30	32
Geophysicist	0	1	0	1	15	17
Reservoir Engineer	0	0	0	0	5	5
Drilling Engineer	0	0	0	0	10	10
Power Engineer	0	0	0	0	60	60
Environmental Scientist	0	0	0	1	100	101
Financial Analyst	0	0	0	0	100	100
GIS Scientist	1	2	0	10	200	213
Drillers	0	0	0	0	50	50
Technicians	0	0	0	0	1000	1000
合計	1	5	0	18	1670	

II -4.3.2 地熱発電開発のための組織・体制

ペルー政府における地熱発電開発のための法的所轄機関は II-3.2 項に述べたが、その他にも MEM においては地熱委員会 (Comision Multisectorial de Geotermia) が設置されており、学識経験者 (地球科学専門家) や INGEMMET 等の組織のメンバーにより構成されている。ただし、地熱発電に関する技術的な専門家は一部メンバーに限られており、発電開発への寄与はごく限定的であると言える。また、地熱発電開発における、坑井掘削を含めた資源の本格探査や発電事業に係

る専門家は政府機関にはほぼ皆無であり、人材の育成や教育もほとんど行われていないのが現状である。

II -4.3.3 石油・ガス開発での人材・組織

ペルー国内には石油・ガス開発に関わる管理機構、事業会社、サービス会社、機器、マンパワーなどのインフラは整っており、一般に石油・ガス開発産業に類似した構造を有する地熱開発体制を整備するのに大きな障害は無いと思われる。特に開発技術において常に課題となる掘削関連については、何れも海外資本系列ではあるものの、イタリア ENI 傘下の Petrex 社と Schlumberger 傘下の SAXON 社の 2 社で 20 基以上の掘削リグを所有しており、ペルー国内の石油・天然ガス開発用に掘削請負サービスを提供している。いずれもアマゾン川流域の低湿地における運用であり、高標高における逸泥対策やエア掘り、泥水放熱塔などの地熱掘削特有の設備や専門知識は必要となるものの、大きな障害とは思われない。

II -5 地熱の多目的利用の現状

II -5.1 世界の地熱の直接利用

世界の地熱の直接利用は、2010 年の世界地熱会議の報告書によると、438,071 TJ/年（50,583 MWt）である。その内、空調（ヒートポンプ、暖房、温室）利用が最大で、それに養殖（養殖地の温水）、農作物乾燥、工業利用、入浴・プール、冷却・融雪が続く。

中南米地域全体では、表 II-5.1.1 に示されるとおり、15,301.40 TJ/年（862.50 MWt）の地熱利用が報告されている。

表 II-5.1.1 中南米地域の地熱直接利用

国 名	設備容量 MWt	年間利用量 TJ/yr	年間利用量 GWh/yr	設備利用率
Argentina	307.47	3,906.74	1,085.30	40.00%
Brazil	360.10	6,622.40	1,839.70	58.00%
Caribbean Islands	0.10	2.78	0.80	85.00%
Chile	9.11	131.82	36.60	46.00%
Columbia	14.40	287.00	79.70	63.00%
Costa Rica	1.00	21.00	5.80	67.00%
Ecuador	5.16	102.40	28.40	63.00%
El Salvador	2.00	40.00	11.10	63.00%
Guatemala	2.31	56.46	15.70	78.00%
Honduras	1.93	45.00	12.50	74.00%
Mexico	155.82	4,022.80	1,117.50	82.00%
Peru	2.40	49.00	13.60	65.00%
Venezuela	0.70	14.00	3.90	63.00%
中南米全体	862.50	15,301.40	4,250.60	60.50%
全世界に占める割合	1.71%	3.49%	3.49%	—
全世界	50,583.00	438,071.00	121,696.00	27.00%

II -5.2 ペルーでの地熱の多目的利用

ペルーについては、Lund（2005 年）により報告されたもので、中央から北部にある 7 箇所の浴用としての利用が含まれている。

本マスタープラン調査結果によれば、ペルーでの発電目的以外の地熱資源の利用は可能であり、それにより地域の社会経済開発に貢献し、世界的な気候変動の影響を削減することができる。参考までに 2010 年世界地熱会議での報告によれば、発電に化石燃料を利用する場合と比較して、世界で地熱を直接利用することにより、一年で石油 307.8 百万バレル（46.2 百万トン）分、石炭 46.6 百万トン分が貯蓄でき、二酸化炭素 148.2 百万トン分の大気への放出を防ぐことができる（これには地熱ヒートポンプによる冷房で化石燃料の利用を代替する分も含まれる。）

II -6 地熱発電開発推進のための課題

前節までに述べたように、ペルーにおける地熱発電開発のための法規制については、基本的には地熱法をはじめとする各種の法律により、主に民間企業による開発を前提とした制度がある程度は確立されている。しかし、その運用は 2010 年以後に開始されたばかりであり、開発が実際に推進されるためには、開発推進の方針・戦略を明確に打ち出すとともに、政府による積極的な活動が必要であり、状況に応じて制度の弾力的運用や見直しも必要になることが予想される。

地熱発電開発推進のための現状での課題としては主に以下のような事項が挙げられる。

- 地熱を含む再生可能エネルギーによる発電量の目標は、現時点では総需要の 5 % とされているが、各電源の割合や具体的な開発計画は策定されていない。
- 地熱発電特有の資源リスクや比較的高い初期投資が必要なことから、現状のままでは民間企業による開発が進まないことも考えられるため、制度の改良や政府による発電事業等のオプションについても考慮されるべきである。
- 地熱発電の開発推進に関するインセンティブは、現時点では、入札を通じた発電電力の固定価格による買取制度だけであるが、その買取価格（入札でのベース価格）の検討は未だなされておらず、民間企業による開発を促すために十分かどうかは明らかでない。
- 政府関係機関には地熱発電・利用に関する専門的知識を有する人材が少なく、また開発推進に向けた関係組織の情報交換や協力態勢は十分であるとは言い難い。

以上のような課題に対処するためにマスタープランが必要であり、本プロジェクトでは次章に示すように提言およびアクションプラン、地熱発電開発データベース、地熱発電開発計画からなるマスタープランを策定した。

III マスタープラン

III -1 提言およびアクションプラン

III -1.1 地熱発電開発量の目標に関する提言

III -1.1.1 地熱資源からの可能開発量

(1) ペルーの地熱資源の概要

ペルーは環太平洋火山帯に位置する。ペルーの太平洋側ではナスカプレートが南アメリカプレートに沈み込んでおり、この結果、南米大陸西縁にアンデス山脈が形成され、活火山もアンデス山脈に沿って分布する。ペルーにおける主要な地熱地帯や温泉湧出地のほとんどはアンデス山脈にある。アンデス山脈は平行する2列の褶曲山地帯からなる（図 III-1.1.1）。Western Cordillera の地質は中生界～新第三系からなり、Eastern Cordillera は古生代後期の地質からなる。ペルー南部では Altiplano により褶曲帯が分断されている。Altiplano は古第三紀～新第三紀の厚いモラッセ堆積物からなる。アンデス山脈の東側には Brazilian Shield で堆積した陸成堆積物からなる sub-Andean zone があり、西側は Arequipa Massif と呼ばれるカンブリア紀以前の地質体からなる。ペルー国には Arequipa Massif に区分される地質体が広域に分布すると考えられている（Kearey and Vine, 1996）。

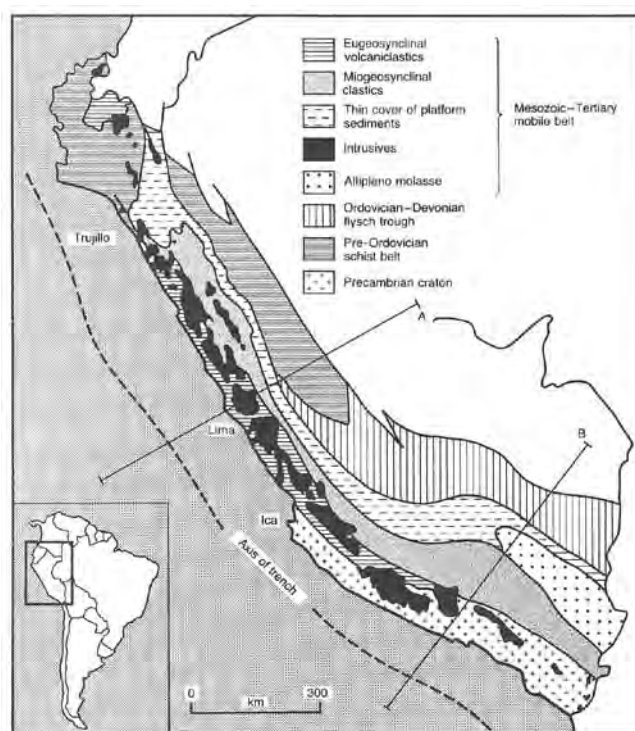


図 III-1.1.1 ペルー付近のアンデス地域地質図（Kearey and Vine, 1996）

図 III-1.1.2 に Kono et al. (1989) による活火山の分布と中新世以降に噴出した火山の火口位置を示す。ペルー南部からチリ北部にかけて活火山は火山フロントに一系列に並ぶ分布を示

す。しかしながら、新第三紀の火山は Altiplano 全域に広く分布する。この広い火山活動域は Altiplano 全域に認められる地殻熱流量の大きいところに概ね一致する。これは、火山活動の影響が Altiplano 全域に及んでいることを示唆しており、地殻下部からのマグマ物質の供給が Altiplano 全域にあることが推定されている (Kono et al., 1989)。Kono et al. (1989) は、Altiplano 全域に火山活動があると考え、ナスカプレートの沈み込みに伴うマグマ物質の生成されている領域が Altiplano に一致していると考えた。このようにペルー南部では、活火山のある Western Cordillera に限らず、Altiplano 全域に新第三紀以降の火山活動の影響が及んでいる可能性が推定され、Western Cordillera に限らず Altiplano にも有望な地熱資源が賦存している可能性が示唆される。

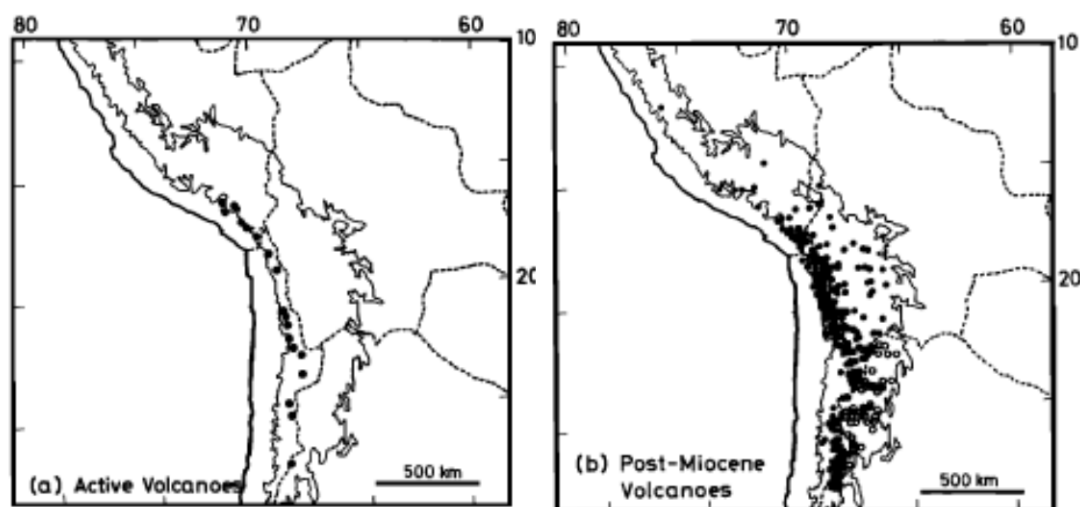


図 III-1.1.2 中央アンデス地域の活動的火山および中新世以後の火山の分布 (Kono et al., 1989)

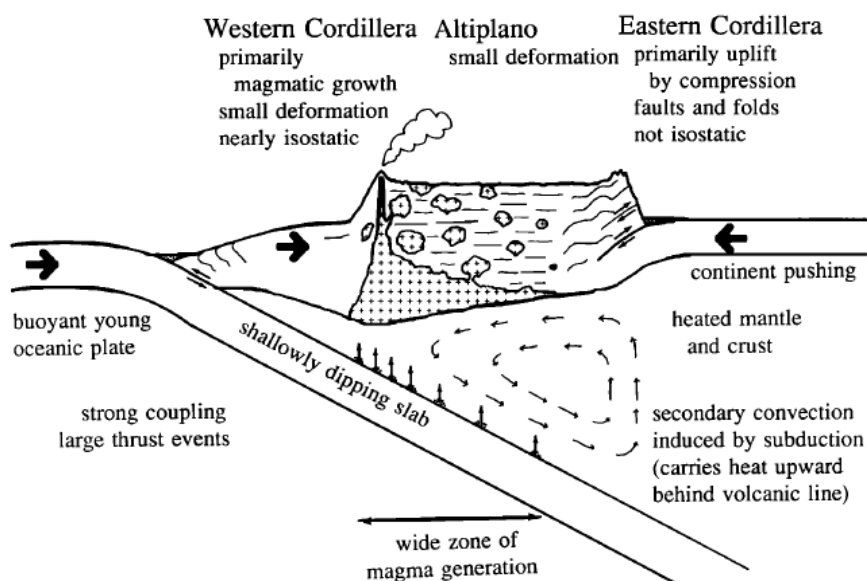


図 III-1.1.3 中央アンデス地域の形成過程に関する概念図 (Kono et al., 1989)

(2) ペルーの地熱資源量

a) 地熱地点の設定

INGEMMET により改定されたペルーの地熱資源分布図では、いくつかの重要な地熱地帯が抽出されている。しかし、水文学的な評価により規定される個々の地熱系（または熱水系）の存在に基づく地熱地点の設定とはなっていない。そこで、個々の地熱地点を評価するために、温泉・鉱泉の分布および地形に基づき、地熱系の区分を行った（図 III-1.1.4）。

地熱系の区分においては、離れた地点に分布する鉱泉や冷泉は地熱系には属さないものと評価した。区分の結果、ペルー全土では 61 の地熱地点が抽出されたが、その半分以上（38 地点）はリージョン 5 またはリージョン 6 に存在する。61 地点のうち 34 地点においては、60℃以上の泉温をもつ温泉が 1 箇所以上存在している。

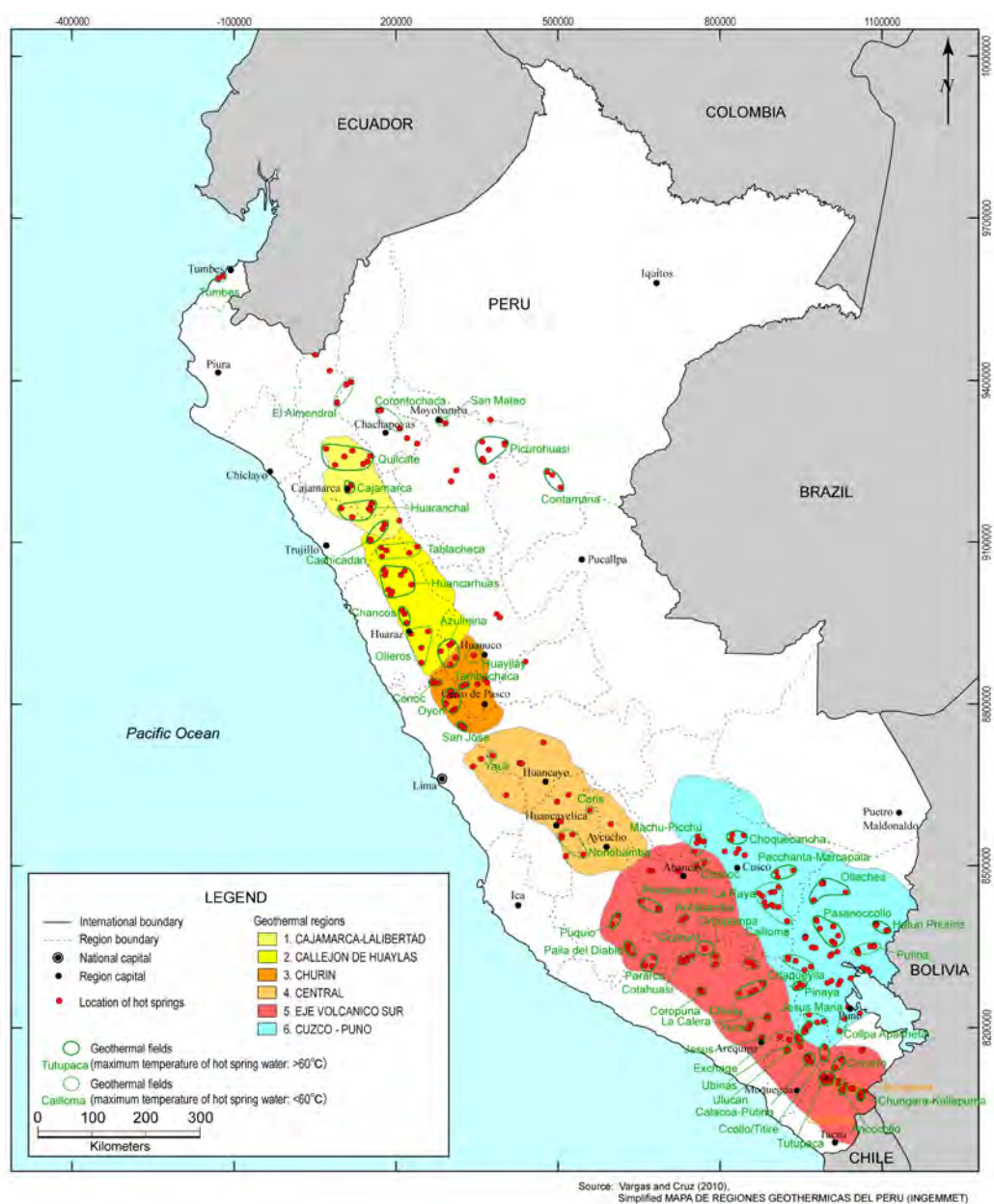


図 III-1.1.4 設定された地熱地点の位置図

b) ペルーの地熱資源量の見積

ペルー全体の地熱資源量を概略的に見積もるため、61 地点の地熱資源量を容積法で計算した。計算では 61 地点を次に示す 4 つに区分して行った。

- Calientes および Borateras : JBIC (2008) および JETRO (2008) で MT 探査を含む詳細地表調査にもとづいて構築された地熱系概念モデルをベースに資源量計算が行われている。
- Ancocollo および Tutupaca : これらの 2 地点は本調査の中で最も有望と評価され、MT 探査を含む詳細地表調査にもとづいて構築された概念モデルをベースに資源量計算を行った。
- 有望 11 地点 : 本調査では上記以外に 11 の有望地点を選定した。これらの地点では、本調査で実施した地質調査・地化学調査にもとづいて構築された概念モデルをベースに資源量計算を行った。
- その他 (46 地点) : これらの地点は温泉等の分布や地形から設定した。資源量計算は貯留層の温度や体積の概略的な仮定値をベースに行った。

ペルー全土の地熱資源量試算結果を表 III-1.1.1 に示す。ペルー全土の地熱資源量は全体で 2,860 MWe と推計された。

表 III-1. 1. 1 ペルー全土の地熱資源量試算結果

地熱リージョン	No.	州名	地点名	推定資源量 (MWe)		セクター の数**
				有望地点*	他の地点	
(ペルー北部)	1	Tumbes	Tumbes		15	2
	2	Amazonas	El Almendral		10	2
	3	Amazonas	Corontochaca		7	5
	4	San Martin	San Mateo		14	3
	5	San Martin	Picurohuasi		58	6
	6	Loreto	Contamana		48	3
1. Cajamarca-La Libertad	7	Cajamarca	Quilcate		70	7
	8	Cajamarca	Cajamarca		29	2
	9	Cajamarca-La Libertad	Huaranchal		54	5
	10	La Libertad	Cachicadan		40	3
2. Callejon de Huaylas	11	Ancash-La Libertad	Tablachaca		29	5
	12	Ancash	Huancarhuas		89	10
	13	Ancash	Chancos	15.3	21	3
	14	Ancash	Olleros		29	4
	15	Huanuco-Ancash	Azulmina		53	5
3. Churin	16	Lima	Conoc		21	3
	17	Pasco	Huayllay		10	1
	18	Pasco	Tambochaca		24	2
	19	Lima	Oyon		45	5
	20	Lima	San Jose		25	2
4. Central	21	Junin	Yauli		7	1
	22	Huancavelica	Coris		10	1
	23	Huancavelica	Nonobamba		15	3
5. Eje Volcanico Sur	24	Cusco-Apurimac	Cconoc		9	2
	25	Apurimac	Pincahuacho		25	2
	26	Apurimac	Antabamba		15	2
	27	Ayacucho	Puquio	34.3	10	1
	28	Ayacucho	Paila del Diablo		54	4
	29	Ayacucho	Pararca		31	3
	30	Arequipa	Ocoruro		23	1
	31	Arequipa	Cotahuasi		65	7
	32	Arequipa	Orcopampa		29	4
	33	Arequipa	Cailloma	9.1	26	2
	34	Arequipa	Coropuna		15	3
	35	Arequipa	Chivay	162.9	136	9
	36	Arequipa	La Calera		9	2
	37	Arequipa	Yura		15	4
	38	Arequipa	Jesus		7	2
	39	Moquegua	Ubinas		24	3
	40	Moquegua	Ulucan	27.4	0	0
	41	Moquegua	Calacoa-Putina	108.2	45	4
	42	Moquegua	Ccollo/Titire	39.7	27	3
	43	Moquegua-Tacna	Crucero	79.4	3	1
	44	Tacna	Tutupaca	113.8	29	5
	45	Tacna	Calientes	100.0	0	0
	46	Tacna	Ancocollo	98.2	55	4
	47	Tacna	Borateras	40.0	31	3
	48	Tacna	Chungara-Kallapuma	84.0	17	3
6. Cuzco-Puno	49	Cusco	Machu-Picchu		49	6
	50	Cusco	Choquecancha		43	3
	51	Cusco	Pacchanta-Marcapata		40	3
	52	Cusco	La Raya		26	5
	53	Puno	Ollachea		45	3
	54	Puno	Pasanocollo		65	6
	55	Puno	Hatun Phutina		39	4
	56	Puno	Putina		53	6
	57	Puno	Chaqueylla		26	3
	58	Puno	Pinaya	36.8	27	2
	59	Moquegua	Jesus Maria	17.3	17	2
	60	Moquegua	Exchage		27	5
	61	Puno	Collpa Apacheta		13	2
小計				966.4	1894	207
合計				2,860		

* 信頼水準 80%

** 有望 13 地点と Calientes・Borateras 地点をのぞく

これまでの調査研究で、ペルーの地熱資源量は 2,990 MWe (Battocletti et al., 1999) あるいは 3,002.7 MWe (JICA, 2008 : 内部報告書) と報告されている。今回の試算では 2,860 MWe と推計された。これは、試算方法は異なるが、結果としてはこれまでに試算されている資源量にごく近い値となっている。このことは、今回の試算結果がある程度妥当であること、かつこれまでの試算結果を互いに補う結果となったことを示している。

図 III-1.1.5 に今回の資源量試算結果にもとづくペルーの地熱資源分布図を示す。また計算結果を統計的に解析した結果を図 III-1.1.6 と図 III-1.1.7 に示す。全体の地熱資源量のうち半分以上がリージョン 5 に賦存する。

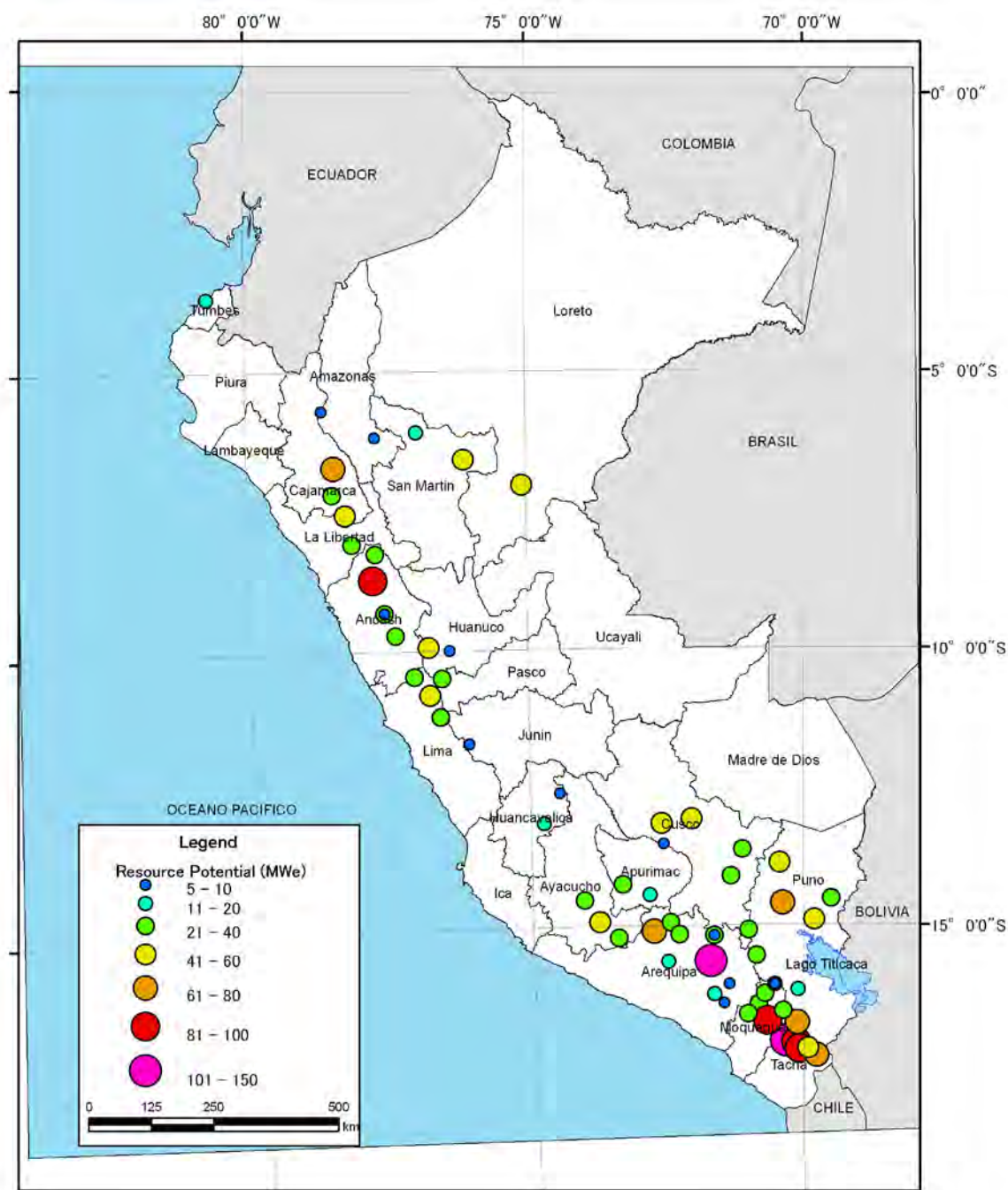


図 III-1.1.5 ペルー全土の地熱発電資源量マップ

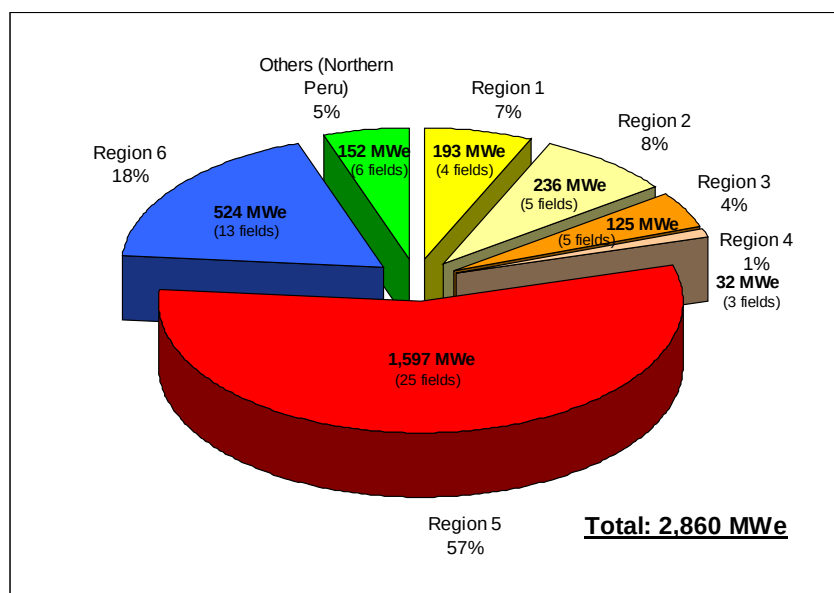


図 III-1. 1. 6 各地熱リージョンでの地熱資源量

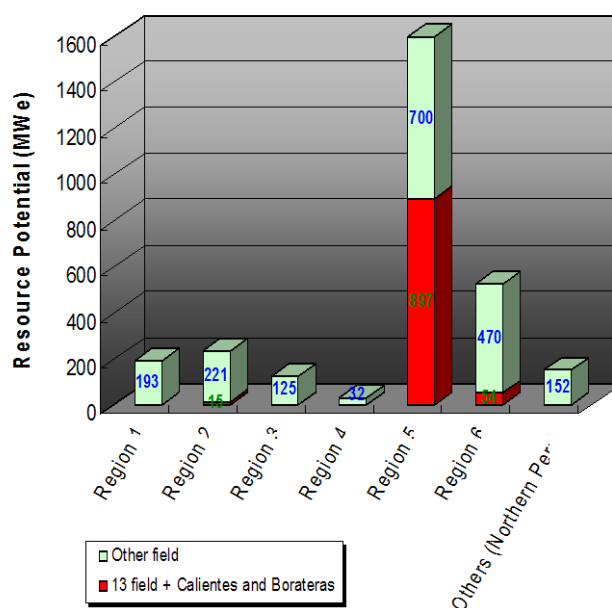


図 III-1. 1. 7 各リージョンの有望地点とその他の地点の地熱資源量

ペルーには有望 13 地点以外にも多くの地熱資源が賦存すると推定されたが、試算の最小単位とした各々のセクターにおける資源量は、単独での大規模な開発には充分でないものが多い。図 III-1. 1. 8 は推定された資源量に対するセクター数をヒストグラムで示したものである。同図に示されるように、ほとんどのセクターの資源量は 10 MWe 以下である。それぞれのセクターが互いに位置的に離れている場合には、それぞれのセクターごとに小規模の開発を行わなければならない。一般的には小規模の地熱発電開発は大規模開発に比べてコストが割高になる。その他の地点における地熱系の広がりや繋がりについては、現時点ではまだほとんどが不明であることから、資源量試算を精緻なものとするためには、さらなる資源調査が必要である。

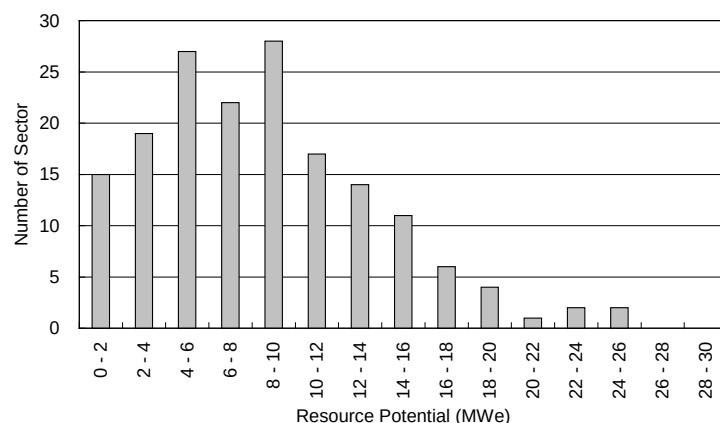


図 III-1.1.8 推定資源量ごとのセクター数分布

ペルー国における地熱資源の主な特徴の一つは、資源のポテンシャルが高い地熱地帯の多くが高標高地に存在することである。図 III-1.1.9 は、地熱地点の標高ごとの地熱地点数と推定資源量に関するヒストグラムである。同図により理解できるように、82%の地熱地点と 85%の推定資源量は、標高が 2,500～5,000m の範囲にある。また、推定資源量の総量の半分以上 (58%) は標高が 3,500～5,000m の範囲にある。

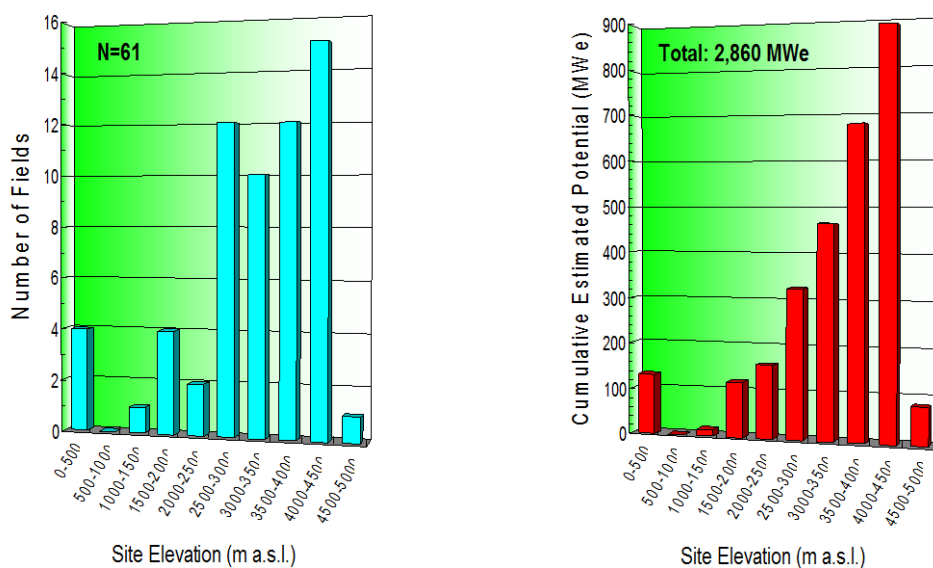


図 III-1.1.9 地熱地点の標高ごとの推定資源量分布

III -1.1.2 電源としての地熱の優位性

(1) 地熱エネルギーの優位性

一般に、地熱エネルギーは他のエネルギー源と比べて、以下のような優位性を有している。

- 環境負荷が小さい
- 安定した連続的な供給が可能
- 地域固有の資源
- 発電事業にある程度の経済性がある

- 多目的な熱利用が可能

環境負荷が小さい：地熱発電は、燃焼過程を有さない発電形態であるため、硫黄酸化物、窒素酸化物、煤塵等の大気汚染物質を排出することはない、さらに二酸化炭素の排出も極めて少ない。よって、地熱エネルギーは環境に優しく、気候変動を引き起さずに国の開発に貢献できるエネルギー源である（図 III-1.1.10）。

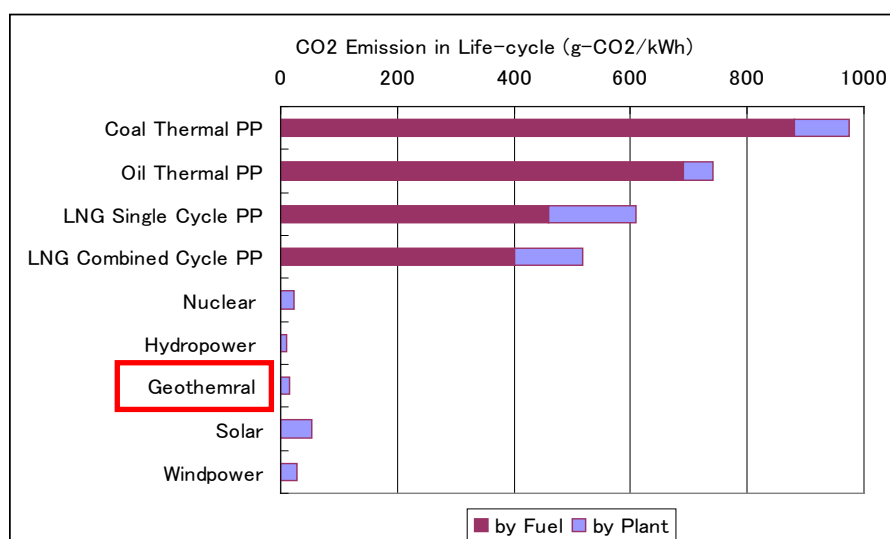


図 III-1.1.10 電源のライフサイクルにおける二酸化炭素排出量

(Source: Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan; CRIEPI Review No.45, 2001 Nov.)

安定した連続的な供給が可能：再生可能エネルギーの中で地熱発電を特徴付けているのは、高い設備利用率と、昼夜を問わず一年を通じて使用可能、という点であり、このことから地熱は供給信頼性の高いエネルギー源となっている（図 III-1.1.11）。

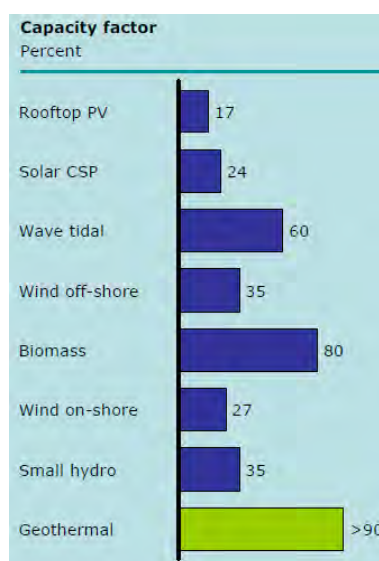


図 III-1.1.11 各再生可能エネルギー電源の設備利用率 (Bertani, 2009)

地域固有の資源：地熱エネルギーは純粋に国産エネルギーである。化石燃料を有さない国は、地熱エネルギーを利用することで、化石燃料の輸入を減らすことができる。また、化石燃料を有し、それらを輸出することのできる国でも、国内のエネルギー消費を地熱エネルギーで賄うことで、その分エネルギー輸出をさらに増加させる、あるいは将来のための備蓄とすることが可能である。

発電事業にある程度の経済性がある：地熱エネルギーは開発段階において多額の初期資本投資を必要とするが、反面運転段階においては燃料費などを使用しないため、長期的に見た発電コストは太陽光発電のように高くはならず（図 III-1.1.12）、また国際石油価格の変動や自国通貨の為替相場の変動の影響を受けない。その結果、地熱エネルギーは安定した価格での供給が可能であり、その利用は国の収支バランスの安定に寄与する。

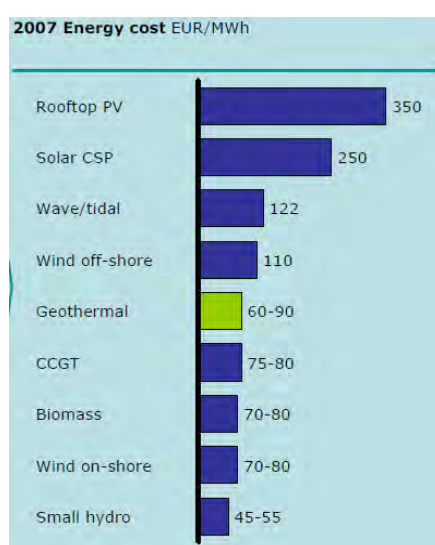


図 III-1.1.12 各再生可能エネルギーによる発電コスト（Bertani, 2009）

多目的な熱利用が可能：熱水源から、あるいは地熱発電の副産物として生じる熱水は、農業、養殖、地域産業のための熱エネルギーとして有効利用が可能である。特に寒冷地域で有用であるが、温暖地域においても穀物や木材の乾燥などに利用可能である。地熱発電により発生する蒸気は、冷却処理をすることで農業や牧畜、飲料用として利用することができる。地熱は、エネルギー開発と地域振興を一体化させることが可能なエネルギー資源である。

地熱エネルギーと他の再生可能エネルギーの比較表を表 III-1.1.2 に示す。地熱エネルギーの開発は、上記5項目の優位性以外にも、開発地域の地域経済にも貢献できる利点がある。

表 III-1.1.2 地熱エネルギーと他の再生可能エネルギーの比較

電源	環境負荷	安定供給	国産・地域固有	経済性	多目的利用
地熱	○	○	○	○	○
水力	－	－	○	○	○
風力	○	－	○	○	－
太陽光・太陽熱	○	－	○	○	－
バイオマス	－	－	○	○	－

(2) ペルーにおける地熱エネルギー

ペルーにおいては、特に以下の事項から地熱エネルギーの開発が望まれる。

- エネルギー需要の拡大に対する対策として、多様な電源の開発が必要であるが、安定的な電源となりえる地熱エネルギーは、再生可能エネルギーの中でも有望な電源として期待される。図 III-1.1.13 にはこれまでペルーの再生可能エネルギー発電事業の入札において応札されたプロジェクトの発電所利用率を示すが、利用率が80%以上であるのは小規模水力とバイオマスの一部だけである。地熱発電の場合、一般的には80～95%の利用率が期待できる。

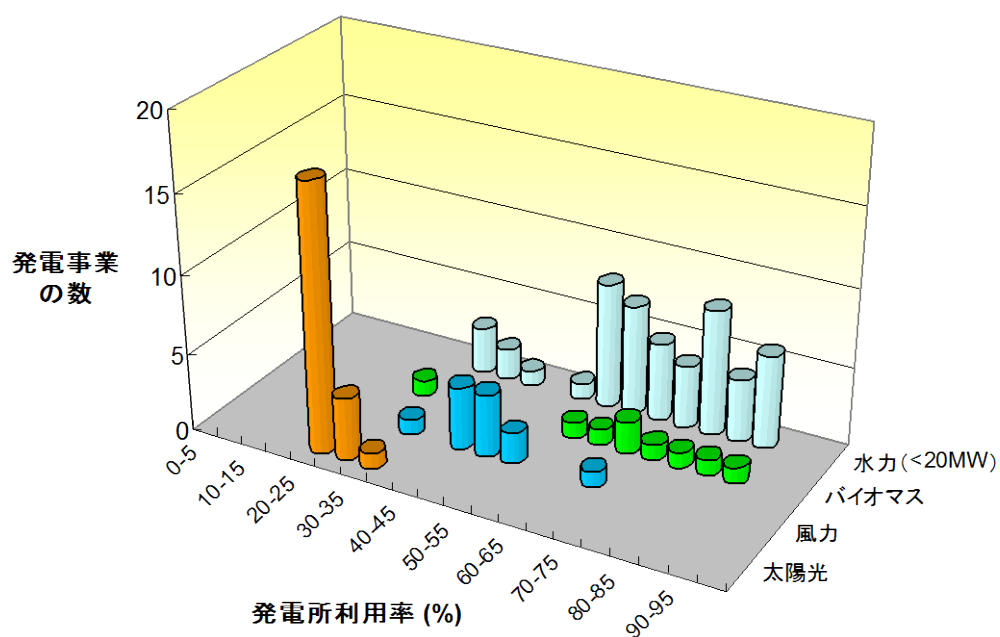


図 III-1.1.13 これまでペルーで応札された再生可能エネルギー発電事業の設備利用率

- 現在、ペルー国内では天然ガス火力発電が低コストで行われ、その電力供給量は増大している。また、天然ガスは発電以外にも需要がある商品であり、国内消費量は急増の傾向にある。仮に地熱発電が実現したとすると、その分の天然ガスは節約され、それは国内の発電以外の需要、例えば都市ガス需要に振り向けることも可能である。また、天然ガスは国際商品でもある。液化天然ガスとして国際市場に供給し、そこから貴重な外貨を稼ぎ出すことも可能である。
- ペルーにおいて近年に電力供給量が増大している天然ガス火力発電に比べると、地熱発電による CO₂ 排出量は非常に少ない（図 III-1.1.10 参照）。火力発電の代替としての地熱発電を実現できれば、CO₂ 排出量抑制に大きく貢献できると考えられる。
- ペルーにおいて地熱資源が豊富な地域は南部であるが、ペルー南部は乾燥地帯が多く、水力資源は比較的小さい。また、南部では、太陽光資源はやや豊富であるが、風力資源は山岳部の一部以外は乏しい状況にある（図 III-1.1.14）。

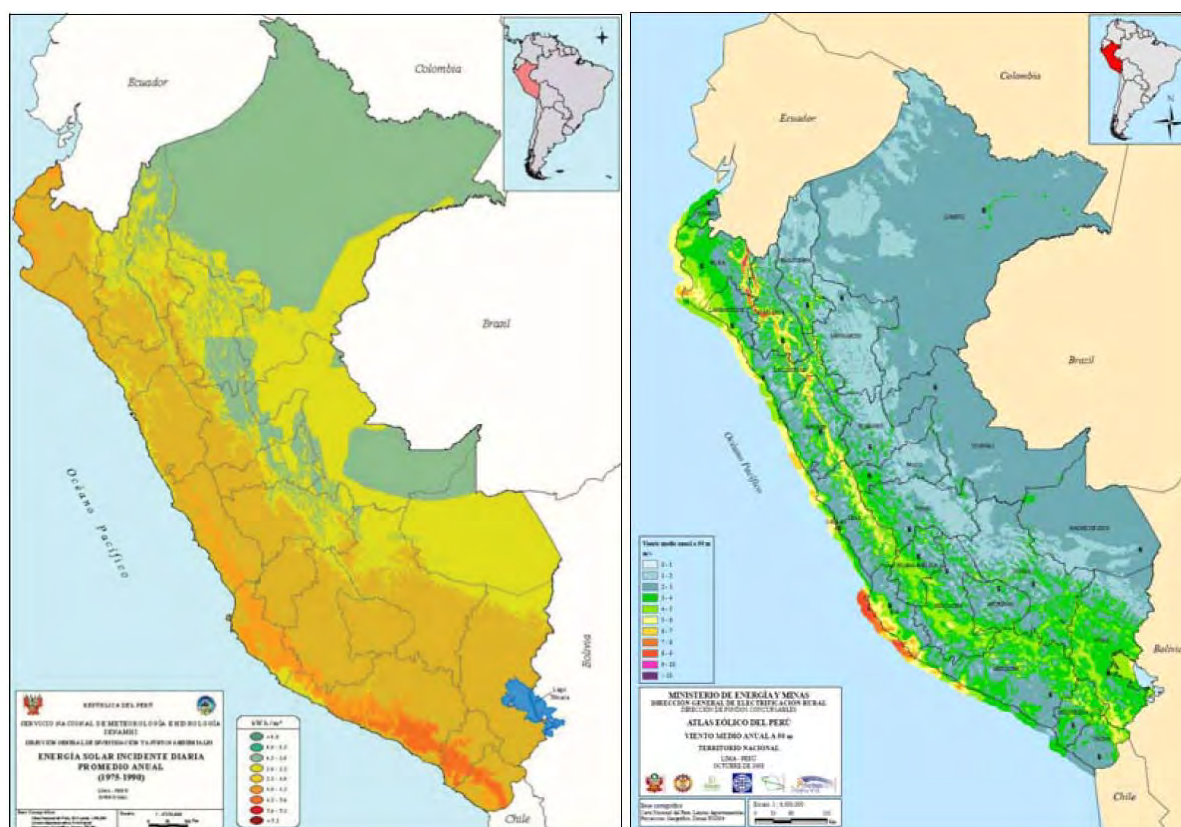
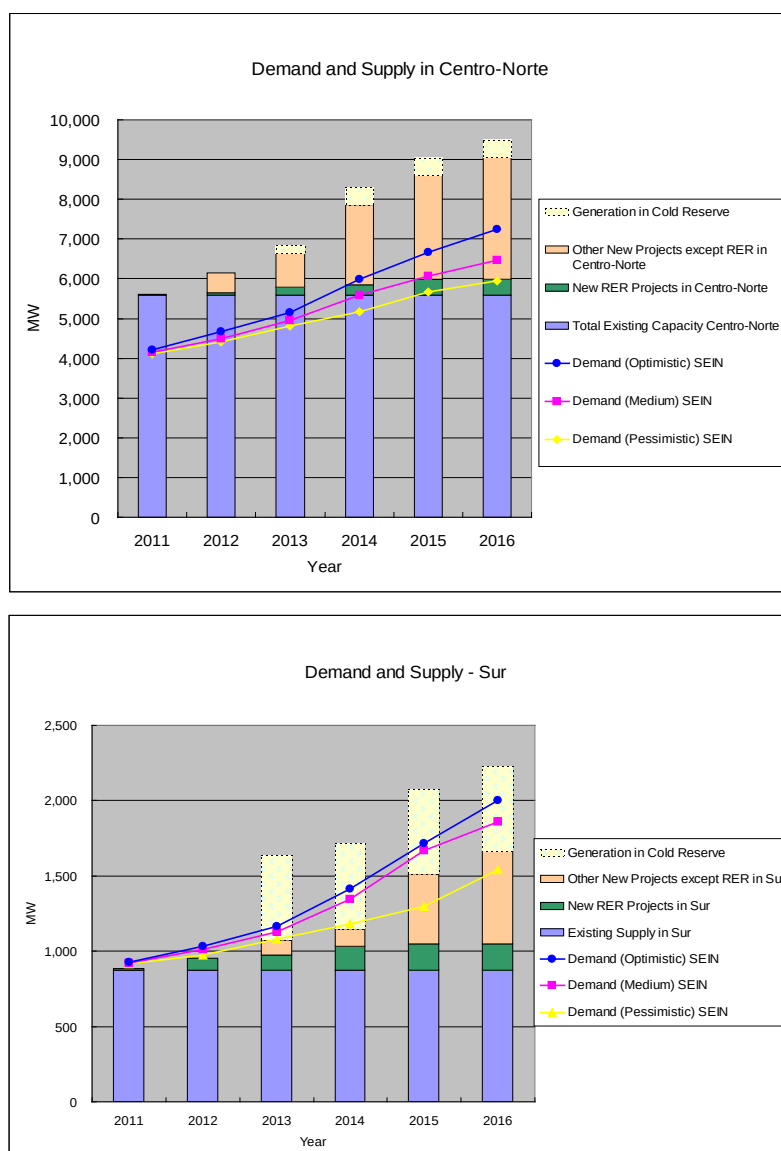


図 III-1.1.14 ペルーでの太陽光（左）と風力（右）の資源分布図（MEM, 2009）

- 南部と南部以外の地域（中北部）についてそれぞれの 2016 年までの電力需給バランスを図 III-1.1.15 に示す。中北部においては、楽観的（optimistic）な予想での需要に対しても十分に供給できるが、南部においては悲観的（pessimistic）な予想の需要を除いては、供給の余裕は“コールドスタンバイユニット（Reserva Fria）”（最も運転する優先度が低いユニット）しかなく、中部地域から安価な電力が送電される可能性

が高い。したがって、地熱資源が豊富な南部地域での地熱発電は、Aurimac、Cusco、Arequipa、Puno、Moquegua、Tacna の各州にわたる電力グリッドの南部系統（Zona Sur：図 II-1.1.24）での安定した電力供給を可能とし、接続されている中央系統からの潮流も減り、送電損失の減少や電力系統安定度の向上に寄与する結果となる。



(出典；MEM データおよび COES Website)

図 III-1.1.15 需給バランス（～2016 年）

- ペルーにおいて特に地熱資源が豊富であるのは、高標高地の寒冷地であり、地熱開発によって暖房を含む多目的な熱利用が期待できる。

III -1. 1. 3 ペルーでの地熱発電開発による便益の定量的評価

(1) 地熱発電事業の経済性評価

本調査では、選定された有望地点における地熱開発計画に基づき、地熱発電事業の経済性検討を行った。地熱発電事業の経済性検討の対象は、本調査で選定した有望地点 13 点と、既に詳細な調査が行われた Calientes および Borateras を含めた 15 地点とした。経済性検討においては、発電事業の内部収益率 (FIRR) が 12% となるために必要な売電価格 (30 年間平均売電価格) の試算を行った。その結果、最も経済性が高い地点 (Field-A) での発電事業では、10.5 UScent/kWh で売電できれば FIRR 12% が得られると試算された。

(2) 代替電源との比較 (天然ガス代替の便益)

ここでは、上述した 15 地点の地熱発電の競争力を各代替電源と比較した。比較対象は、①天然ガス火力発電 (コンバインドサイクル発電)、②石炭火力発電、③ディーゼル発電とした。

まず、各代替電源の仕様を表 III-1. 1. 3 の通り想定した。また、燃料の将来見通しに関しては、IEA の“World Energy Outlook 2010”を参考として、表 III-1. 1. 4 のように想定した。すなわち、経済性評価の対象期間中において、原油価格は 120 USD/bbl、石炭価格は 110 USD/ton、天然ガス価格は 12 USD/MMBTU で一定で推移するものと想定した。なお、現在、ペルー国内での発電用天然ガス価格は 1.58 USD/MMBTU で取り引きされている。しかし、これは国内価格であり、国際商品である天然ガスは国際価格で評価することが必要である。IEA によると 2015 年-2035 年の LNG 価格は、アジア地域で 12-17 USD/MMBTU 程度、北米地域で 7-11 USD/MMBTU 程度、欧州地域では 11-14 USD/MMBTU 程度で推移するものと見通されている。したがって、ここでは 3 地域の平均である 12 USD/MMBTU を前提とし、感度分析として 3~15 USD/MMBTU も評価した。

表 III-1. 1. 3 代替火力発電所の仕様

Plant Type	Natural Gas-fired (Combined-Cycle)	Coal-fired Plant	Diesel Plant
Fuel	Natural Gas	Coal	Heavy Oil
Capacity	300 MW	300 MW	50 MW
Construction Cost (w/o IDC)	1,200 USD/kW	1,600 USD/kW	1,000 USD/kW
Construction Period	3 years	4 years	3 years
Plant Efficiency	45%	38%	38%
In-house use	3.5%	7%	4%
Capacity Factor	82.8%	85.9%	83.2%
O&M Costs	0.5 UScent/kWh	0.65 UScent/kWh	0.5 UScent/kWh
Fuel Price	12 USD/MMBTU	110 USD/ton	120 USD/bbl
Heat Value of Fuel	9,140 kcal/m ³	6,000 kcal/kg	9,800 kcal/L
Operation Period	30 years	30 years	30 years

表 III-1.1.4 IEA によるエネルギー価格見通し（2009 年価格）

Energy	Unit	Current Policies Case					
		2009	2015	2020	2025	2030	2035
Natural Gas							
United States	USD/MMBTU	4.1	7.0	8.2	9.3	10.4	11.2
Europe	USD/MMBTU	7.4	10.7	12.1	12.9	13.9	14.4
Japan	USD/MMBTU	9.4	12.4	13.9	14.9	15.9	16.5
Crude Oil	USD/bbl	60.4	94.0	110.0	120.0	130.0	135.0
Steam Coal	USD/ton	97.3	97.8	105.8	109.5	112.5	115.0

(Source) IEA, “World Energy Outlook 2010”

この前提に基づき、地熱発電の経済性を代替火力発電と比較した。比較方法は、プロジェクトの社会経済的評価（EIRR）を試算する方法により、各地点の EIRR が資金の社会的コストである 12%を超える地点を、代替火力発電に対して優位性があると評価した。

以上の結果によれば、

- 天然ガス発電に対する競争力はガス価格に依存する。ガス価格が 10～15 USD/MMBTU であるなら、地熱発電は地点により競争力がある。
- 石炭発電に対してはどの地点も競争力に劣る。これは石炭価格が比較的安価であるためである。ただし、石炭火力発電は CO₂ 排出量が大きいため、地球環境対策上、留意が必要である。
- ディーゼル発電に対しては、地熱発電はかなりの地点で競争力を有する。これは遠隔地での独立系統の電源として、地熱がディーゼルに代替できる可能性を示している。

ここでは、天然ガスは国際商品であることから、その価格を国際価格で評価して天然ガス発電を実施した場合と地熱発電を実施した場合とのコスト差が、社会が得る便益と考えた。天然ガス火力発電に変えてField-Aにおいて地熱発電を行った場合の便益計算によると、30 年間の地熱発電を行うことで社会は 2,281 M-USD のコスト差を享受できる。これは社会的割引率 12%で現在価値に換算すると 151 M-USDであり、この期間に地熱発電が供給する電力量で割ると 1 kWh当たり 3.53 UScentと評価される¹。

(3) 税収の増大

地熱発電は火力発電に比較して発電コストに占める初期投資の割合が極めて大きく、また、開発のリードタイムが長いという特徴を持つが、これは地熱発電事業における税金額にも大きく影響している。図 III-1.1.16 に地熱発電と天然ガス火力発電（NGCC）の売電価格の構成を示す。地熱発電はField-A の例で、天然ガス火力発電の場合はガス価格 12USD/MMBTU の場合を示す。これによると、地熱発電の売電価格 10.5 UScent/kWh のうち税およびロイヤルティが 1.6 UScent/kWh（15.2%）を占めているのに対し、天然ガス火力発電は売電価格 12.9 UScent/kWh のうち税は 0.5 UScent/kWh（3.9%）しか占めないことが分かる。両者の間には 1.1 UScent/kWh の税額差が生じている。

¹ ここでは電力量も 12%で現在価値換算している。

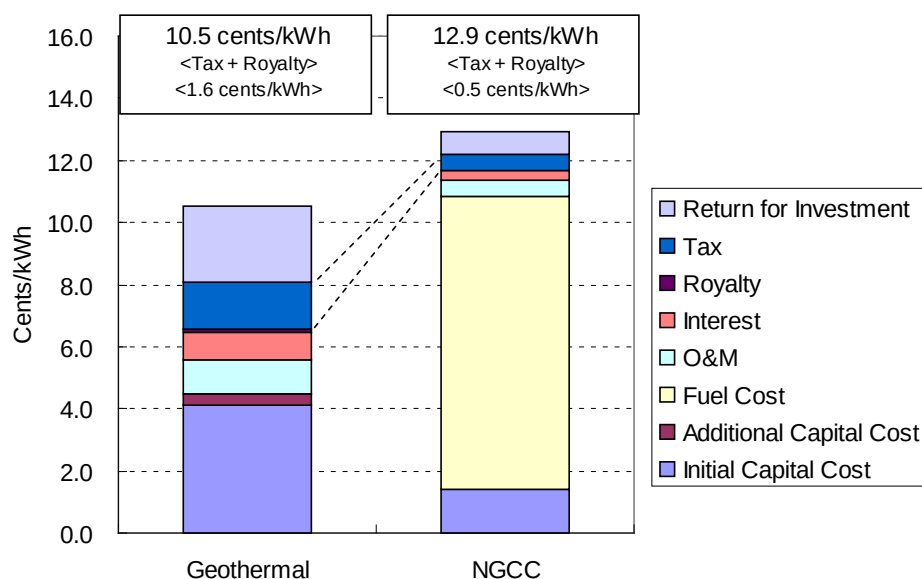


図 III-1.1.16 地熱発電と天然ガス火力発電の売電価格構成比較

天然ガス火力発電の場合、発電コストにおいて燃料費がかなりの割合をもつが、燃料費は費用として売上総利益から控除でき、課税されない。これに対し、地熱発電では燃料費が不要な分を初期投資という形に変えて発電するが、この初期投資の投資リターンは税務処理上、利益とみなされ課税されるため、火力発電と同様の課税方式の場合は税金の割合が増えることとなる。この点に関し、California Energy Commission (1996) も、地熱発電からの税額は代替火力からの税額の 2.8 倍になり、両者間に税負担の不公平性があると報告している。

天然ガス火力発電に比べて地熱発電からの税収が大きくなるということは、政府にとっては地熱開発の便益の 1 つとなり得る。したがって、政府はこの税収増を他の用途の財政支出に用いることも可能であるが、税収増を得る代わりに地熱発電の税率を低減することや、得られた税収を他の地熱発電推進策に回すことが望まれる。

政府の地熱推進策にはそれなりのコストがかかるが、仮に推進策のコストが小さく済みこの税収増の範囲内であれば、政府自身の正味便益はプラスである。また、仮に推進策のコストが税収効果を超え政府自身の正味便益はマイナスになったとしても、地熱発電の実現により社会全体としては天然ガス代替効果や環境改善効果による大きな便益を享受できることを考慮すべきである。

III -1.1.4 地熱発電開発量の目標

前項までに述べたように、ペルー全国での地熱資源は、本調査の結果によれば、概算ではあるが 61 地点で総計 2,860MW と試算される。また、後述するように、本調査で有望と評価された 13 地点での地熱開発では、合計 735MW の開発が可能と考えられる。このような資源量試算や開発計画の検討の結果、ペルーの地熱資源が豊富であることが改めて確認された。また、前述のように、ペルーにおける地熱発電開発は、天然ガス代替効果を始めとし、国全体としての大きな便益を得られることから、再生可能な自然エネルギー資源として地熱の有効利用が期待される。

世界的に見ても地熱発電の成長は期待されている。国際エネルギー機構（IEA）が 2011 年に発表した地熱発電による電力供給量の展望では、今後長期に世界的な開発の伸びが予想されている（図 III-1.1.17）。

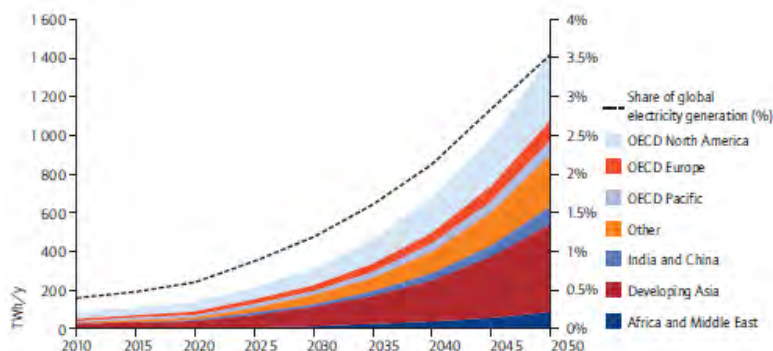


図 III-1.1.17 世界の地熱発電による電力供給量の展望（IEA，2011）

ペルーにおける地熱を含めた再生可能エネルギー発電の開発目標量としては、「再生可能エネルギー国家計画」がまだ策定・公表されていないこともあり、具体的な数値目標は提示されていない。ただし、再生可能エネルギー発電事業推進法により、固定価格での電力購入が保証されている範囲は現時点で総電力消費量の 5%（水力・小水力を除く）とされており、これが実質的な目標量となっているとみなされる。しかし、これまでの再生可能エネルギー発電事業の入札の結果から、再生可能エネルギー電源による発電量の目標が総電力の 5% のままでは、地熱以外の電源によりほとんどの需要が満たされてしまうことが予想される（図 III-1.1.18）。したがって、再生可能エネルギーでの発電目標量については、今後その目標を増大させることが望まれる。

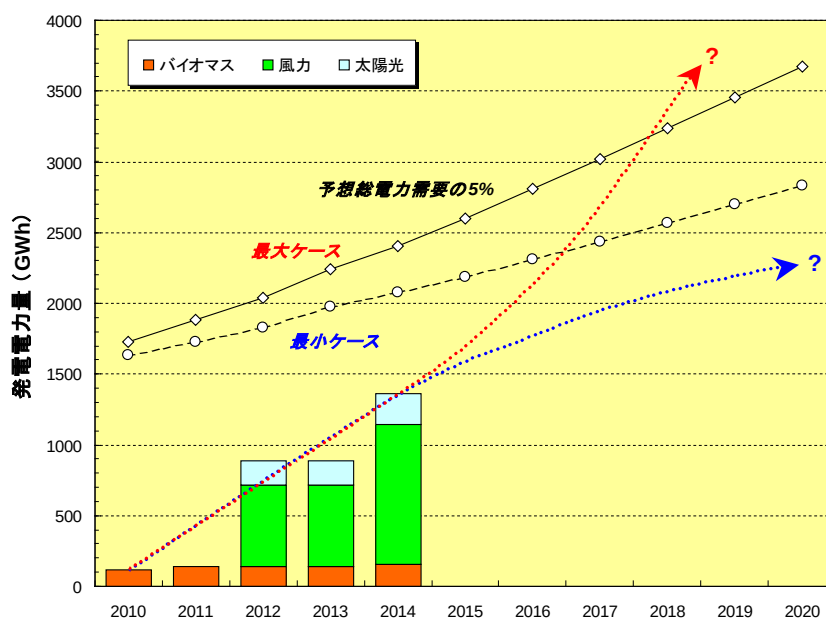


図 III-1.1.18 地熱以外の再生可能エネルギーによる発電量の予想

目標とする発電量の総電力に対する割合として 10%までの増大が望まれる。再生可能エネルギー発電事業の入札における対象発電量は 5 年ごとに見直されることとなっており、次回は 2014 年の見直しが予定されていることから、その時点での見直しが期待される。なお、隣国チリにおいても非在来型の再生可能エネルギーによる発電量の目標が、2024 年までに総電力の 10%とされている。

再生可能エネルギー発電電力量（水力・小水力を除く）のうちの地熱の割合としては 50%とすることが望まれる。すなわち、総電力量の 5%を地熱で賄うという目標である。この場合、需要の伸びを楽観的シナリオで想定し、地熱発電の設備利用率を 85%とした場合、2030 年での地熱開発目標量は約 1,000MW となる。前述のように、本調査で有望と評価された 13 地点での開発量だけで 735MW があることから、その他の地点での開発も考え合わせれば、今後約 18 年間での目標量としては、1,000MW は決して非現実的なものではない。

⇒ 地熱資源はペルー国保有の貴重なエネルギー資源として、可能な限り多くの発電・熱利用のための開発が望まれる。その開発には、資源探査から始めて比較的長期間を必要とするが、中・長期的なエネルギーミックスを目指して、2030 年までに設備容量 1,000MW の開発を目標とすることが望まれる

III -1.2 地熱発電開発の法規制・体制に関する提言

III -1.2.1 法規制

(1) 地熱資源法

これまでペルーでは、地熱資源法およびその細則が制定されており、民間による地熱開発促進のための枠組みが敷かれている。同法およびその細則のもとで、現時点で多数の探査権申請が提出されているが、探査権の付与は始まったばかりであり、今後実際に開発が進められていくかは十分注視していく必要がある。現在のところ、探査権保有者には、地熱資源法細則 62 条が定めるとおり年毎の少額の権利金の支払いが義務付けられているほか、探査を計画通りに進めなかった場合には、地熱資源法細則 17 条が定めるとおり探査のフェーズ II において差入れが求められている保証（予算額の 5%）が履行されることになっているが、少なくともフェーズ I に関しては計画どおり探査を進めなくとも探査権保有者に対するペナルティにあたる措置はない。よって、探査権保有者が現状では地熱発電を事業として成立させるのが難しいと判断すれば、権利だけ保有したまま計画通りに探査を進めないという状況が発生しうる。実際にこのような状況が発生するようであれば、探査活動が計画どおりに進められているかどうかに関する MEM の監督を強化する必要も出てくるだろう。

一方、探査権を付与された民間企業が、資源リスクの高さから実際には探査が進められないという事態が生じるようであれば、資源リスクや投資の負担を軽減するために政府関係機関や国営企業が開発に参画することが望まれる。そのような場合には、政府機関や国営会社による試掘探査や官民連携 (PPP) による発電事業の実施というオプションも検討されるべきである。

(2) 再生可能エネルギー発電事業推進法

本マスタープラン調査は、再生可能エネルギー発電事業推進法に基づく地熱発電事業の入札

を実現するよう提案するものであるが、同国における地熱開発はまだ探査の初期段階にあるため、これまでに行われた再生可能エネルギー発電の入札にはまだ地熱は含まれていない。他の再生可能エネルギー事業の場合、開発から発電所稼働開始までの期間が短いことからコンセッション取得は入札参加要件には含まれていないが、開発期間の長い地熱発電の場合、少なくとも探査段階は終了し事業権を取得していることを入札参加の要件とするなどの工夫が必要である。

また、現在の再生可能エネルギー発電の入札においては、各事業者は SEIN へのアクセスポイントまでの送電線建設費用を含めた価格で入札すると法律で定められているが、設備容量が大きく資源的にも同国南部に集中する地熱発電については、各事業ごとに送電線を建設するのは技術的にも経済的にも現実的ではない。よって送電線の扱いについては別途考慮されるべきで、再生可能エネルギー発電事業推進法においても、地熱発電事業のベース価格・入札価格の設定にあたっての特別な措置が明記される必要がある。

また、同法 11 条によると同法発効から 1 年以内に国が「再生可能エネルギー国家計画」を策定することとなっている。しかしながら現時点において同計画はまだ策定されていない。国の最適な電源ミックスを実現するためにも同計画の策定は不可欠であることは言うまでもないが、将来的には同計画に基づき再生可能エネルギー入札の電源構成も考慮されることとなるため、同計画に本マスタープラン調査結果が反映されることが非常に重要である。

⇒ 現状での法規制に大きな問題は無いが、まずは政策としての地熱開発推進の方針を明らかにし、民間企業だけでの開発が進まない場合には、必要に応じて地熱資源法・再生可能エネルギー発電事業推進法の見直しを行うことが望まれる。見直しの中では、地熱開発の探査段階や発電事業化段階で、政府関係機関や国営企業が直接に参画できるようにして、資源リスクや投資の負担を軽減することが考えられる。

III -1.2.2 体制・組織

ペルーにおける電気事業は、基本的に民間事業者を主体として展開して行く事が予想される。地熱開発に関しても、基本的にその枠組みの中において進めて行かれる事になると考えられる。その様な展開を辿るとしても、DGE を中心とする IPP の政策企画や監督に関わる政府関係機関は、地熱コンセッションの条件・区画の設定や FIT 制度における地熱電力の適切な価格設定、事業者の探査、開発および発電所運用段階における監督や指導など、地熱資源開発に関する多岐に渡る技術的知見や地熱事業の経済性評価など当該事業の特殊な要件を理解できる必要があり、これらの専門家を養成していく必要がある。これについては単発で海外研修に人材を派遣するのみでは不十分であり、プロジェクトの実践による経験を重ねる必要がある。この様な監督機関における地熱技術への知見が豊富になることにより、ペルー国の重要な資産である資源の開発・利用に対する監理を適確に実施できることが期待される。

また、各関係政府機関においては、これまでも地熱委員会を設置することなどにより相互の情報交換や連携を図ることが試みられているが、実質的な地熱開発推進のためには、さらなる相互の関係やネットワークの強化が必要と考えられる。さらに、本プロジェクトにおいて提言され

た地熱開発マスタープランを推進・実現していくためには、地熱開発データベースを有効に活用することやその更新を着実に行う必要があることから、データベース運用の体制を確立することが望まれる。

しかし、このような将来展望を語る以前の問題として、発電設備に加えて蒸気井や還元井などの掘削費用や蒸気・熱水配管などの費用など初期投資が大きな地熱開発においては、専門的知識を必要とし、資源リスクが大きな事や、リスク低減の為に調査などで長い開発期間を要するなど、民間企業が取り組むには基本的にハードルが高い。このために投資意欲の促進を目的とした過大の投資回収率を提供したりしても、実際のプロジェクトの実現に至るには困難なものがある。

この様な状況において、これまでに地熱発電の大量導入を実現した開発途上国は、少なくとも当初の段階において、資源リスクに対応するためや、先進国や国際機関からの支援を受けるために、公的機関による開発体制を採用している（表 III-1.2.1 参照）。これらの国々においても最初の地熱発電導入の際には、資源の品質確認やそのためのキャパシティービルディングなどを含めて様々な課題に直面しており、運転開始後も決してスムーズな経緯を辿ってはいない。ある意味で民間事業だけによる地熱開発の困難さを示しており、公的機関の関与が必要な証左でもあるとも言える。この場合、ペルーにおける地熱開発に当たる公的機関としては、地熱資源開発については長年の経験を有する INGEMMET と石油・天然ガス開発での技術を有する PeruPetroなどを、また発電設備については過去に地熱開発に従事した経験を有する Electroperú 等の国営企業が、Universidad Nacional de Ingenieria などの協力を得て、関与・参画することが望まれる。

表 III-1.2.1 国営（公営）企業体による地熱資源の開発・運用体制

国名	蒸気開発・供給	プラント事業	プロジェクト例・補足
インドネシア	PGE (PERTAMINA Geothermal Energy)	PLN	Kamojang : 200MW, Lahendong : 60MW ただし Kamojang4 号機は PGE が蒸気開発およびプラント建設・運用も実施
フィリピン	PNOC-EDC (Philippines National Oil Company-Energy Development Company)	NAPCOR	Bac-Man : 150MW, Mindanao : 106MW Northern Negros : 49MW Southern Negros : 192.5MW Leyte : 700.9MW PNOC-EDC は 2007 年に民間に売却 NPC は 2001 年の電力セクター改革法を受けて 発送電分離後、民間売却を進めている。
トルコ	MTA (General Directorate of Mineral Research & Exploration)	TEAS (Turkey's Electricity Generating & Transmission Corporation)	Kizildere : 20MW Kizildere 発電所は後に民間に売却。現在は完全に IPP 市場化している。特に近年、地熱 IPP の活動が非常に活発化している。 ただし MTA は探査業務の委託や鉱業権入札に係る事業を実施しており依然大きな影響力を有している
メキシコ	CFE (La Comisión Federal de Electricidad)	CFE	CerroPrieto: 720MW LosAzufres: 188MW LosHumeros: 35MW LasTresVirogenes: 10MW

コスタリカ	ICE (Corporativo del Instituto Costarricense de Electricidad)	ICE	Miravalles : 133MW Las Pailas : 35MW 発電事業は総量の 8 割、送配電は 100% を占める電力公社
エルサルバドル	La Geo	La Geo	Berlin : 100MW, Ahuachapan : 95MW Berlin III 開発の際にイタリアの ENEL 社が La Geo の 20% の株式を取得
ケニア	KENGEN	KENGEN	Olkaria I,II および IV : 127MW 地熱の優先開発政策により急速に拡大。蒸気開発・供給事業を担う国営企業として GDC を新たに設立、アップストリームは国で、ダウンストリームは IPP による分業体制を模索中。一方、KENGEN は、2006 年に IPO を実施し徐々に民営化に移行中。

公的機関による地熱プロジェクトが成功を収め、ペルー特有の条件（例えば高標高に起因する影響：低大気圧、低温等）に対する知見を蓄積し、さらに関連技術に関する専門家が養成されることで、民間 IPP に対する適確な監督・指導および開発政策を実践していくことも可能となることが期待される。

⇒ DGE・INGEMMET 等の政府機関における地熱開発推進のための組織確立・キャパシティービルディングを進めるとともに、地熱開発に直接参画することが望まれる ElectroPeru 等の国営企業における地熱関連部門の設立を含めた体制造りが望まれる。

III -1.3 地熱発電開発への援助・支援に関する提言

III -1.3.1 固定価格買取制度（FIT 制度）

ペルーでの現行の法制度では、入札を経て選定された発電事業に対する電力固定価格買取制度（Feed in Tariff : FIT）により民間企業へのインセンティブを与え、地熱を含む再生可能エネルギー電源の開発を推進する政策が取られている。この制度の下では、ある程度の高いベース価格を政府が設定しなければ、発電事業者へのインセンティブとはならない。

他国における地熱発電を対象とする FIT 制度では、図 III-1.3.1 に示すように、多くの場合は 10 UScent/kWh 前後であるが、15 UScent/kWh 以上の価格を設定している国もある。

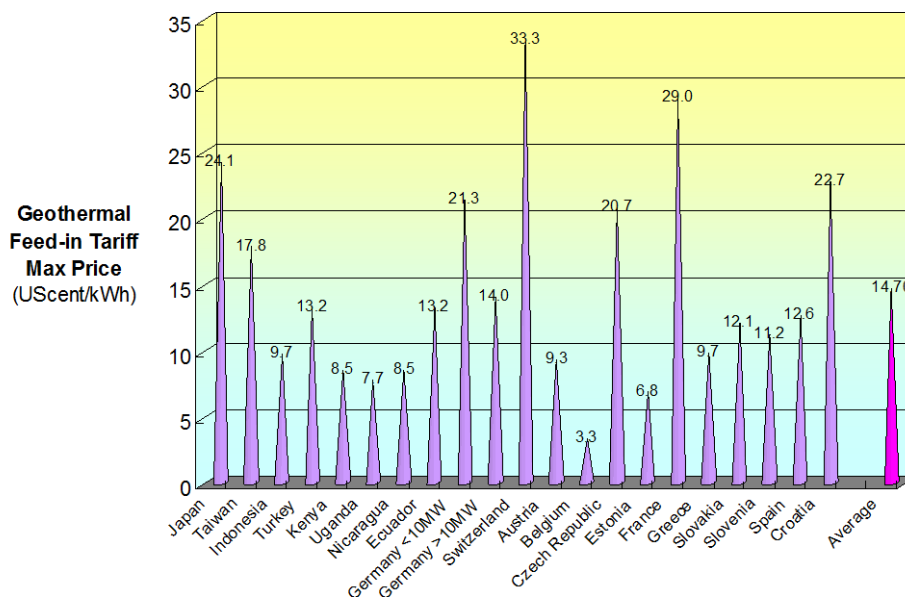


図 III-1.3.1 世界各国の FIT 制度における地熱電力買取価格（最高額）

しかしながら、FIT 制度での補助（固定価格と市場価格との差を補填するプレミアム）のための費用は、電力消費者からの電気料金により負担されるため、買取価格を高くすればするほど消費者の負担が増大する。したがって、消費者の直接負担を大きくしないためには、現行の FIT 制度以外の援助も取り入れた地熱開発支援を行うことが望まれる。

⇒ 民間誘導による FIT 制度での地熱開発推進では、可能な限り高めの固定買取価格を設定することが望ましいが、消費者が負担する電気料金への影響が大きくなり過ぎることが予想される。それを避けるためには、その他の援助・支援を講ずることが望まれる。

III -1.3.2 金融・税制・財政支援

(1) 金融支援（建設費への低利融資）

地熱発電は火力発電に比較して初期投資額が極めて大きく、また、開発のリードタイムが長いという特徴を持つ。このため、初期投資資金の金利が売電価格に大きく影響するという性質を持っている。このことから地熱開発への金融支援は大きな効果がある。

前述した地熱の有望地点に関する経済評価に当たっては、前提条件として建設費の 70% に対し、金利 4.5%、据置期間 3 年、返済期間 12 年（融資期間 15 年）との条件で行った。この条件で Field-A の売電価格は 10.5 UScent/kWh と試算されたが、ここで金利を 1.0% まで下げた場合、また、据置期間 3 年、返済期間 17 年（融資期間 20 年）とした場合の各売電価格を試算した（表 III-1.3.1 および図 III-1.3.2）。

表 III-1.3.1 建設費低利融資の売電価格低減効果

Case	Steam Dev. Section		Power Plant Section		Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
	Interest Rate (%)	Loan Period (yrs)	Interest Rate (%)	Loan Period (yrs)				
Base Case	4.5%	12	4.5%	12	3,940	10.5	-	-
IPP-1	4.0%	12	4.0%	12	3,920	10.3	▲ 0.2	0.14
IPP-2	3.5%	12	3.5%	12	3,900	10.1	▲ 0.4	0.28
IPP-3	3.0%	12	3.0%	12	3,880	9.9	▲ 0.6	0.41
IPP-4	2.5%	12	2.5%	12	3,860	9.7	▲ 0.8	0.54
IPP-5	2.0%	12	2.0%	12	3,840	9.5	▲ 1.0	0.68
IPP-6	1.5%	12	1.5%	12	3,820	9.3	▲ 1.2	0.80
IPP-7	1.0%	12	1.0%	12	3,800	9.1	▲ 1.4	0.93
IPP-8	4.5%	17	4.5%	17	3,940	10.5	▲ 0.0	▲ 0.17
IPP-9	4.0%	17	4.0%	17	3,920	10.3	▲ 0.3	▲ 0.01
IPP-10	3.5%	17	3.5%	17	3,900	10.1	▲ 0.5	0.15
IPP-11	3.0%	17	3.0%	17	3,880	9.9	▲ 0.7	0.30
IPP-12	2.5%	17	2.5%	17	3,860	9.7	▲ 0.9	0.45
IPP-13	2.0%	17	2.0%	17	3,840	9.5	▲ 1.1	0.60
IPP-14	1.5%	17	1.5%	17	3,820	9.3	▲ 1.2	0.75
IPP-15	1.0%	17	1.0%	17	3,800	9.1	▲ 1.4	0.90

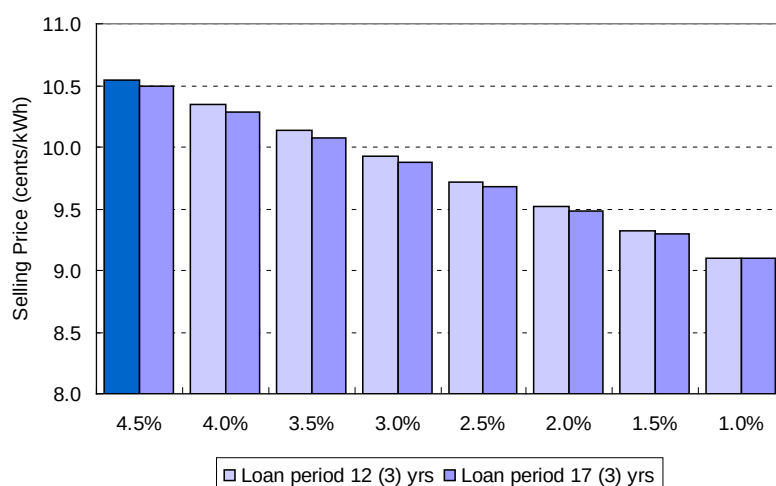


図 III-1.3.2 建設費低利融資の売電価格低減効果

この試算結果によれば、建設費への低利融資は効果が大きく、例えば、金利 2.0%の資金を提供できれば、売電価格を 1.0 UScent/kWh (▲9.7%) 低減できる。また、融資期間の長期化はそれほど顕著な効果ではないものの、若干の売電価格低減効果はみられる。

なお、金融支援の場合、事業者への金利を優遇することが金融機関側（政府側）に発生するコストと考えられる。このコストをどのように試算するかは難しい問題であるが、ここでは金利優遇のない場合に事業者が返済する金利の現在価値換算額² (A) と、優遇金利の場合に事業者が返済する金利の現在価値換算額 (B) との差 (A-B) が金融支援のコストと考え試算し、これを 30 年間の発電電力量で割って 1 kWh当たりの支援コストとした³。表III-1.3.1 には各ケースでの支援コストも示している。これによれば、返済期間 17 年で金利 2.0%とした場合（ケース IPP-13）、売電価格を 1.1 UScent/kWh (▲10.1%) 低減できるが、支援コストは 0.6

² 割引率 12%で現在価値換算した。

³ 発電電力量も割引率 12%で現在価値換算した。

UScent/kWhにとどまっている。

以上のことから、ペルーにおいて具体的に地熱発電に金融支援を行う場合、ODA 等による低利のローンを原資としてペルーの政府系金融機関（開発金融公社（Corporación Financiera de Desarrollo, S.A. : COFIDE）など）を介して民間事業者への Two Step Loan (TSL) 等のスキームを確立することを推奨する。

(2) 税制支援（優遇税制）

地熱発電は、燃料費が無く初期設備投資が大きいいため、火力発電に比較して税負担の割合が大きい。このため、優遇税制により地熱発電の税負担を軽減する方策は有力な推進策となりうる。

Field-A を例に、現行の 30%の税率に代えて各種の優遇税制を適用した場合の売電価格の低減効果を試算した。結果を表 III-1.3.2、図 III-1.3.3 に示す。これによると、まず Tax Holiday を設ける場合、5 年の Tax Holiday は効果がほとんどない。これはこの期間はほとんど赤字期間で納税額は小さいためである。Tax Holiday 10 年になると売電価格は 9.9 UScent/kWh（▲0.7 UScent/kWh、▲6.3%）になる。

表 III-1.3.2 優遇税制の売電価格低減効果

Case	Tax Rate (%)	Tax Holidays (yrs)	Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Tax (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
Base Case	30%	0	3,940	10.5	-	1.9	-
T-1	30%	5	3,940	10.5	0.0	1.6	0.00
T-2	30%	7	3,940	10.2	▲ 0.3	1.3	0.23
T-3	30%	10	3,940	9.9	▲ 0.7	1.0	0.51
T-4	30%	12	3,940	9.7	▲ 0.8	0.8	0.65
T-5	30%	15	3,940	9.5	▲ 1.0	0.6	0.80
T-6	25%	0	3,940	10.3	▲ 0.3	1.3	0.21
T-7	20%	0	3,940	10.0	▲ 0.5	1.1	0.41
T-8	15%	0	3,940	9.8	▲ 0.7	0.9	0.60
T-9	10%	0	3,940	9.6	▲ 1.0	0.6	0.77
T-10	5%	0	3,940	9.4	▲ 1.2	0.4	0.94
T-11	0%	0	3,940	9.2	▲ 1.4	0.2	1.10

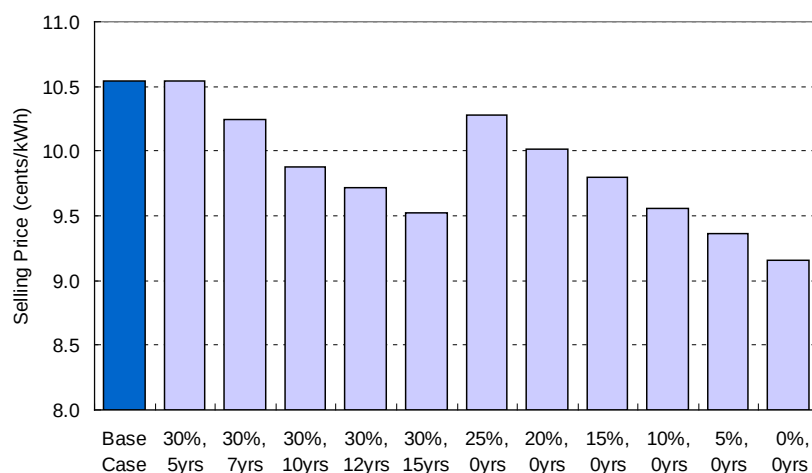


図 III-1.3.3 優遇税制の売電価格低減効果

天然ガス火力発電の場合、税額は 0.6 UScent/kWh 程度である。地熱発電も同程度の税額になるためには、現行税率を維持した場合は Tax Holiday を 15 年（ケース T-5）とするか、Tax Holiday を設けずに税率を 10% まで低減する（ケース T-9）必要がある。この場合、売電価格は 9.5 UScent/kWh（ケース T-5）～9.6 UScent/kWh（ケース T-9）と約 1 UScent/kWh の低減になる。

なお、前述の金融政策と優遇税制を組み合わせることも可能である。Field-A での地熱発電事業に関し、金融政策として建設費に金利 2.0%、据置期間 3 年、返済期間 17 年（融資期間 20 年）を適用し、優遇税制として Tax Holiday 10 年を同時適用した試算結果を表 III-1.3.3、図 III-1.3.4 に示す。これによると、売電価格は 8.9 UScent/kWh まで低下（▲1.7 UScent/kWh、▲15.7%）する。

表 III-1.3.3 金融・税制組合せ支援策の売電価格低減効果

Case	Financial Incentive		Tax Holiday (years)	Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
	Interest Rate (%)	Loan Period (yrs)					
Base Case	4.5%	12	0	3,940	10.5	-	-
Financial Incentive (r=2%)	2.0%	17	0	3,840	9.5	▲ 1.1	0.60
Tax Incentive (T.H=10yrs)	2.0%	17	10	3,840	8.9	▲ 1.7	1.08

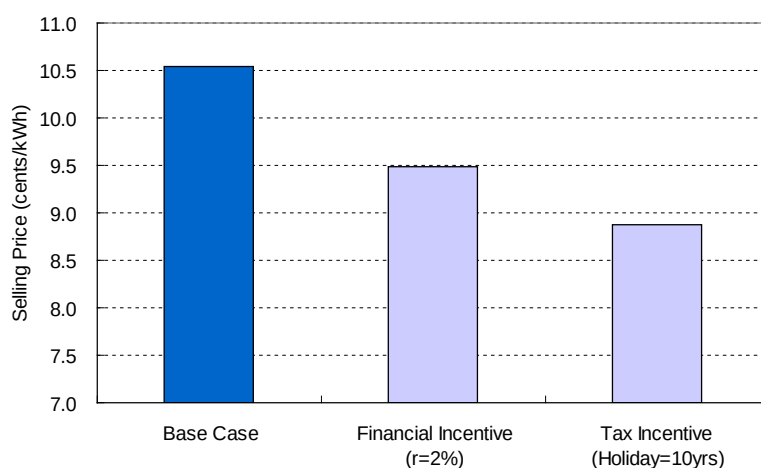


図 III-1.3.4 金融・税制組合せ支援策の売電価格低減効果

以上のことから、地熱開発推進策の一つとして、前述の金融支援に加え、10 年間程度の Tax Holiday を設ける優遇税制を検討することを推奨したい。

(3) 財政支援

財政支援とは政府の直接的な財政支出による再生可能エネルギー支援策である。すなわち、再生可能エネルギー導入を支援するため、建設費に対する補助金交付や政府自身による資源量調査など、政府が直接、財政支出を行うことで支援する政策であり、多くの国で実施されてい

る。

ペルーで地熱発電に財政支援を行う一つの例として、送電線整備を政府が実施することが考えられる。これは民間事業者がそれぞれ単独で地熱開発を行った場合、送電線が輻輳したり二重投資が発生したりして、国全体として不経済が発生するおそれがあるためである。あらかじめ有望な地熱地域に対し、民間の地熱開発計画を基に政府が送電線を整備することは国全体の不経済投資を防止すると共に、民間地熱開発の支援になることが期待される。

表 III-1.3.4 は Field-A に対し、政府が送電線整備を行った場合の効果を示す。発電所本体投資額に比較して送電線投資額が小さいため、送電線建設支援はそれほど大きな効果は得られないが、前述のとおり、国による主導的な送電線整備は重複投資を防止する観点から意義があると考えられる。ただし、現行の再生可能エネルギー発電事業推進法では、既設送電系統への接続のための送電線建設は IPP 事業者に義務付けられているため、法改正が必要と考えられる。

表 III-1.3.4 送電線整備の売電価格低減効果

Case	Land costs (M\$)	T/L costs (M\$)	Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
Base Case	0.28	9.31	3,940	10.5	-	-
Without T/L	0.0	0.0	3,870	10.4	▲ 0.2	0.10

財政支援を行ううえでさらに踏み込んだ例としては、国営企業が地熱発電事業に直接参加することである。国営企業が地熱開発に参加した場合の利点は大きく 2 つある。1 つは世銀、米州開発銀行、JICA などの金利の低い ODA 金融を活用できる点である。前述のように、低利での金融支援は比較的大きな効果が得られる。第 2 の利点は、国営企業を地熱開発に関する知識、経験の集積の場とすることができる点である。安易に外国の地熱開発事業者に依存することなく、地熱開発を国内の 1 つの組織に委ね、そこに知識、経験を蓄積していくことにより、学習効果が働き、次第に安価・効率的な開発が行えるようになる。

現在、ペルーには地熱開発を行える国営企業は存在しないが、仮に国営電力会社である Electroperú が地熱開発を行える組織になったと仮定する。この場合、Electroperú の地熱開発への参加形態として例えば以下の 2 つが考えられる。

(a) Electroperú と民間企業による共同開発

上流の蒸気開発事業を Electroperú が担当し、下流の発電事業を民間事業者が担当する Public Private Partnership (PPP) による開発方式である。

(b) Electroperú による一貫開発

Electroperú が蒸気開発から発電まで一貫して事業を行う開発方式である。

国営企業が地熱開発に参加する意義には資源リスク対策もあるが、リスク対策は定量化が困難であるため、ここでは国営企業であるため ODA 資金を使えるという利点に注目して効果を検討する。表 III-1.3.5 に示すとおり、Field-A での地熱発電事業について、(a) ElectgroPeru がソフトローン（金利 0.6%、据置期間 10 年、返済期間 30 年（融資期間 40 年））を用いて蒸気開発を行い、民間事業者が発電事業を行った場合（PPP ケース）と、(b) Electroperú がソ

フトローンを用いて蒸気開発から発電までを一貫開発した場合（All Public ケース）の売電価格を試算した。試算は、Field-A の条件を用いた。国営企業の地熱開発への直接参加の効果を図 III-1.3.5 に示す。

これによると PPP ケースでは売電価格は 9.9 UScent/kWh となり、全てを民間事業者が実施する場合に比較して 0.7 UScent/kWh（▲6.5%）の価格低減効果がみられた。また、All Public ケースでは売電価格は 8.9 UScent/kWh となり、同じく 1.6 UScent/kWh（▲15.5%）の価格低減効果がみられた。これは低金利の資金を利用した効果である。

表 III-1.3.5 国営企業が地熱開発に参加する効果

Case	Steam Dev. Section		Power Plant Section		Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
	Interest Rate (%)	Loan Period (yrs)	Interest Rate (%)	Loan Period (yrs)				
Base Case	4.5%	12	4.5%	12	3,940	10.5	-	-
PPP	0.6%	30	4.5%	12	3,870	9.9	▲ 0.7	0.42
All Public	0.6%	30	0.6%	30	3,790	8.9	▲ 1.6	0.95

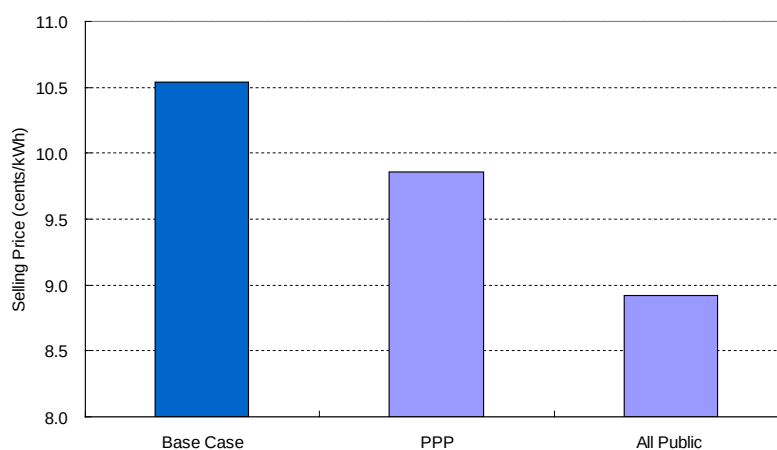


図 III-1.3.5 国営企業が地熱開発に参加することによる売電価格低減効果

国営機関と民間企業の PPP 方式による地熱開発の例としては、フィリピンの PNOC-EDC の例がある。フィリピンの PNOC-EDC は 1990 年代後半、蒸気開発を自身が行い、発電を民間事業者に行わせる方式を採用した。この場合、民間事業者には蒸気開発リスクはほとんどなくなるため、多くの企業が発電分に参加し、フィリピンの地熱開発は大きく前進した。

最後に、財政支援になるとともに資源リスクの回避に大きく寄与できる、資源探査（特に試掘探査）への政府関係機関による実施について検討した。図 III-1.3.6 に示すとおり、政府が資源探査を実施することで、民間企業にとってはリスクが低減されるほかに、(i) 探査（試掘）コストの低減、(ii) 開発リードタイムの短縮化、が図られるためである。このため、売電価格の低減にも効果がある。

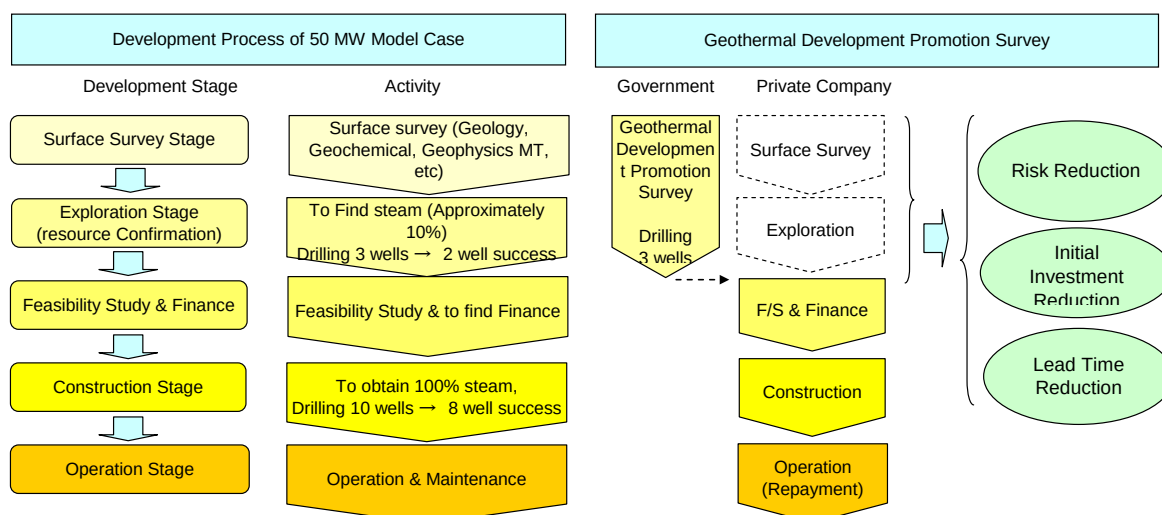


図 III-1.3.6 政府による資源探査の効果

この効果について、Field-A での事業に関し試算した結果を表 III-1.3.6 に示す。これによると、政府が地上調査と最初の調査井 3 本を掘削した場合、売電価格は 9.7 UScent/kWh となり、民間事業者が全てを実施する場合に比較して 0.8 UScent/kWh (▲7.8%) の価格低減効果がみられた。また、この場合の政策コスト（初期調査費を 30 年間の発生電力量で割った値）は 0.25 UScent/kWh と試算され、十分に小さいことも分かる。

表 III-1.3.6 政府による資源探査の効果

Case	Initial Survey Support (%)	Const. Cost (\$/kW)	Selling Price (cents/kWh)	Effect (cents/kWh)	Incentive Cost (cents/kWh)
Base Case	0%	3,940	10.5	-	-
Gov't Survey	100%	3,770	9.7	▲ 0.8	0.25

- ⇒ 地熱発電事業への支援として、民間企業のみでの開発では、Tax Holiday 等の優遇税制や、金融支援として開発金融公社 (COFIDE) などを通じたソフトローンの対外借り入れ（ツーステップローン）等のスキームを確立することが望まれる。
- ⇒ 民間だけでは地熱開発が進まないことも考慮し、国営企業も参画する PPP により ODA 資金によるソフトローン適用のスキームについても早期に検討することが推奨される。
- ⇒ 財政支援としては、政府による試掘探査の実施も望まれる。これにより、民間事業者にとっては、資源リスク、開発コスト、リードタイムが軽減される。

III -1.4 地熱発電開発での環境社会配慮に関する提言

III -1.4.1 地熱発電事業に係る環境社会配慮の実施体制および法整備の課題

(1) 環境影響評価の実施体制

ペルーではこれまでに地熱発電開発が実施されてないために、地熱開発における EIA の審査・承認を担当する DGAAE では地熱プロジェクトの EIA の経験がなく、地熱発電における EIA の知識を有する人材がない。今後は DGAAE における地熱発電プロジェクト関わる EIA の評価、審査のための人材の育成、教育が重要である。

(2) 環境影響評価制度

ペルーの電気事業に関する法律 (No. 25844) により、出力規模 20MW 以上の電力事業が EIA 実施の対象となる。また、地熱資源法 (No. 26848) で地熱資源開発においては EIA が必要であるとしているが、具体的な規定はない。地熱資源開発は発電所計画より先行されるため、地熱資源開発における EIA の対象規模、範囲やプロセス、内容および実施方法等を定めたガイドラインの作成が急務であると考えられる。

III -1.4.2 地熱発電事業に係る EIA で注意が必要な事項

過去の水力発電事業に係る EIA での問題の経験から、ペルー国での地熱発電事業における EIA 調査では、以下の事項について特に注意を図る必要があると考えられる。

(1) 注意が必要な事項

- 本調査で選定した地熱有望地点は、産業が乏しい高山地域に位置する。地域住民はプロジェクトによる雇用の増加、生活の改善に大きな期待を寄せられる。
- 地方自然保護区およびバッファゾーンや人の手が加えられてない自然地域に立地するケースがあり、地域住民や NGO 団体による自然環境への影響の懸念が想定される。
- 地熱地帯はしばしば観光ポイントになっているケースがあり、地域住民や利害関係者および観光への影響が懸念される。

(2) 対応策

- EIA 調査前、実施中、終了後のそれぞれの段階において住民に情報を公開し、真実の情報を伝えて住民の要望を取り入れる。
- 詳細な説明資料を作成し、住民にわかるようにわかるやすく説明する。
- EIA の現地調査に入る前に各種書類を準備し挨拶を行い、事前に連絡する。
- すべての必要文書の内容をチェックして、ミスが無いように準備する。
- 現地住民と良好な関係を築いて信頼を得る
- 必要に応じて現地住民を雇用する。
- 事業を最後まで実施し投機目的で事業を行わない。

III -1.4.3 Tacna 州地方自然保護区での地熱開発

有望な地熱地点が集中して存在するペルー南部の Tacna 州北部付近では、Vilacota-Maure 地方自然保護区 (Área de Conservacion Regional Vilacota Maure : ACRVM) が 2009 年に設置されている。本保護区に探査範囲が重なる地熱資源の探査権申請に関しては、これまで SERNANP による

探査権を認める評価は出されていないが、保護区内であっても十分な環境社会配慮が成されれば場所によっては地熱開発が可能なことも想定される。本項では、ACRVM 管理のために制定されたマスタープラン (Plan Maestro 2009-2014) による保護区内での環境への脅威をまとめたうえで、保護区内で地熱開発が行われる場合に予想される環境影響についての評価を行った。

III -1.4.4 温室効果ガス排出削減量試算等

本調査で選定した有望 13 地点における地熱電源開発プロジェクト（出力計 735MW）による温室効果ガス（GHG）排出の排出削減量試算について、火力発電と比較した場合の効果を見積もった。本調査において選定した有望地点での地熱発電開発（合計出力 735 MWe）では、年間 4,493,000 トン程度の CO₂ 排出量削減効果が見込まれる。

III -1.5 地熱の多目的利用に関する提言

III -1.5.1 地熱の多目的利用

地熱流体は、通常は発電目的のみに利用されるケースが多いが、資源の地表温度あるいは発電後の温度によっては、地熱流体の多目的利用が可能である。図 III-1.5.1 は、温度毎に地熱流体の可能な利用方法について示す。

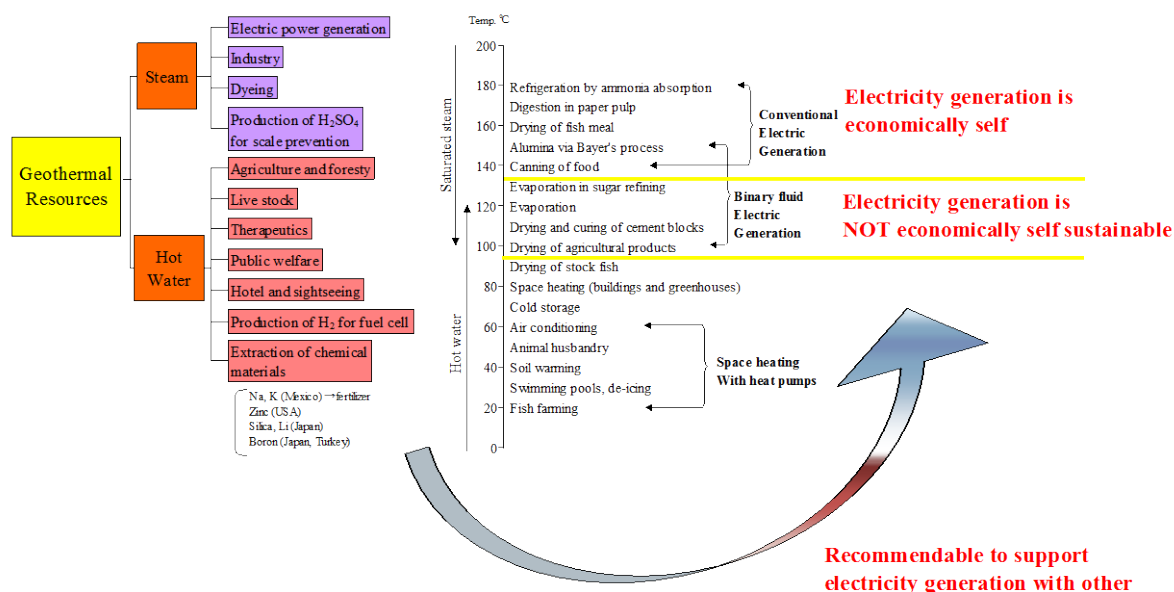


図 III-1.5.1 温度による地熱資源の適用

一般的には、地熱資源は高温より低温のものが幅広く存在し、これらは、建物の暖房や、畜産・栽培・工業プロセスなどにおいて利用されている。また、低温の資源は、地熱発電事業や高温の地熱資源を利用する工業プロセスの過程で二次的に発生するものであり、熱の連続的な利用（「カスケード利用」）を可能とするものである（図 III-1.5.2）。

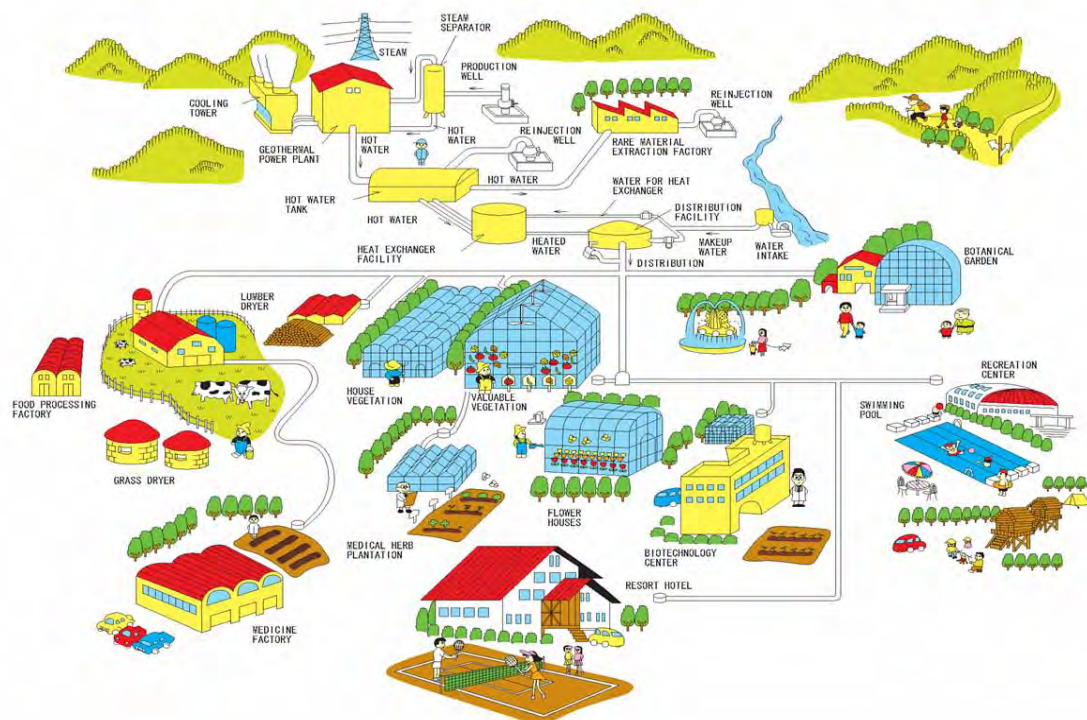


図 III-1.5.2 地熱資源のカスケード利用

III -1.5.2 ペルーの地熱地域での多目的利用

地熱の直接利用は、ペルーの場合、通常の場合とは異なりうる。ペルーでは、地熱資源の大半が、標高が非常に高く、非常に乾燥し、一日の気温差が -20°C から 20°C に及ぶ地域に存在していることから、地熱の利用は、発電などとの組み合わせによる熱流体の利用になると考えられる。既述した利用方法の中では、暖房、農業、養殖、レクリエーション、鉱物回収での利用が適している。

最適な利用方法については、それぞれの地域でどのような経済活動が行われているかによる。すなわち、その地域の土地利用の方法や、既存の産業の種類、土壌や飼育動物の種類、人口などにより異なってくる。さらに、地熱の特定目的での利用により社会経済開発がひとたび始まれば、地域のニーズの変化に応じて、他の目的での地熱利用にも広がりうる。

本調査で対象となった地熱地点に共通する産業は、南米ラクダ類（ビクーニャ、アルパカ、リヤマ、グアナコ）の飼育である。これらの動物は、野生のアルファルファやコーンサイレージを餌としている。リヤマとアルパカのみが家畜であり、グアナコとビクーニャは野生で、グアナコは絶滅危惧種である。ビクーニャは、岩や断崖に囲まれた万年雪の地域と接する山岳地帯の荒地に群れで生活していて、それらの地域には地熱地帯も含まれている。ビクーニャの毛は極度に繊細で柔らかく、織物として非常に高価である。南米ラクダ類の中で最も商業的に流通しているのがアルパカの毛である。

以上のように、発電の有望地点における地熱資源は、資源開発地域の周辺または近隣のコミュニティの社会経済開発に資するカスケード型での利用が可能である。図 III-1.5.3 は、社会経済開発のための地熱エネルギーの利用方法について、上流から下流までを纏めたものである。地熱資

源により発電された電力は、水道ポンプ、食料保存、電化、小工業への利用が可能であり、人々の健康状況の改善、教育の機会の創出、町の安全に資することにより、コミュニティの生活環境が向上する。これらは、保有する天然資源をより効率的に利用しようとする人材を育てることになり、食料の安全を確保するだけでなく、農業や畜産による一次産品を加工してコミュニティで中小規模の産業を興すために利用したり、地熱を冷却または保温に利用したりすることで一次産品を保存し、それを加工するために外の市場に送るという可能性も出てくる。これらすべてのプロセスはコミュニティにとって収入を生み出し、人々の生活レベルを向上させる。

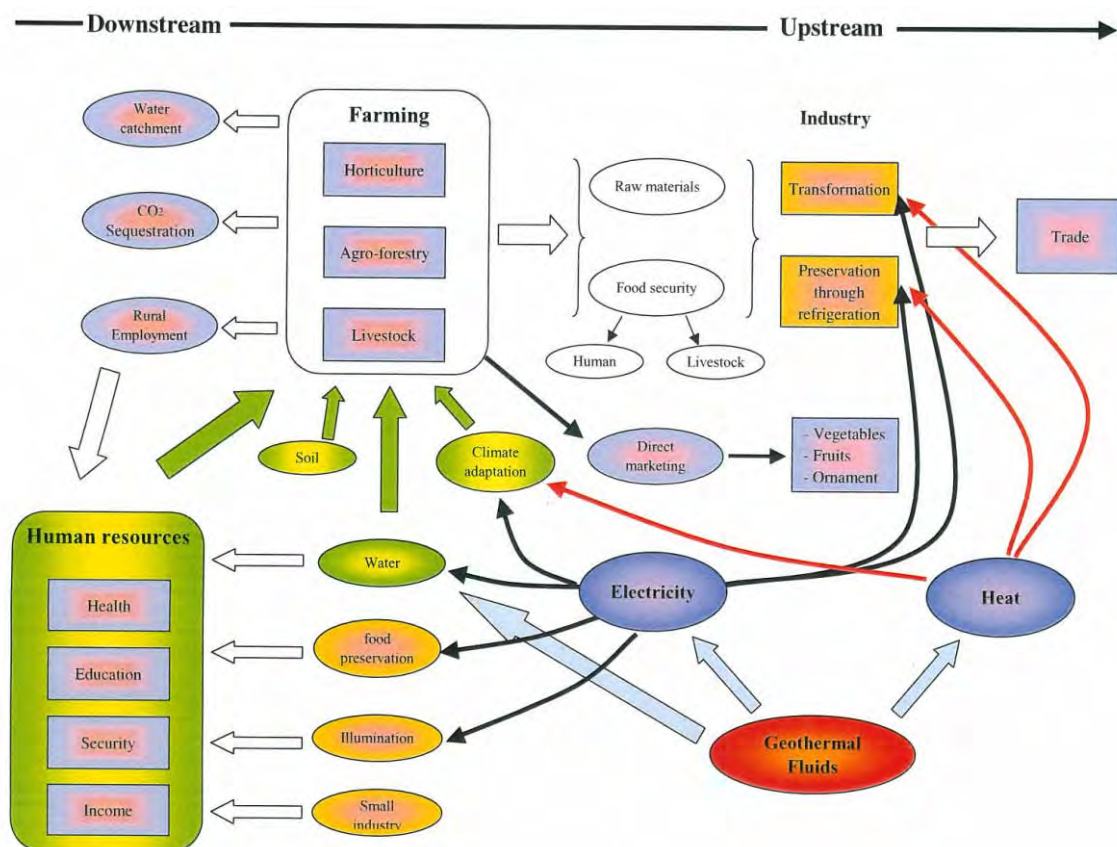


図 III-1.5.3 地熱の地域の社会経済開発への利用可能性.

ペルーでは、大半の地熱地域が標高が非常に高く乾燥した地域にあるため、水は重要な要素である。土壌は植生にとって栄養価の高い火山性のものである。したがって、水があれば、豊かな農業が可能であり、特に畜産のような他の産業にフィードバックできる農作物を育てることが可能である。そのため、人間および動物の消費用の水だけでなく、灌漑用の水を生産することの優先度は高い。発電利用後の地熱水の利用には2種類ある。1つは、地熱流体から蒸気を分離した結果生じる熱水であり、もう1つは、発電設備の排気を復水器で凝縮水にしたものであり、これらは畜産・農業、または生活用水として利用可能である。図 III-1.5.4 は、地熱のバイナリー発電により生じる水の利用サイクルを示している。蒸気発電においても、冷却塔水槽で集められる水の利用は可能である。ペルーの地熱資源の多くは比較的低温であるため、発電にはバイナリーサイクルが適用される可能性もある。

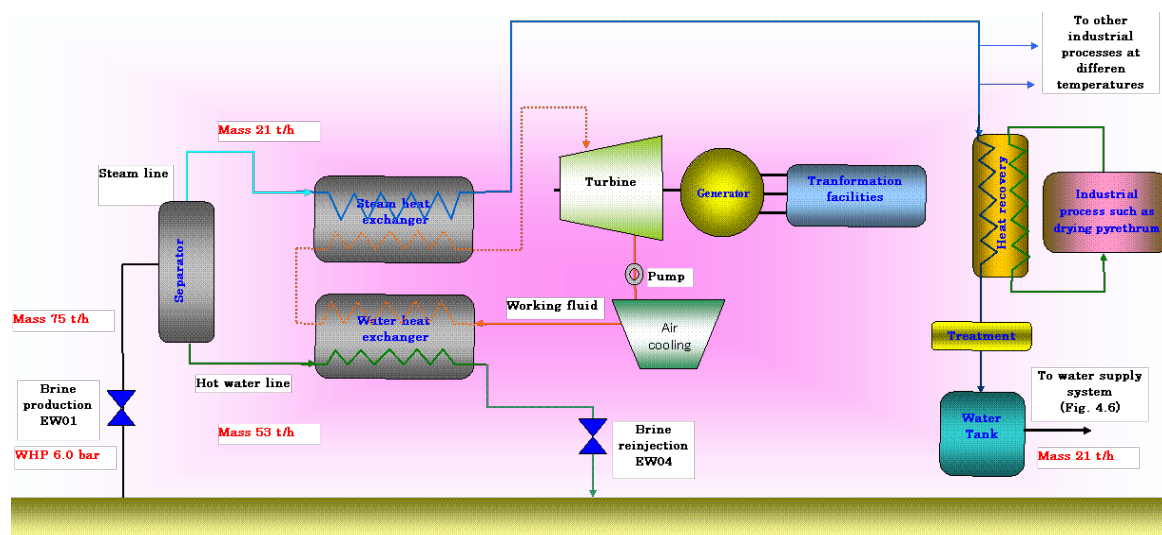


図 III-1.5.4 地熱発電の副産物としての熱水の利用（バイナリー発電の場合）

III -1.5.3 地熱エネルギー多目的利用のパイロットプロジェクトの提案

(1) 目的

地熱多目的利用のデモンストレーションプロジェクトを実施することにより、以下を検証する。

- 地熱資源のカスケード利用の実行可能性
- 社会経済開発のための利用

(2) 場所

Ancocollo における畜産パイロットプロジェクトをベースにした社会経済開発

(3) 開発商品

アルパカを提案する。Ancocollo は標高 4,300m で水のない地域であるため、農業はほとんど行われていない。1,800 頭のアルパカと 400 頭のリヤマがいる。家畜の 30% が自給自足のため 70% が取引に用いられている。アルパカまたはリヤマの値段は大きさと重さにより 80 ソルから 150 ソルであり、肉の値段は 5 ソルから 8 ソル、毛は白毛の場合 1 ポンド当たり 4 ソルから 6 ソル、有色毛の場合 2 ソルから 4 ソルである。畜産は家族単位で営まれており、伝統的な技術に限られ、外部からの技術支援は限られている。

(4) 解決すべき問題

a) 貧困

貧困の克服には 2 つの障壁を越えなければならない。1 つは低価格で仕入れた製品を市場で高く売る仲介人を排除することと、もう 1 つは農民がアルパカの毛を自分たちで予備加工して糸にする、あるいは製品にまで加工できるようにすることである。地熱資源は、農民に紡績機を動かしアパレル工場を運転するための電力を発電所から提供できる。

b) 新生または若い家畜の死亡率の低減

気温が低いために若い家畜の生存率が低いという問題がある。地熱の熱水あるいは凝縮水の熱を利用することで、シェルターで夜間暖房を行い家畜を保護することが可能である。

c) 繊維の質の改善

動物繊維品の価格は、その色と柔らかさ（絹のような肌さわり）、すなわち質による。繊維の質は動物が食べる牧草の栄養に関係しており、それは土壌と水の質と量による。これに関して、地熱は、その凝縮水または還元前の熱水から、水と熱を提供できる。熱水から抽出する塩分とミネラルにより牧草の栄養価を高めることも可能である。

(5) パイロットプロジェクトの内容

- 地熱発電所からの系統への電力供給、ローカルコミュニティの電化、紡績工場への電力供給
- 凝縮水の処理と空調設備のための配管敷設
- 牧草の栄養価を高めるための凝縮水の処理
- 水供給、灌漑設備のための配管敷設

(6) プロジェクトの実施体制と克服すべき障害

プロジェクトを成功させるためには次の政府機関との調整が必要である。

- エネルギー鉱山省および電力総局 (MEM-DGE) : 現在、発電事業の計画および監督を担当。地熱の多目的利用推進のための適切な法整備を行うため、関係する公共機関の調整に中心的役割を果たすべきである。
- INGEMMET: 地熱資源のデータベースの作成と維持。地熱フィールドと多目的利用事業の開発者への技術支援。
- 農業省-国家水道監督局 (MDA-ANA) : 地下水資源の開発・廃棄を担当。地熱水の開発・廃棄前の地表での利用について制度化すべきである。
- エネルギー鉱山省エネルギー環境総局 (MEM-DGAEE) : 発電事業の環境影響評価に関する法制度整備を担当。
- 環境省-自然保護局 (MINAM-SERNANP) : 地熱資源の多目的利用による環境への影響に関する法制度整備。
- 貿易観光省 (MINCENTUR) : 地域産品取引、観光の振興。
- 経済財務省-投資促進庁-開発公社 (MEF-Proinversion-COFIDE) : 地熱の多目的利用に対する投資の促進。
- 大学: 地熱発電および多目的利用事業の実施するために必要な人材の養成。
- 地熱マルチセクター委員会: MEM-DGE による関係省庁・機関との調整を補佐。

⇒ 地熱の多目的利用に関して、発電利用との併用も考慮したうえで、資源開発・事業を行うための法整備が望まれる。併せて、多目的利用事業への補助金・優遇税制等の援助・支援に係る政策検討が望まれる。多目的利用の実行可能性の検証のため、政府主導によるパイロットプロジェクトの実施が推奨される。

III -1.6 地熱開発のためのアクションプラン

本節では、前節までに述べた各種の提言に基づき、地熱開発推進に向けた各分野（法規制、体制・組織、援助・支援、多目的利用）に係るアクションプランを提言する。アクションプランの年度展開を表 III-1.6.1 に、各機関に望まれるアクションプランを表 III-1.6.2 に示す。

表 III-1.6.1 の年度展開では、各分野でのアクションプランの要素について、短期的に求められるものと中・長期的に求められるものとに分類して提案している。短期的な目標としては、まずは地熱開発を推進する方針を明確にしたうえで、民間企業による探査・開発を着実に監理・指導することに関連する事項を挙げた。また、国営企業等による政府の直接的な発電事業参画へ向けた準備に必要な事項も挙げた。短期的な目標は、2011 年に探査権が付与された地熱地点における資源探査が原則的に 2014 年まで（3 年間）に完了することになっていることから、それまでの期間での実現を想定した。中・長期的な目標は、国営企業等による地熱開発の実現に向けた活動に加え、継続的な組織の能力強化や、未開発地域での地熱資源ポテンシャル把握のための追加的な調査・探査などの事項とした。

表 III-1.6.1 各分野でのアクションプランと年度展開

[illegible]

表 III-1.6.2 各組織でのアクションプラン

	法制度	体制・組織	援助・支援	多目的利用
エネルギー鉱山省 電力総局 (MEM-DGE)	・地熱推進政策の明確化 ・地熱法の見直し(必要に応じて) ・RE推進法の見直し(必要に応じて) ・環境社会配慮ガイドライン制定	・民間開発の監督能力強化 ・開発推進ネットワーク形成 ・データベース更新システム確立 ・国営企業等の事業参画体制作り	・開発金融(TSL)制度の確立 ・PPPスキームの確立 ・政府の試掘探査スキーム確立	・熱水資源の管理体制整備 ・発電・熱利用の法制度確立 ・事業への補助制度確立 ・政府によるパイロットプロジェクト
エネルギー鉱山省 エネルギー環境総局 (MEM-DGAAE)	・環境社会配慮ガイドライン制定	・民間開発の監督能力強化 ・開発推進ネットワーク形成 ・データベース更新システム確立		・熱水資源の管理体制整備 (排水関連)
エネルギー鉱山省 地熱委員会 (MEM-CMG)	・地熱推進政策の明確化	・開発推進ネットワーク形成 (中心的役割)	・政府の試掘探査スキーム確立 ・地熱ポテンシャルの把握	・熱水資源の管理体制整備 ・政府によるパイロットプロジェクト
エネルギー鉱山省 地質鉱業冶金研究所 (MEM-INGEMMET)		・民間開発の監督能力強化 ・開発推進ネットワーク形成 ・データベース更新システム確立 ・国営企業等の事業参画体制作り ・事業参画機関の能力強化	・政府の試掘探査スキーム確立 ・地熱ポテンシャルの把握	・熱水資源の管理体制整備 ・政府によるパイロットプロジェクト
エネルギー投資監督 機構 (OSINERGIMIN)	・RE推進法の見直し(必要に応じて)	・開発推進ネットワーク形成	・PPPスキームの確立	
電力系統経済運用委 員会 (COES-SINAC)		・開発推進ネットワーク形成		
大学等		・開発推進ネットワーク形成	・地熱ポテンシャルの把握	・政府によるパイロットプロジェクト
国営電力会社		・開発推進ネットワーク形成 ・国営企業等の事業参画体制作り ・事業参画機関の能力強化	・開発金融(TSL)制度の確立 ・PPPスキームの確立 ・政府の試掘探査スキーム確立	・政府によるパイロットプロジェクト
環境省	・環境社会配慮ガイドライン制定	・開発推進ネットワーク形成		
農業省・ 貿易観光省		・開発推進ネットワーク形成		・熱水資源の管理体制整備
経済・財政省		・開発推進ネットワーク形成	・開発金融(TSL)制度の確立 ・PPPスキームの確立 ・政府の試掘探査スキーム確立	・事業への補助制度確立

- MEM-DGE は、「再生可能エネルギー国家計画」を可能な限り早期に策定し、その中で地熱開発に関する具体的目標や方針について明確にすべきである。
- 現行の地熱資源法・再生可能エネルギー発電事業推進法に大きな問題は無いと考えられるが、その運用段階での問題や民間企業による開発の遅延がある場合には、必要に応じて、民間企業による開発の監理や国営企業の発電事業への参画等に関する法制度を改正することが望まれる。
- MEM-DGAAEは環境省と協力して、地熱開発に特有の環境影響の可能性について知識を深め、開発での環境社会配慮に関するガイドラインを策定することが望まれる。特に、自然保護区(直接利用規制地域)での地熱開発については、地熱開発が環境負荷の小さい電源となることも考慮して、影響の回避・緩和に基づく開発が可能となるよう検討することが望まれる。
- DGE や INGEMMET は、地熱資源の探査・開発に関しての知見を深め、適切な民間企業の開発活動を監理・指導できるよう能力の強化を図るべきである。

- 民間企業による地熱開発の適切な監視・モニタリングや、開発推進のための課題に対応するために、関係政府機関間でのネットワークを充実させることが望まれる。その中心的役割には地熱委員会が適切であると考えられるが、その体制や運営の強化も必要である。
- 本マスタープラン調査で構築された「地熱開発データベース」を継続的に活用するため、DGE・INGEMMET を中心に、データベース更新のシステムを確立すべきである。
- 中・長期的には、政府関係機関による地熱開発を進めるために、国営企業等が発電事業に参画するための体制作りを進め、継続的な能力強化も望まれる。
- 民間企業への支援策の一環として、低金利での資金調達が可能となるよう、ツーステップローンを含む開発金融制度の確立が望まれる。また、優遇税制に関する検討も望まれる。
- 民間での地熱開発が進まないことも想定し、政府が関与する地熱発電事業としての PPP スキームの確立に早めに着手することが望まれる。また、中・長期的には、政府関係機関による試掘探査を中心とした資源調査のスキームも確立を図るべきであろう。
- 新規の地熱開発候補地点を抽出するためには、未開発地域での地熱資源ポテンシャル把握を目的とした継続的な調査・探査の実施が必要である。その調査・探査は、これまでと同様に INGEMMET が担当すべきであるが、組織の拡充・能力強化が望まれる。
- 地熱の多目的利用を推進するためには、これまで主に資源・運用を監督してきている農業省や貿易観光省と MEM とで連携し、発電との併用も考慮した法制度と熱利用事業への補助制度の確立が望まれる。そのうえで、モデルケースとなりえるパイロットプロジェクトを政府関係機関で実施することが望ましい。

III -2 地熱発電開発データベース

III -2.1 データベース構築の目的と利用法

本調査では、ペルーにおける地熱発電開発有望地点の地熱資源に関する情報を収集・整理するとともに各種解析を行った。これらの結果は本業務で構築した地熱資源データベースに格納した。地熱発電開発データベースは、地熱資源データベースをもとに電力需給データ、送電システムに関する情報および社会環境的な情報などを追加したものである。このため、このデータベースの性質は、ある特定の地熱地域に関する詳細情報を格納したものではなく、ペルー全土における共通データおよび各地熱地域に関する基本情報を格納したものである。

この地熱発電開発データベースを利用することによって、地熱発電開発に関する必要なデータの閲覧・更新を容易に行うことが出来るため、今後のペルーにおける地熱発電開発の促進に活用されるものと考えられる。

III -2.2 データベースの構造

データベースはマイクロソフト社の Access に関連付けて構築した。本データベースでは、それぞれ異なる分類のデータや情報がそれぞれ個別の表形式で格納されており、それらは互いに連関を持たせて格納しているため、格納データの重複を最小限にすると同時に、必要となるデータの取り出しについても効率的かつ柔軟に対応できる形式とした。

データベースを起動後、プルダウンで地点を選ぶことにより、その地点の詳細情報を閲覧、編集することができる。表示画面の例を図 III-2.2.1 に示す。

The screenshot shows a Microsoft Access form titled 'Peru Geothermal Database Resource Areas'. The form is divided into several sections:

- Form Header:** Includes 'Choose Resource Area' (with a dropdown menu), 'Find Resource Details', and 'Peru Geothermal Database Resource Areas'.
- Form Fields:**
 - Area ID:** SINTIP
 - Country:** PE
 - Region:** Tacna
 - Province:** Tarma
 - Name 1:** Tutupaca
 - Name 2:** Tutupaca
 - Location Coordinates:** UTM Zone (13), UTM Easting (810000), UTM Northing (810000), Elev (m) (4950), Map Sheet (35-v).
 - Fluid Characteristics:** Temperature (10 to 85 °C), Pressure (10 to 250 MPa), pH (7.0 to 7.5), TDS (0 to 1000 mg/l), SO4 (0 to 1000 mg/l), Gases.
 - Other Fields:** Priority (3), Stage of Development (2), Main Plan Class (S), Hot Sp (160°C), Main Plan Number (14), Sector (Tarma).
- Form Footer:** Includes 'Data Report', 'Close', and 'Comments and Notes'.
- Navigation Panel:** Located on the left side, it includes links to 'Resource Area Data Overview', 'Comprehensive Data Screens', 'Other Figures and Documents', 'Projects-Sectors-Samples: All', 'Manifestations: Detail: All', 'Chemistry: Detail: All', 'XRD data: All', 'How to use the database', 'References (All Areas)', 'References (Open Countries)', 'Agreements & Definitions', 'Multi-Project Reports', and 'How to use the database'.

図 III-2.2.1 選択地点に関する地熱資源データベースのトップページ表示画面例

本調査ではペルー国内の地熱兆候を 61 地点に分類しているが、この分類に属さないその他の点在する温泉等 (12 地点) についてもデータベース上で別途グループを設けて、合計 73 地点のデー

タを格納できるようにした。また、ペルー全土に関する情報を格納する枠も独立した「地点」として別途設けた。

分類したほとんどの地点では複数の温泉がまばらに分布しているため、各地点をそれぞれいくつかの「セクター」にさらに区分した。73 地点のうちの一部は温泉が 1 つしかないためセクター数も 1 つであるが、一方で相互関連の有無にかかわらず 10 箇所以上に温泉が分布している場合は、セクター数も 10 以上とした。

III -2.3 データベースへの入力データ

データベースに入力したデータの一覧を表 III-2.3.1 に示す。ペルー全体に関するデータとしては、本調査で作成された地熱資源分布図、全国送電線系統図などである。個別の地熱地域については、地熱資源データ、電力需給データ、自然・社会環境データ、その他データなどを入力した。

表 III-2.3.1 地熱発電開発データベースへの入力データ

分類	データの種類	入力データ
ペルー全体	地熱資源データ	➤ 地熱資源分布図 ➤ 各地点の位置情報
	電力需給データ	➤ 全国送電線系統図
	自然・社会環境データ	➤ 自然保護区の分布地図等
	その他データ	➤ 地熱法等
個別地域	地熱資源データ	➤ 地質データ ➤ 地化学データ ➤ 地熱系モデル ➤ 資源量試算条件・試算結果
	電力需給データ	➤ 発電所・送電線を含む電力開発計画 ➤ 系統へのアクセス
	自然・社会環境データ	➤ 初期環境影響調査、温室効果ガス排出削減量試算等
	その他データ	➤ 探査権申請・付与等の現状に関する情報

III -2.4 データベースの管理・更新

地熱発電開発データベースは、資源調査データの追加があった場合や、電力セクターの情報等その他の地熱発電開発に関する情報の変化に応じて、適宜データの追加・更新を行う必要がある。データベースの管理は今回の調査のカウンターパートである DGE が中心的に行うが、資源調査データの更新などについては INGEMMET のサポートが必要と考えられる。ペルー側の関連組織が連携して管理・更新を行って有効活用することが望まれる。

III -3 地熱発電開発計画

III -3.1 地熱地点の開発優先順位の評価基準

ペルー全土に関する地熱発電開発計画を策定するにあたり、まず、地熱地点（計 61 地点）の開発優先順位を評価する基準について検討した。基準の重みに関しては、地熱資源の有望性を最も重要視し、自然保護区との関係も重視した。マスタープラン調査において有望地点として選定し、詳細な調査・検討ができた地点に関しては、想定される地熱発電事業の経済性も考慮した。ただし、開発が早期に進められるかどうかに関しては、資源探査権が既に付与されているかどうかも大きく影響するため、評価の基準としては地熱資源の有望性に次いで探査権の付与状況を重視することとした。

開発優先順位の評価としては、各基準項目の評価に基づき、ランク A・B・C およびランク外のその他の地点に分類した。評価基準とランク分類の関係を表 III-3.1.1 に示す。また、各評価基準に関する説明を以下に記す。

表 III-3.1.1 開発優先順位の評価基準とランクの分類

評価ランク	優先順位の位置付け	地熱資源の有望性	資源探査権	地形・アクセス	自然保護区との関係
ランクA	最優先での開発が期待される。（政府支援が無くても開発される可能性が高い）	高温地熱資源の存在確度が高い	付与済み	問題ないと考えられる	問題なし
ランクB	ランクAに準ずる地点。（資源探査権の付与待ち）		申請中であるが未付与		問題ないと考えられる
ランクC	比較的早い時期での開発が期待されるが、開発には資源の有望性を確認する必要がある。	高温地熱資源が存在する可能性がやや高い	付与済み	調査が必要	問題なし、もしくは問題ないと考えられる
ランクD-1	開発には資源の有望性を確認する必要がある。（現存のデータから資源有望性が比較的高そうな地点）		未付与		
ランクD-2	開発には資源の有望性を確認する必要がある。（現存のデータから資源有望性は比較的低そうな地点）	現時点では不明確			
その他	自然・社会環境の影響に関する評価が必要な地点。問題なければ開発を検討すべき。	—	—	—	規制の強い保護区に位置する

- 地熱資源の有望性：これまでの調査・検討の結果から以下の 3 レベルに分類した。
 - 資源調査・探査が比較的進んでおり、高温地熱資源の存在確度が高い（ランク A・B）
 - 資源調査・探査が少ないが、高温地熱資源が存在する可能性がやや高い（ランク C・D-1）
 - 資源調査・探査が少なく、現時点では資源ポテンシャルは不明確（ランク D-2）

なお、ランクD-1 とD-2 の分類においては、現時点で入手できる資源関連のデータ（温泉の泉温および化学性状）に基づき、概略的な資源の有望性を評価した。その判定基準としては、泉温が 80℃以上、もしくは泉温が 50℃以上で地化学温度が高い（NaKCa 温度：140℃以上、K/Mg 温度：80℃以上）地点を有望性が比較的高いもの（ランクD-1）とみなすこととした。

- 資源探査権：これまでに MEM により探査権付与が公表されている地点（2011 年 11 月時点）で、高温地熱資源の存在確度が高い地点をランク A、それ以外の地点をランク C とする。
- 地形・アクセス：以下の 2 レベルに分類した。
 - 現地踏査の結果から、発電事業には問題ないと判断される（ランク A・B・C）
 - 今後調査が必要であり、現時点では不明確（ランクD-1・D-2）
- 自然保護区との関係：規制の強い保護区付近に位置する地点については、詳細な環境影響評価が必要なため、現時点では開発優先順位の評価から除外することとした。規制の強い保護区としては、国立公園等の「間接利用規制」がかけられている保護区を想定した。ただし、SERNANP により 2011 年 7 月に、地熱探査・開発は好ましくないと既に判断された Tacna 州の地方保護区（Vilacota-Maure 保護区）内にある地点についても、現状では評価から除外することとした。

III -3.2 地熱地点の開発優先順位付け

開発優先順位の評価にあたっては、本マスタープラン調査で選定した有望地点について想定される開発計画に基づき評価を行い、そのうえで他の地熱地点については簡易的な評価を行った。

III -3.2.1 有望地点の開発計画

本マスタープラン調査では、既存データの検討により、地熱資源の有望性や発電事業に係る諸条件を考慮して、有望地点を 13 地点選定し、資源評価のための地質・地化学調査を含む現地踏査を実施して、そのうえでそれら地点において想定される地熱発電開発の計画を策定した。表 III-3.2.1 には、各有望地点において想定される発電開発の規模と主要設備の一覧表を示す。

表 III-3.2.1 有望地点において想定される発電開発の規模および主要設備

地点名	推定資源量 P80 (MWe)	発電所 設備容量 (MWe)	発電ユニット	生産井の 掘削本数	還元井の 掘削本数
Chungara-Kallapuma	84.0	75	25MW x 3	19	9
Ancoccollo	98.2	90	30MW x 3	18	9
Tutupaca	113.8	105	35MW x 3	15	9
Crucero	79.4	70	35MW x 2	13	7
Pinaya	36.8	35	35MW x 1	13	6
Calacoa-Putina	108.2	100	25MW x 4	25	13
Ulucan	27.4	25	25MW x 1	5	4
Jesus Maria	17.3	10	10MW x 1	7	3
Ccollo/Titire	39.7	35	35MW x 1	10	5
Cailloma	9.1	5	5MW x 1	5	2
Chivay - Pinchollo	162.9	150	25MW x 6	22	13
Puquio	34.3	30	30MW x 1	12	5
Chancos	15.3	5	5MW x 1	5	2
Total	826.4	735	-	-	-

なお、有望地点において想定される地熱発電事業については、開発コストを試算のうえ、事業の経済性を示す指標として内部収益率(FIRR)が12%以上とするのに必要な売電価格(UScent/kWh)を試算した。

III -3.2.2 開発優先順位付け

有望地点を含むペルー全土の地熱地点（計61地点）に関する評価表を表III-3.2.2に示す。同表では、資源の有望性を示す指標となる温泉の泉温・化学性状、推定資源量、自然保護区との関係、探査権の申請・付与に関するデータ・情報を示したうえで、上述した評価基準に基づく開発優先順位のランク付けを行った。

表 III-3. 2. 2 ペルー全土の地熱地点（61 地点）に関する開発優先順位のランク評価結果

					Hot Spring				Resource Potential (MWe)			No. of Sector	Possible Develop. Capacity (MWe)	Grid Connection				Authorization for Exploration (as of December 2011)			Development Rank
Geothermal Region	No.	Region	Field Name	Elevation (m a.s.l.)	Hot spring Tmax (°C)	T NaKCa-max (°C)	T K/Mg-max (°C)	Cl max (ppm)	Promising Fields*	Other Fields	Total			Possible Substation	Distanse (km)	Protected area	Application	Authorized	Area Name in Application		
(Perú Norte)	1	Tumbes	Tumbes	64	48	72	117	8,400		15	15	2		Tumbes S/S	11					D-2	
	2	Amazonas	El Almendral	449	45	72	107	565		10	10	2		Nueva Jaen S/S	33					D-2	
	3	Amazonas	Corontochaca	1583	28	39	56	183,000		7	7	5		Caclic S/S (2015)	36					D-2	
	4	San Martin	San Mateo	1048	41	87	44	2,450		14	14	3		Moyobamba Nueva S/S (2015)	36					D-2	
	5	San Martin	Picurohuasi	238	63	176	125	396,000		58	58	6		Tarapoto S/S	36	Area Conservation Regional / Parque Nacional b.z.				-	
	6	Loreto	Contamana	98	84	140	52	15,200		48	48	3		Pucallpa S/S	143	Zona Reservada (direct use)				D-1	
1. Cajamarca-La Libertad	7	Cajamarca	Quilcate	2087	63	218	161	1,240		70	70	7		Cerro Corona S/S	47					D-1	
	8	Cajamarca	Cajamarca	2696	71	71	77	101		29	29	2		Cajamarca S/S	8	Coto de Caza (direct use)				D-2	
	9	Cajamarca-La Libertad	Huaranchal	1941	74	221	123	220		54	54	5		Cajamarca S/S	43	Coto de Caza (direct use)				D-2	
	10	La Libertad	Cachicadan	2855	70	204	83	841		40	40	3		Alto Chikama S/S	22					D-1	
2. Callejón de Huaylas	11	Ancash-La Libertad	Tablachaca	2586	50	220	76	353		29	29	5		Sihuas S/S	29					D-2	
	12	Ancash	Huancarhuas	2487	89	224	159	1,840		89	89	10		Kiman Ayllu S/S	36		V	V	Rupha / Yungay / Huancarhuaz	C	
	13	Ancash	Chancos	2943	72	231	143	1,670	15.3	21	36.3	4	5	Huaraz S/S	30		V		Chancos	D-1	
	14	Ancash	Olleros	3388	41	146	110	432		29	29	4		Conococha S/S	25	Parque Nacional (indirect use)	V		Olleros Sur / Olleros Norte	-	
	15	Huanuco-Ancash	Azulmina	3437	70	69	45	170		53	53	5		Conococha S/S	22					D-2	
3. Churin	16	Lima	Conoc	2538	49	93	55	290		21	21	3		Cahua S/S	11					D-2	
	17	Pasco	Huayllay	4220	50	-	-	21		10	10	1		Huanuco S/S	22					D-2	
	18	Pasco	Tambochaca	3408	60	226	118	673		24	24	2		Uchuchacua S/S	8					D-1	
	19	Lima	Oyon	3003	61	190	53	354		45	45	5		Paragsha 2 S/S	47					D-2	
	20	Lima	San Jose	3500	73	189	102	772		25	25	2		Carhuamayo S/S	47					D-1	
4. Central	21	Junin	Yauli	4100	41	206	108	623		7	7	1		Pomacocha S/S	11					D-2	
	22	Huancavelica	Coris	2000	50	221	128	1,880		10	10	1		Cobrizá I S/S	18					D-1	
	23	Huancavelica	Nonobamba	3754	44	235	128	1,880		15	15	3		Ingenio S/S	22		V		Ninobamba	D-2	
5. Eje Volcánico Sur	24	Cusco-Apurimac	Cconoc	2538	41	80	58	45,800		43	43.3	3		Abancay S/S	18	Santuario Historico b.z. (indirect use)				-	
	25	Apurimac	Pincahuacho	3098	62	192	103	638		25	25	2		Cotaruse S/S	29					D-1	
	26	Apurimac	Antabamba	3628	43	223	136	498		15	15	2		Cotaruse S/S	36					D-2	
	27	Ayacucho	Puquio	4053	80	369	210	2,110	34.3	10	44.3	1	30	Cotaruse S/S	113		V	V	Geronta	A	
	28	Ayacucho	Paila del Diablo	3814	81	169	119	1,400		54	54	4		Cotaruse S/S via Pararca and Cotahuasi	36		V	V	Umacusiri	C	
	29	Ayacucho	Pararca	2775	60	202	127	1,020		31	31	3		Cotaruse S/S via Cotahuasi	72		V	V	Sara Sara / Río Pararca	C	
	30	Arequipa	Ocoruro	4475	85	-	-	-		23	23	1		Cotaruse S/S via Antabamba	61	Reserva Paisajistica (direct use)				D-1	
	31	Arequipa	Cotahuasi	2856	56	174	89	209		65	65	7		T-branch between Cotaruse S/S & Pararca	65	Reserva Paisajistica (direct use)				D-1	
	32	Arequipa	Orcopampa	4029	55	54	32	66		29	29	4		Cotaruse S/S via Ocoruro and Antabamba	33	Reserva Paisajistica b.z. (direct use)				D-2	
	33	Arequipa	Cailloma	4278	58	148	87	1,280	9.1	26	35.1	3	5	Cailloma S/S	11		V	V	Turu	C	
	34	Arequipa	Coropuna	2986	51	235	70	237		15	15	3		Chuquibamba S/S	8					D-2	
	35	Arequipa	Chivay-Pinchollo	3776	93	208	132	2,740	162.9	136	298.9	10	150	Callalli S/S	70		V		Pinchollo / Achumani / Hualca Hualca	B	
	36	Arequipa	La Calera	3943	35	186	56	734		9	9	2		Santuario S/S	8	Reserva Nacional (direct use)				D-2	
	37	Arequipa	Yura	2504	33	183	38	340		15	15	4		Yura S/S	8					D-2	
	38	Arequipa	Jesus	2655	37	209	50	1,330		7	7	2		Cerro Verde S/S	8					D-2	
	39	Moquegua	Ubinas	3077	62	91	56	704		24	24	3		Socabaya S/S	43		V		Ubinas	D-2	
	40	Moquegua	Ulucan	2734	80	243	145	7,260	27.4	0	27.4	1	25	Socabaya S/S	127		V		Huaynaputina	B	
	41	Moquegua	Calacoa-Putina	3300	91	186	118	1,340	108.2	45	153.2	5	100	Moquegua S/S			V	V	Quellaapacheta / Tiscani	A	
	42	Moquegua	Collo/Titire	4330	83	217	167	11,400	39.7	27	66.7	4	35				V		Collo / Titiri	B	
	43	Moquegua-Tacna	Crucero	4567	73	357	216	7,090	79.4	3	82.4	2	70				V	V	Crucero / Pasto	A	
	44	Tacna	Tutupaca	4268	86	215	112	897	113.8	29	142.8	6	105				V	V	Tutupaca	A	
	45	Tacna	Calientes	4341	90	219	195	3,340	100	0	100	1	100	Moquegua S/S via A S/S	30	Area Conservation Regional	V	rejected	Rio Carientes	-	
	46	Tacna	Ancocollo	4216	87	219	206	2,380	98.2	55	153.2	5	90				V		Ancocollo / Ocururane	B	
	47	Tacna	Borateras	4397	87	223	198	2,390	40	31	71	4	50				V	rejected	Borateras / Río Maure	-	
	48	Tacna	Chungara-Kallapuma	4349	85	210	170	2,950	84	17	101	4	75				V		Casiri / Achuco / Río Kallapuma	-	
6. Cuzco-Puno	49	Cusco	Machu-Picchu	1924	52	211	129	2,260		49	49	6		Sururay S/S	22	Santuario Historico (indirect use)				-	
	50	Cusco	Choquecancha	3010	88	220	124	1,340		43	43	3		Dolorespata S/S	36					D-1	
	51	Cusco	Pacchanta-Marcapata	3529	64	192	105	565		40	40	3		Combapata S/S	54					D-1	
	52	Cusco	La Raya	3754	52	189	109	4,090		26	26	5		Onocora S/S (2011)	29					D-1	
	53	Puno	Ollachea	3313	70	191	113	576		45	45	3		San Rafael S/S	29					D-1	
	54	Puno	Pasanocollo	3906	75	172	106	982		65	65	6		Puno S/S	36					D-1	
	55	Puno	Hatun Phutina	3724	71	179	109	139		39	39	4		Puno S/S via Putina	50					D-1	
	56	Puno	Putina	3986	55	188	79	13,200		53	53	6		Puno S/S	43					D-2	
	57	Puno	Chaqueylla	4100	57	119	70	11,300		26	26	3		Tintaya S/S	54		V		Condorama	D-2	
	58	Puno	Pinaya	4387	83	193	135	13,400	36.8	27	63.8	3	35	Callalli S/S	70		V	V	Pinaya / Chocopata	A	
	59	Moquegua	Jesus Maria	3943	52	152	112	14,300	17.3	17	34.3	3	10	Puno S/S	67					D-1	
	60	Moquegua	Exchage	3561	42	176	116	6,360		27	27	5		Socabaya S/S via Ubinas	22					D-2	
	61	Puno	Collpa Apacheta	4013	54	153	61	48,600		13	13	2		Puno S/S	40					D-2	

開発優先順位に関する評価結果は表 III-3.2.3 のようにまとめられる。優先順位が比較的高いランク A とランク B の地点での開発により 640 MW 前後の地熱発電が期待される。

表 III-3.2.3 開発優先順位の評価結果

開発優先順位のランク	優先順位の位置付け	該当地点	想定される開発規模 (MW)	開発規模合計 (MW)
ランクA	最優先での開発が期待される。(政府支援が無くても開発される可能性が高い)	Tutupaca	105	340
		Crucero	70	
		Calacoa-Putina	100	
		Pinaya	35	
		Puquio	30	
ランクB	ランクAに準ずる地点。(資源探査権の付与待ち)	Chivay-Pinchollo	150	300
		Ancocollo	90	
		Collo/Titire	35	
		Ulucan	25	
ランクC	比較的早い時期での開発が期待されるが、開発には資源の有望性を確認する必要がある。	Cailloma	5	(60)
		Huancarhuas	(30)	
		Paila del Diablo	(15)	
		Pararca	(10)	
ランクD-1	開発には資源の有望性を確認する必要がある。(現存のデータから資源有望性が比較的高そうな地点)	17地点 (Chancos, Jesus Maria地点を含む)	—	不明
ランクD-2	開発には資源の有望性を確認する必要がある。(現存のデータから資源有望性は比較的低そうな地点)	24地点	—	不明
その他	自然・社会環境の影響に関する評価が必要な地点。問題なければ開発を検討すべき。	7地点 (Borateras, Calientes, Chungara-Kallapuma地点を含む)	—	225以上

※評価対象は合計61地点

- ランク A：本プロジェクトで選定した有望地点のうち、探査権が既に付与されている 5 地点がこのランクに分類される。探査権を付与された民間企業は、原則として 3 年以内に資源探査を完了させる義務があるため、開発が最も早く進められることが期待される。
- ランク B：有望地点のうち、探査権がまだ付与されていない 4 地点がこのランクに分類される。ランク A に準ずる地点であり、比較的早い開発が期待される。
- ランク C：有望地点で想定される発電事業の経済性が比較的低いか、もしくは資源的な有望性が比較的高そうと判断される地点で、探査権が既に付与された 4 地点がこのランクに分類される。なお、有望地点以外の地点の開発規模については、資源量推定の精度が高くないため控えめに資源量の 30% 前後の規模と想定した。探査権は既に付与されているが、

資源の確認や発電事業の実行性について今後も調査を進めることが望まれる。

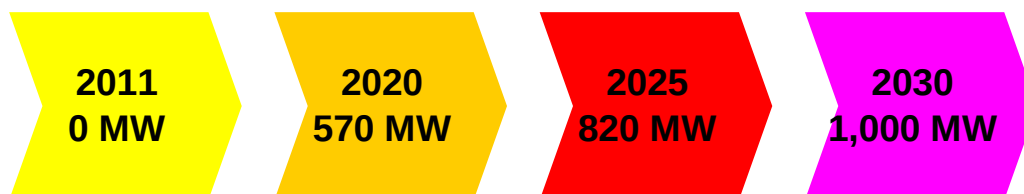
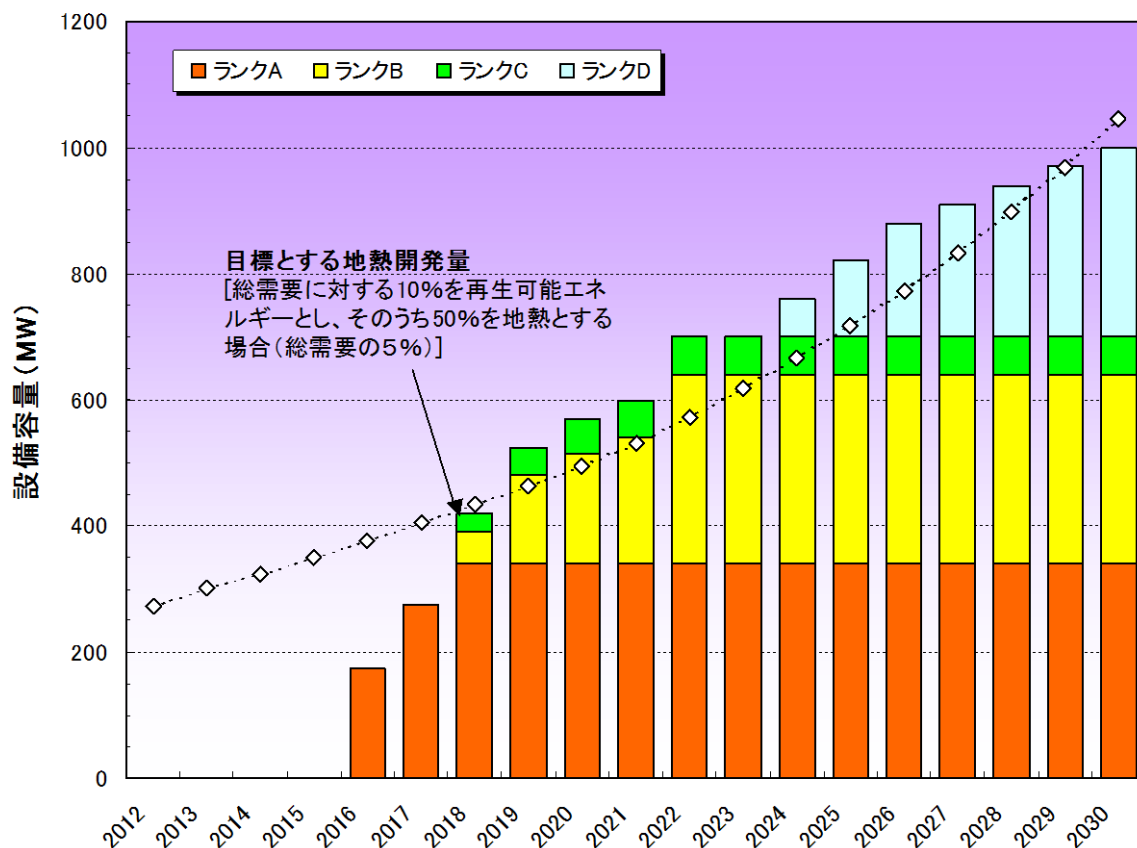
- ランク D-1：これまで資源調査は簡易的なものしか行われておらず、今後の調査が必要である。ただし、温泉の泉温や化学性状からは、資源的な有望性が比較的高そうと判断されるため、優先的に調査を進めることが望まれる。
- ランク D-2：これまで資源調査は簡易的なものしか行われておらず、今後の調査が必要である。これまで得られているデータでは、資源的な有望性が高いと判断される情報は得られていない。
- その他：国立公園もしくは歴史聖地の付近に位置する地点が 4 点のほか、Tacna 州の地方保護区（Vilacota-Maure 保護区）内にある地点が 3 点あった。

III -3.3 地熱発電開発ロードマップ

提言に挙げた地熱開発量の目標に合わせて、2030 年までに 1,000MW を開発するシナリオとし、開発優先順位のランクに応じて開発を推進する計画を策定した。開発の年度展開（ロードマップ）を表 III-3.3.1 および図 III-3.3.1 に示す。

表 III-3.3.1 開発優先地点の発電開始目標年

開発優先 ランク	州名	地点名	探査権申請 地点名	探査権 付与	想定される 開発規模 (MW)	発電開始 目標年
A	Tacna	Tutupaca	Tutupaca	V	105	2016
A	Moquegua-Tacna	Crucero	Crucero	V	70	2016
A	Moquegua	Calacoa-Putina	Quellaapacheta	V	100	2017
A	Puno	Pinaya	Pinaya	V	35	2018
A	Ayacucho	Puquio	Geronta	V	30	2018
B	Arequipa	Chivay-Pinchollo 1	Pinchollo / Achumani / Hualca Hualca		50	2018
B	Tacna	Ancocollo	Ancocollo / Ocururane		90	2019
B	Moquegua	Collo/Titire	Collo		35	2020
B	Moquegua	Ulucan	Huaynaputina		25	2021
B	Arequipa	Chivay-Pinchollo 2	Pinchollo / Achumani / Hualca Hualca		100	2022
C	Ancash	Huancarhuas	Rupha	V	30	2018
C	Ayacucho	Paila del Diablo	Umacusiri	V	15	2019
C	Ayacucho	Pararca	Sara Sara	V	10	2020
C	Arequipa	Cailloma	Turu	V	5	2021
D	-	未定	-		300	2024-2030



探査権付与開始 総電力需要の5%供給

ランクA地点開発: 340 MW

ランクB地点開発: 300 MW

ランクC地点開発: 60 MW

ランクD地点開発: 合計300 MW

図 III-3.3.1 ペルー地熱発電開発ロードマップ

開発の年度展開としては、早期に総電力需要の5%を満たすべく、各発電事業の発電開始年を設定した。発電所の利用率は一律に85%と想定した。2011年に既に資源探査権が付与されたランクAの地点の開発でも、探査に3年間、その後の建設に3年は要するため、発電開始時期は最短で2016年と予想される。ランクBの地点については、ランクAよりも2年遅い2018年から発電開始されることを想定した。なお、開発規模が比較的大きいChivay-Pinchollo地点の開発については、第一期開発が2018年まで、第二期開発が2022年までと想定した。ランクCの地点について

ては、ランク A の地点に比べて資源の調査・確認にやや期間がかかると予想し、発電開始は最短で 2018 年と想定した。ランク D（D-1 および D-2）の地点に関する開発は、今後の資源およびその他の調査結果次第であり、開発地点は特定できず、発電開始は 2024 年以後になると想定した。

ロードマップでの開発目標のマイルストーンとしては、2020 年：570 MW、2025 年：820 MW、2030 年：1,000 MW となる。この目標の実現に向けては、民間企業による探査・開発を適切に指導・管理するとともに、民間での開発が進まない場合には、政府による直接事業参画や援助・支援を適宜実行していくことが望まれる。なお、本ロードマップについては、探査・開発の進行に合わせ、必要に応じて改定・更新していくことが望まれる。