3.3　海外事例

3.3.1　影響発現事例

我が国の地熱発電所は、昭和 41 年（1966 年）に操業開始した松川地熱発電所が最初であり、40 年以上の実績がある。この間、これまでに地熱開発に伴う周辺温泉などへの環境影響が発現した事例はなく、順調な運転を続けている。

しかし、海外では 100 年前からの開発実績があり、その間には大きな環境影響が発現したとされる事例もみられる。このような影響事例は、日本の発電所に比べて相当大規模な発電所である場合や、還元井での資源管理が実施されていなかったものも多いことから、きめ細かな環境対策や管理が実施されている日本で同様の環境影響が起こるとは考えられないが、参考までに表 3.3-1 に示す 7 ヵ所の事例を収集し、その概要を整理した。（ただし環境影響の内容等は原典に基づく記載のままである。）

文章中に明示した引用文献の一覧は p3-43 に示した。

表 3.3-1　地熱開発に伴う環境影響の発現事例

国	(1) ニュージーランド		(2) フィリピン		(3) イタリア	(4) 米国	(5) スイス
事例名	ワイラケイ	オハーキ	ティウィ	トンゴナン	ラルデレロ	ガイザー	バーゼル
発電規模※1	204 MW※2	104 MW (4 基)	330 MW (6 基)	723 MW (21 基)	543 MW (21 基)	1421MW (21 基)	(情報なし)
面積※2	15 km^2	5-8 km^2	13 km^2	120-150 km^2	250 km^2	100 km^2	(情報なし)
生産井数	60※2	24※2	43※1, 2	81※1 (75※2)	180※1, 2	424※2	3
還元井数	(情報なし)	(情報なし)	16※1,2	33※1 (26※2)	23※1, 2	43※2	1
地熱系タイプ	熱水/蒸気	熱水	熱水	熱水	蒸気	蒸気	高温乾燥岩体 (EGS 法)
本格的発電開始年	1958 年～	1988-89 年～	1979 年～	1983 年～	1910 年～	1960 年～	2006 年～
環境影響	温泉水位・水温低下、温泉枯渇、間欠泉停止、塩化物含有量減少	温泉水位・水温低下	地震、水蒸気爆発、温泉枯渇	温泉流量低下、温泉枯渇または湧出停止、塩化物濃度低下	蒸気・ガス噴出停止	温泉流量低下、蒸気供給量低下、地震	地震
対策等	還元井の設置(1996 年頃～)	還元井の設置（試験運用中の 1980 年頃～）、分離熱水を温泉へ直接供給、温泉底部へのコンクリート施工	還元井の設置(1983 年～)、開発対象地の移動	還元井の設置※7	還元井の設置(1980 年代前半～)	注水(1980 年半ば～)※7	開発停止
回復 (回復の程度)	回復なし	水位上昇（但し、分離熱水の直接供給により、水温変動、塩化物含有量増加が発生）	回復なし	塩化物濃度増加、流量増加	回復なし	生産量減少に歯止め(但し、注水量増加に伴い地震増加)	開発停止から 5 ヵ月後まで地震観測

※1（Bertani, 2005a）
※2（Bertani, 2005b）

(1)　ニュージーランド

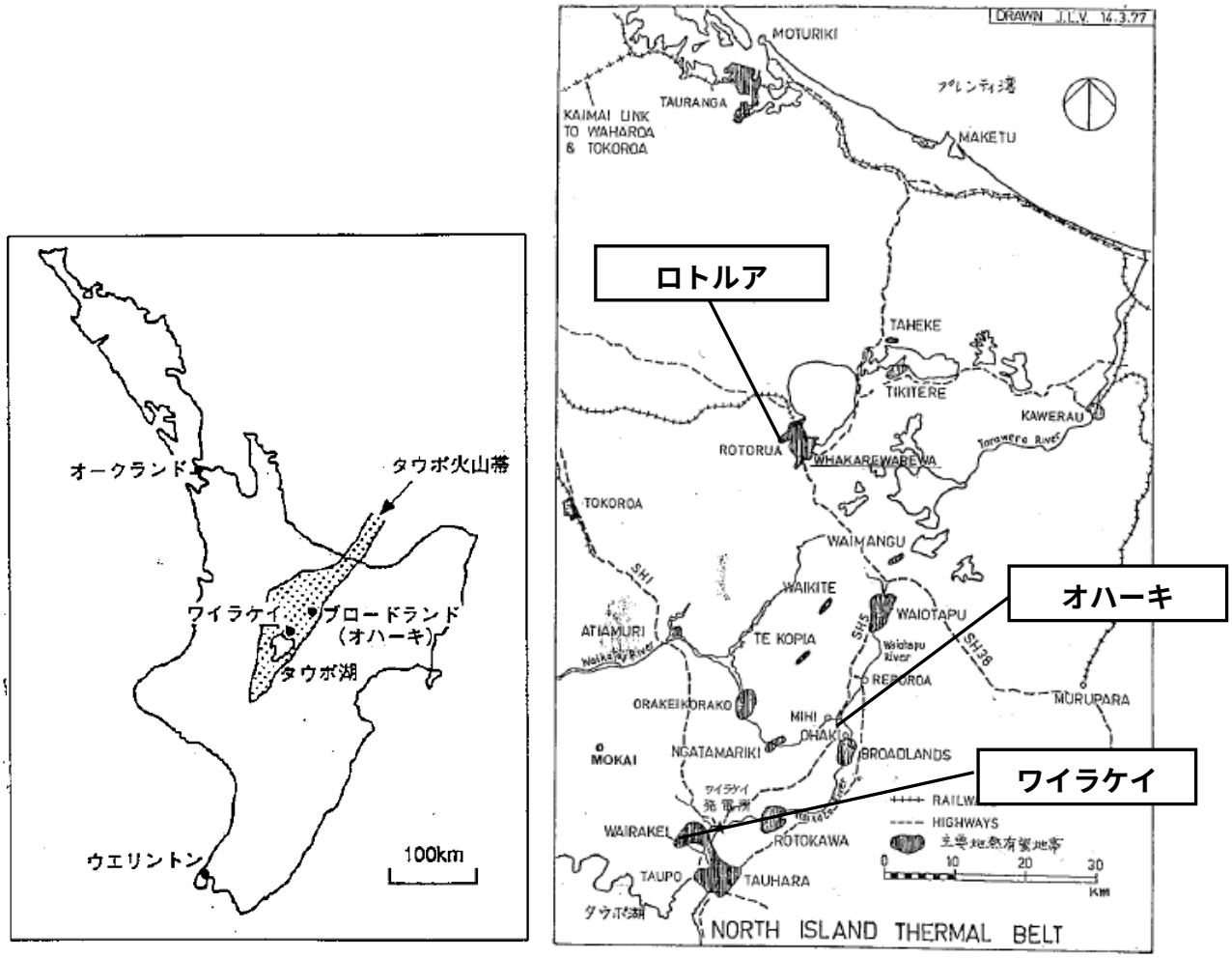


図 3.3-1　ニュージーランド（北島）における地熱帯位置図（本松、1982；玉生、1998）

■ワイラケイ（Wairakei）（熱水卓越系/蒸気卓越系[1]）

様々な間欠泉や温泉などの地熱徴候が見られ、旅行者に人気の場所で、レクリエーションの場所として利用されていた。ガイザーバレーには数々の間欠泉が見られ、ワイオラバレーには様々な色彩の温泉があった。（本松、1982）

イタリアのラルデレロに次いで、世界で二つ目の本格的地熱発電所。1949 年調査開始、1950 年から試錐孔が掘られ、1958 年から本格的な電力生産開始。（馬場、1964; Hunt, 2001）

ガイザーバレー（Geyser Valley）は観光的価値が高いため開発対象から除外され、主にワイオラバレー（Waiora Valley）周辺が開発された（図 3.3-2、図 3.3-3）。坑井の深度は浅い（200～1,500 m、平均 700 m 以下）（本松、1982）。

[1]開発以前は一般に熱水卓越系であったが、開発に伴い蒸気卓越ゾーンが形成されるようになった（玉生、1998）

表 3.3-2　ワイラケイでの開発経緯

年	経緯
1949 年	調査開始※2
1950 年	試錐孔掘削開始※1※2
1955 年	最初の発電開始※1
～1958 年	69 の試錐孔、約 20 Mt/年※2
1958 年	本格的な電力生産開始（タービン発電機：6.5MW 背圧機１基）※1※3
1963 年	発電要領 192.6MWe※3
1960 年代	流体生産期の初期に貯留層圧力が大幅に減少、最上部に蒸気卓越ゾーンが形成されるようになる。
1965～75 年	発電効率の改善（ダブル及びトリプル・フラッシング技術導入）※4
1983 年	発電要領の縮小 157.2MWe※4
1996 年	還元開始※4

※1（馬場、1964）；※2（Hunt, 2001）；※3（本松、1982）；※4（玉生、1998）

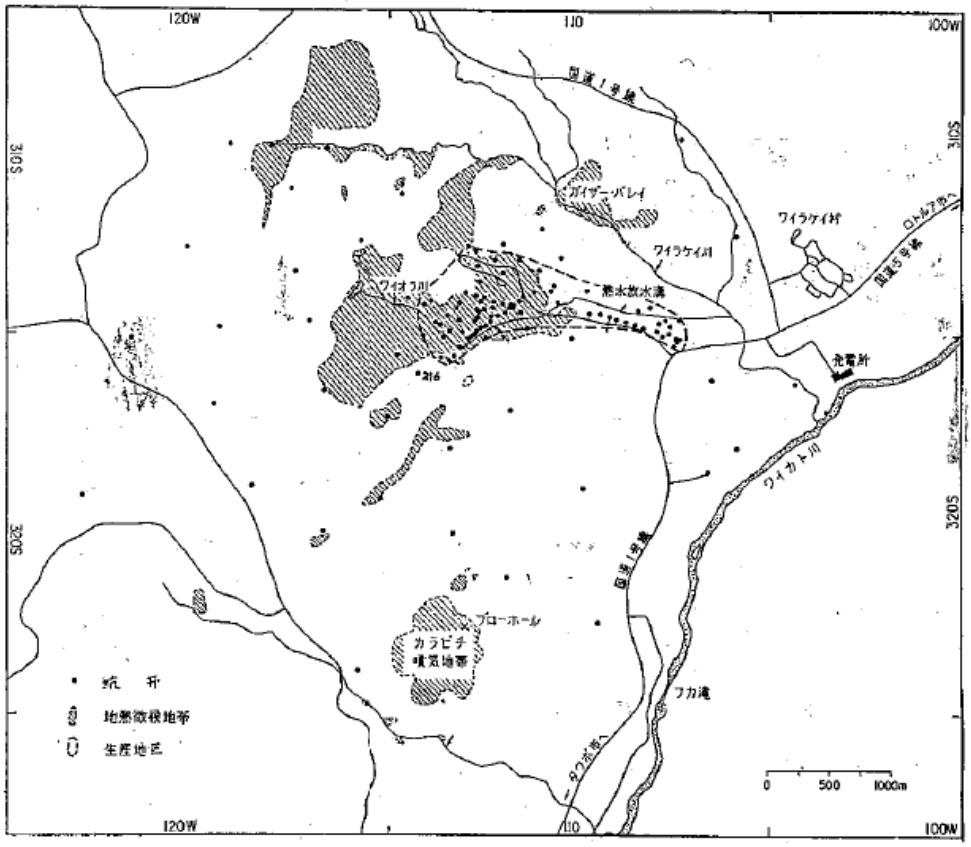


図 3.3-2　ワイラケイ地熱地帯地域図　（本松、1982）

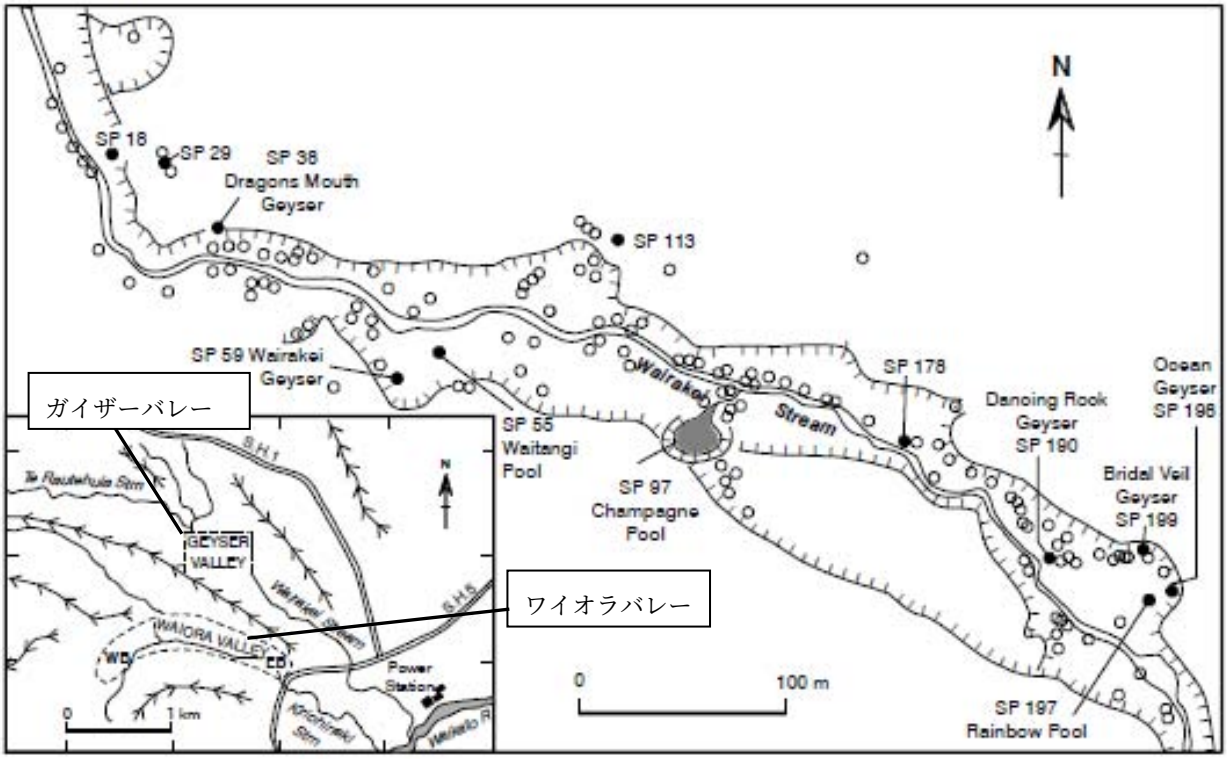


図 3.3-3　ガイザーバレーの温泉位置図（西掘削地（WB）・東掘削地（EB））（Hunt, 2001）

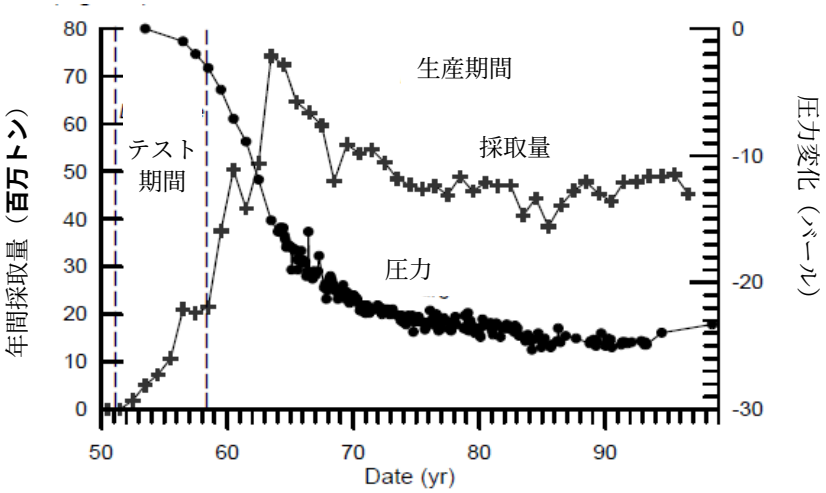


図 3.3-4　ワイラケイにおける採取量（流体※2）及び圧力の変化

（Glover & Hunt, 1996; Hunt, 2001）

地熱開発に伴い、地域の温泉水位が低下し、ワイオラバレーおよびガイザーバレーの温泉は枯渇した（Ellis & Mahon, 1977; 大木、渡部, 1992; Hunt, 2001）。地熱開発開始から数年後には、ガイザーバレーの間欠泉、温泉、地獄は、蒸気噴出地とわずかな噴気孔を残すのみとなってしまった。特に、間欠泉の停止は、多くの人々に衝撃を与えた（玉生、1998）。

図 3.3-5 には溢水量・水位減少がみられたガイザーバレーの温泉の例が示されている。さらに、多くの湧水地（springs）で塩化物含有量が減少（図 3.3-6）。温泉の温度は、30

度も下がった所もあれば、溢水量は減少したが水温には殆ど変化が見られなかった場所もあった（図 3.3-7）。

開発により完全に熱水で満たされていた熱水層の水位・圧力が低下し、上部に蒸気の層ができたことにより、蒸気の噴気活動は増大した一方、熱水の湧出は減少した（Hunt,2001 は、圧力が 3 バール未満に落ちたことが原因としている）。

そして、ガイザーバレーに熱水を運んでいた断層から熱水層へ冷たい天水の侵入が起こり、井戸の塩分・エンタルピーが減少し、間欠泉等の活動が停止した（本松、1982）。1996 年頃から地下還元が実施されている（玉生、1998）。

カイザーバレーの開発は避けられたが、結果としては同一の地熱貯留層を開発したため、直接的な影響が短期間に現れた（本松、1982）。開発前には 10 箇所以上存在していた間欠泉（ガイザー）がなくなってしまい、現在サーマルバレーと呼ばれている（玉生、1998）。

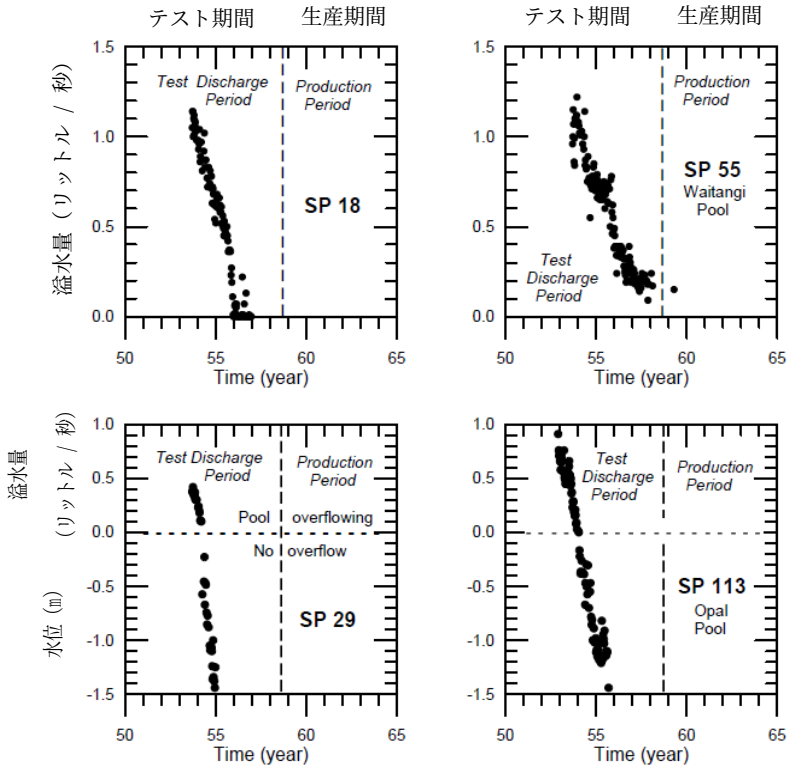


図 3.3-5　ワイラケイにおける地熱開発が原因とされる溢水量・水位変化の例

(Glover & Hunt, 1996; Hunt, 2001)

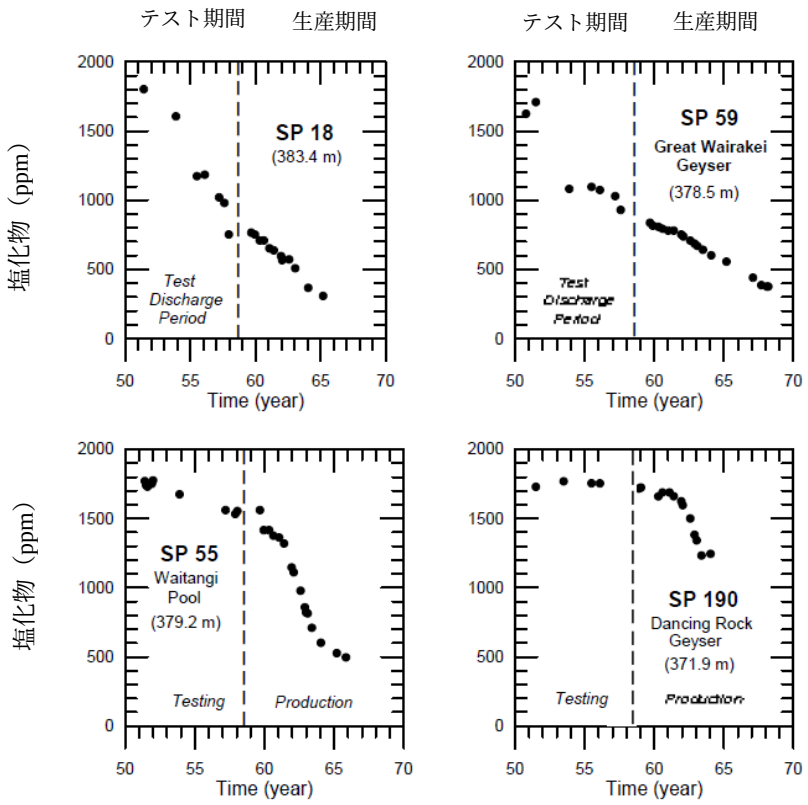


図 3.3-6　ワイラケイにおける地熱開発が原因とされる塩化物含有量の変化

(Glover & Hunt, 1996; Hunt, 2001)

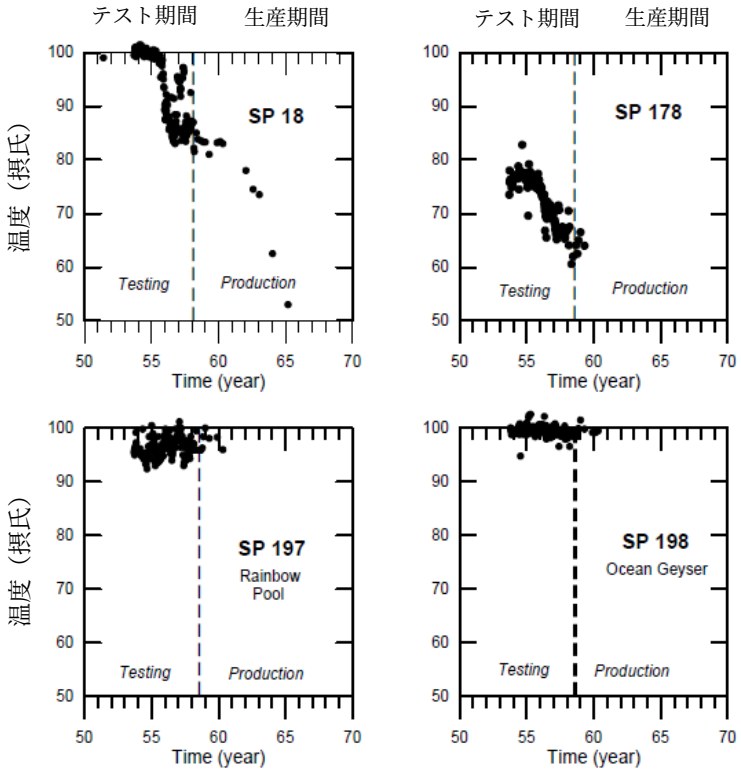


図 3.3-7　ワイラケイにおける地熱開発が原因とされる水温の変化

(Glover & Hunt, 1996; Hunt, 2001)

■**オハーキ（Ohaaki）（熱水卓越系）**

1965 年に掘削開始。1967 年から試験的な採取が行われ、1970 年の年間採取量は 10Mt まで増加された事例（図 8）。1972 年以降、引き続き掘削は行われたが、大規模な試験は 1988 年まで行われなかった。

オハーキ地熱発電事業の計画段階において、環境影響報告書が準備されていたが、自然地熱兆候（thermal features）への影響については触れられていなかった。テスト期間中の分離熱水（排水）は近くの川に放流されていたが、1980 年ごろから地下に還元されるようになった。1988 年から 1989 年にかけて発電所の稼動開始。（Hunt，1997）

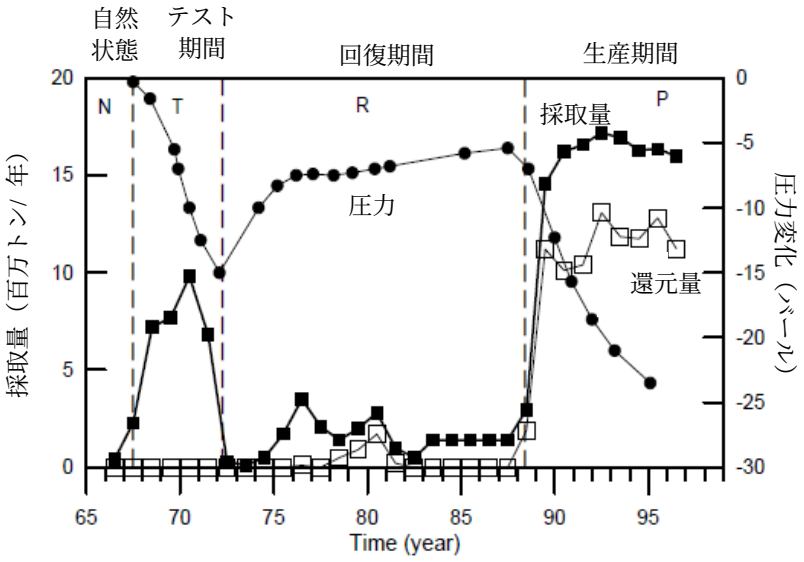


図 3.3-8　オハーキにおける採取量及び圧力の変化（Hunt，2001）

掘削および貯留層の調査が開始されて以来、ナーティ・タフ族により数世紀にわたり利用されてきた重要な温泉湧出地であるオハーキ温泉（図 3.3-9）の水位・水温が低下（Hunt，1997; Hunt，2001）。近くの坑井を開放すると流量・水位が減少し、閉鎖すると増大した（図 3.3-10）（Hunt，2001）。

1971 年には 9.5 m 下方まで低下したが、テスト期間が終了すると急速に上昇した（図 3.3-11）。

1989 年以降、オハーキ温泉の水位を保つために、分離熱水を温泉に供給し、漏れを防ぐために温泉の底にコンクリート層を張るなどの対策が取られている（Hunt，1997; Lee & Bacon，2000）。

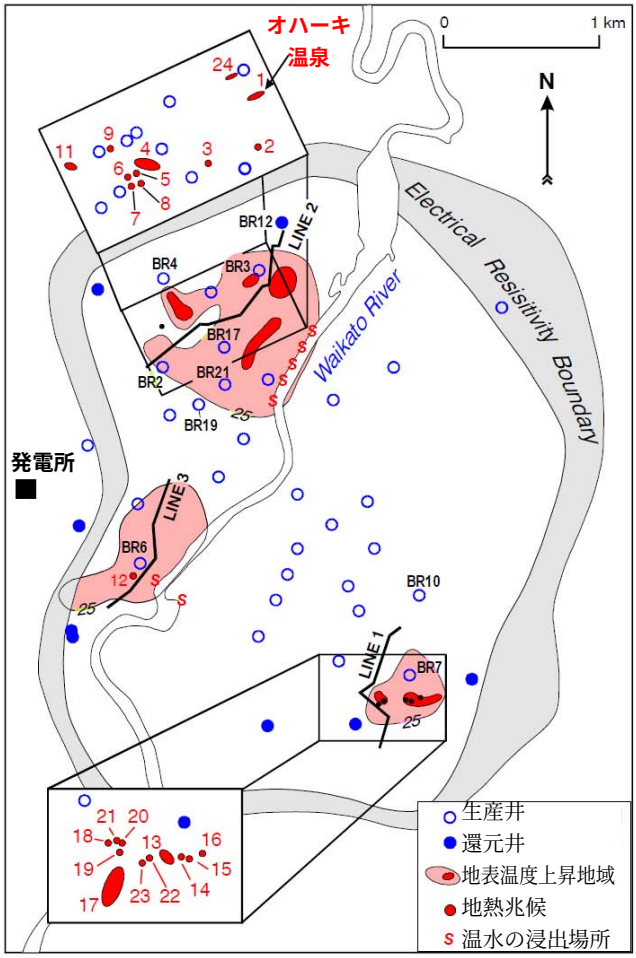


図 3.3-9　オハーキ地域の地熱兆候（温泉、間欠泉等）および坑井、還元井の位置図

（Hunt & Bromley, 2000）

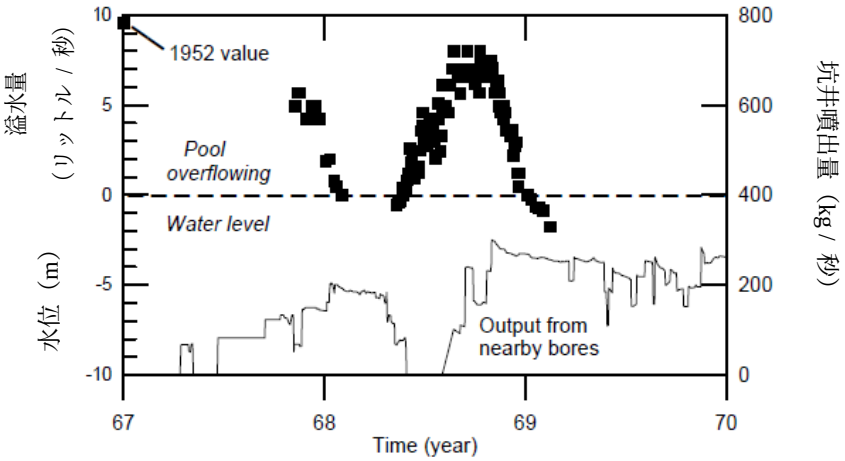


図 3.3-10　噴気テスト期間の一時期のオハーキ温泉の溢水量の変化（Hunt, 2001）

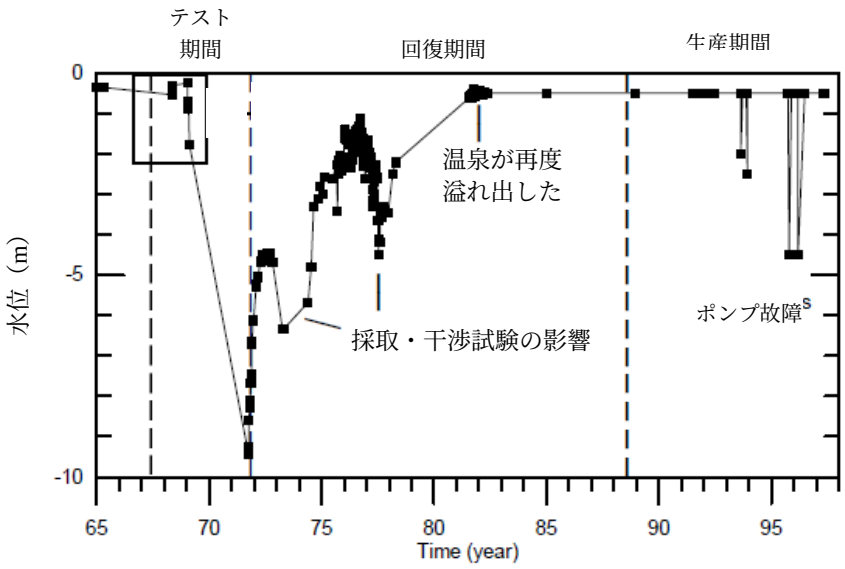


図 3.3-11　オハーキ温泉の水位変化（Hunt，2001）

開発前の温泉の表面温度は 85 度以上であったが、テスト期間中は 65～75 度に低下した（図 3.3-12）。「回復期間中」は 90 度を超えることが多かったが、生産期間の 1992 年には 30～50 度まで低下した。

現在は、坑井から温泉に注ぎこまれる排水（熱水）の量により水温は変動している。坑井からの排水（熱水）の塩化物含有量は高く、排水が温泉に注ぎこまれるようになってから温泉の塩化物含有量は増加した。（Hunt，2001）

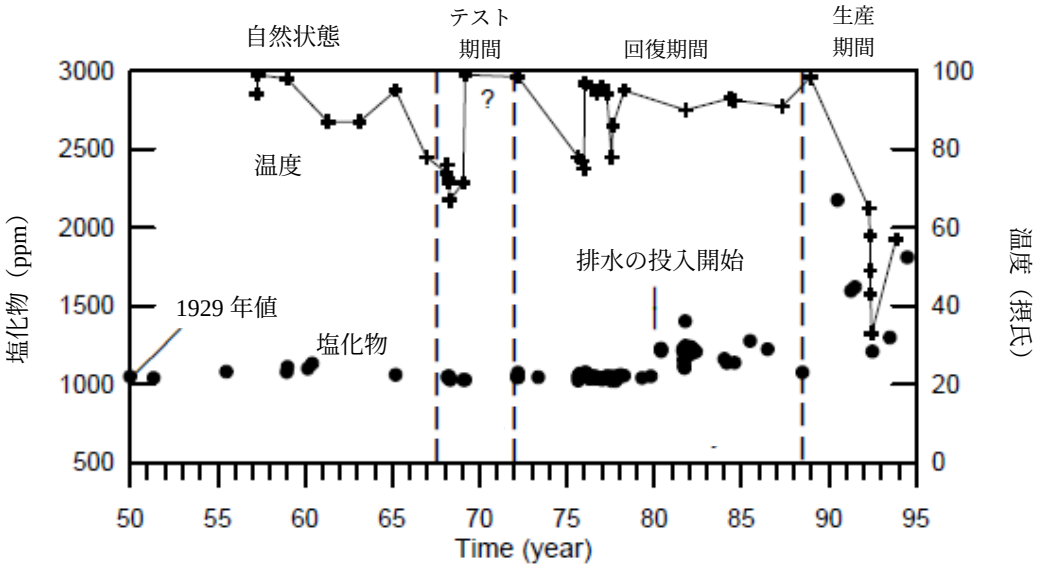


図 3.3-12　オハーキ温泉の温度、塩化物濃度の変化（Hunt，2001）

(2) フィリピン

■ティウィ（Tiwi）(熱水卓越系)

噴気や温泉が湧出し観光地として有名であった温泉公園の直下で大規模な開発が行われた事例。1971 年より本格的な掘削が開始された。

開発以前から、噴気活動が活発化していたが、1975 年より活動はさらに活発化した。1980 年 7 月 6 日に異常な微小地震が記録され、同年 7 月 29 日に最も噴湯の強かった温泉池で泥水の間欠的な噴出が観測され、その 2 時間後に水蒸気爆発が起こった。

一人が熱傷を被り、付近の休憩施設等が破損された（図 3.3-16)。爆発が一段落すると、それまで湧出していたエメラルドグリーンの温泉（温度 85℃、直径 15 m、深さ 4.3 m）は次第に枯渇した（安藤、1984; 倉沢、1984)。

水蒸気爆発の原因は、熱水を還元しない大規模開発が温泉公園直下に近い所で行われたことと考えられている（倉沢、1984)。熱水還元を行わず海へ放流していたため水位が下がりそのため海水とのバランスが崩れ海水がリザーバー内に浸入したことにより Cl 濃度が上昇し、管内へスケール付着、また付近の地獄の噴気活動が停止したとされている（栗島、1984)。

一方、この水蒸気爆発をティウィの熱源と考えられるマリナオ火山の火山活動として紹介している文献もあり（安藤、1984)、図 3.3-13 に示される様に、開発前より地熱活動が爆発現場方面へ移動していたという説もある。

初めに地熱開発が行われていた N 地区の坑井からの蒸気生産量が低下したため、N 地区の西側に位置する K 地区、M 地区、B 地区において新しい坑井が掘削され、1990 年代半ばには全ての生産が当該 3 地区にて行われるようになった（図 3.3-14)。

1983 年より還元が開始され、1993 年には全ての排水が還元されるようになった。2008 年現在、約 200MW 容量相当で発電が行われている（Menzies et al., 2010)。

表 3.3-3　ティウィでの開発経緯

年	経緯
～1970 年	噴気活動活発化※1
1972 年	調査井の掘削開始※2
1975 年～	噴気活動さらに活発化※1
1979 年	第 1 発電所稼動（110MW）※2
1980 年 7 月 7 月 6 日 7 月 29 日	第 2 発電所稼動（110MW）※2 異常な微小地震記録※3 泥水の間欠的な噴出※3、水蒸気爆発発生※1※3
1982 年	第 3 発電所稼動（110MW）※2 合計出力 330MW、稼動生産井 85 本※1
1983 年	還元開始※4
1993 年	排水全量の還元を開始※4

※1（倉沢、1984)；※2（栗島、1984)；※3（安藤、1984)；※4（Menzies et al., 2010)

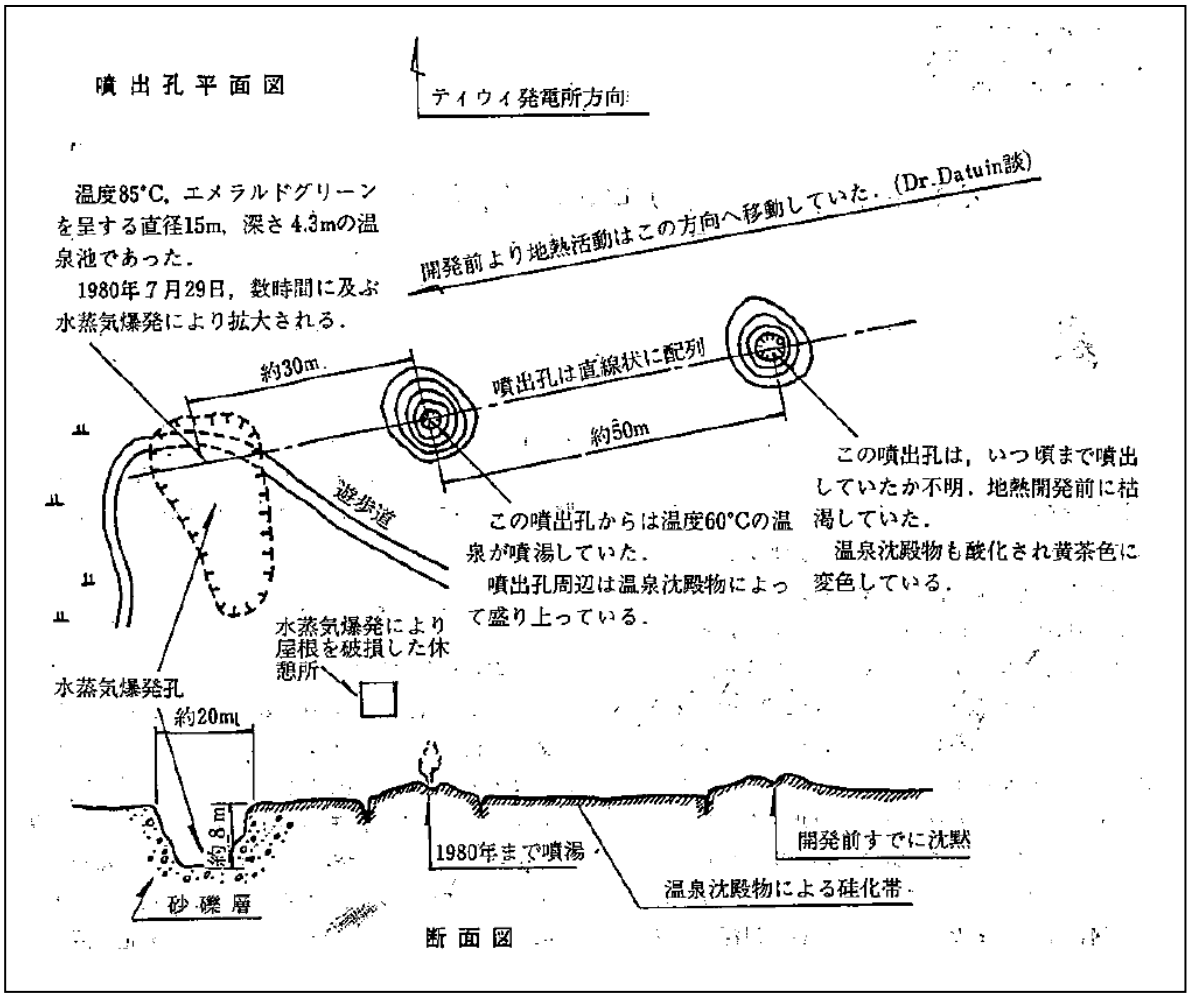


図 3.3-13　ティウィ温泉公園、水蒸気爆発孔周辺見取り図（倉沢、1984）

表 3.3-4　マリナオ火山の噴火記録　（安藤、1984）

火山名	分類番号	位置		
		緯度	経度	地名
MALINAO (マリナオ)	7, 3—4	13°24′N	123°33′E	SE Luzon, Philippines

報告者	組織	住所
O. PEÑA	Commission on Volcanology	5th Floor Hizon Bldg., Quezon Ave., Quezon City, Philippines

概説

前　兆：観測による

噴火期間：1980.7.29～1980.7.29

噴火の連続性，場所及び性状

日時	場所	性状
1980.7.29	マリナオ火山東斜面 Naglagbong温泉地域	○○ ↑ (ℓ)

○ ……中央火口で噴火
○○ ……寄生噴火口での噴火
↑ ……硫気孔地域　蒸気
↑ ……水蒸気爆発　泥の噴出
(ℓ) ……噴出量が10,000m³以下

ティウィ発電所と温泉公園の水蒸気爆発について

＜抜粋＞

温泉公園の水蒸気爆発、温泉枯渇の原因は、これまでの文献や今回の調査から次のように解釈される。

(1) ダトウィン博士の説明では、ティウィ地熱地帯の発電としてのキャパシティーは 220MW が限度であるが、これを 110MW も上回る大規模開発がなされた。

(2) しかも、地下から取り出している地熱流体は、三つの発電所の合計出力が 330MW であるから蒸気量は 3,300 t / H、蒸気と熱水の比率を 1：2 とすると熱水量は 6,600 t / H、蒸気量と熱水量を合わせて 9,900 t / H といった膨大なものであった。

(3) 上記のうち発電に使用しない熱水量 6,600 t / H は、全量地下還元されないで海へ放流されていた。

(4) 地熱流体の採取深度は浅いもので 400 m、深いもので 2,800 m と非常にバラエティーに富んでいる。このことは、地質構造が浅部熱水系と深部熱水系とに分割されている構造ではないことを示しており、そのため開発が温泉公園の直下にまで及んだ。

(5) したがって、熱水地帯から多量の地熱流体を採取したため温泉水位全体が低下し、これまで温度 85℃で噴湯していた温泉は、水位低下とともに温度が上昇し蒸気化した。

(6) 温泉公園の地表面は、硅化した温泉沈殿物によって厚く被覆されているため蒸気圧を更に高めた。

(7) 高圧となった蒸気は、これまで勢いよく噴湯していた温泉池に捌け口を求めて爆発した。数時間に亘り間欠的に爆発を繰り返した後、蒸気圧は平衡となり、これまで噴湯していた温泉は次第に噴出水頭を失い枯渇した。

引用文献：倉沢辰巳（1984）ティウィ発電所と温泉公園の水蒸気爆発について. 地熱、21、196-197.

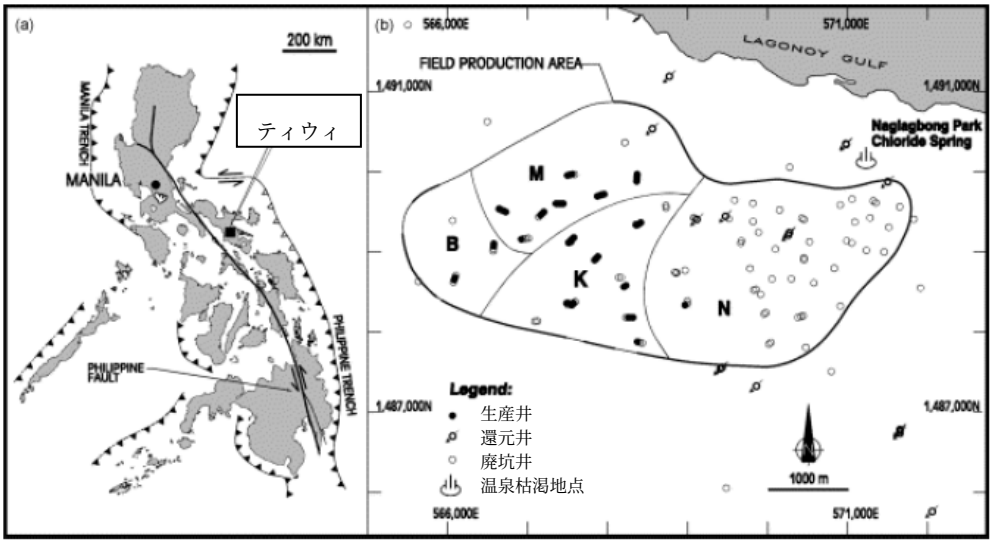


図 3.3-14　ティウィ地熱地帯の位置図（Menzies et al., 2010）

（N **地区**：Naglagbong、K **地区**：Kapipihan、B **地区**：Bariis、M **地区**：Matalibong）

■**<u>トンゴナン</u>（Tongonan）(熱水卓越系)**

バオ川（Bao River）沿いに温泉が分布。1973 年～1979 年に行われた掘削・採取テストの結果、温泉への明らかな影響は見つからなかったため、1983 年に地熱発電開始。

開発が始まると温泉活動が明らかに減少した。地域の温泉の流量が低下し、殆どの温泉が枯渇するか湧出しなくなった（図 3.3-15）。地域の温泉の塩化物濃度も、地熱開発が開始すると低下した（開発前 1981 年～1982 年は 2500～3500 mg/kg、開発後 1989 年は 500～1500 mg/kg）（図 3.3-16）。

これらは貯留層の圧力低下が原因とされる。塩水還元が行われると塩化物濃度が増加した。還元により流量の増加もみられた（図 3.3-17）。（Hunt，2001）

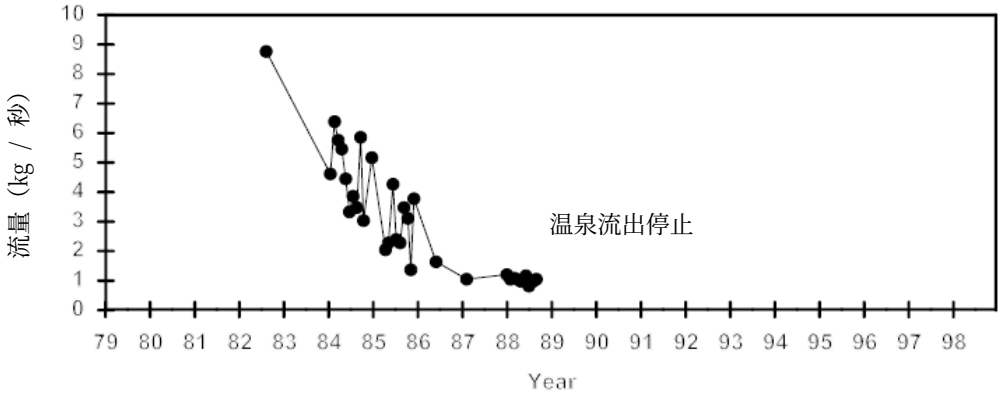


図 3.3-15　トンゴナンの第 16 号温泉における流量の変化（Hunt，2001）

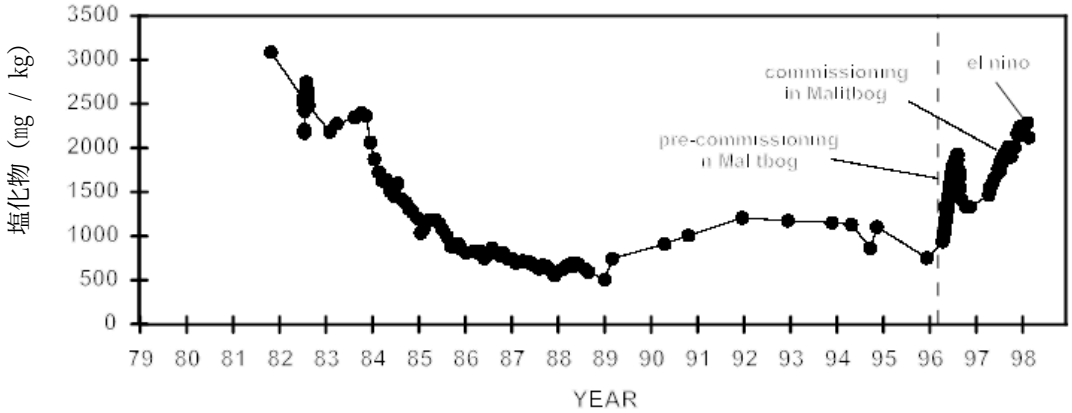


図 3.3-16　トンゴナンの第 1 号温泉における塩化物濃度の変化（Hunt，2001）

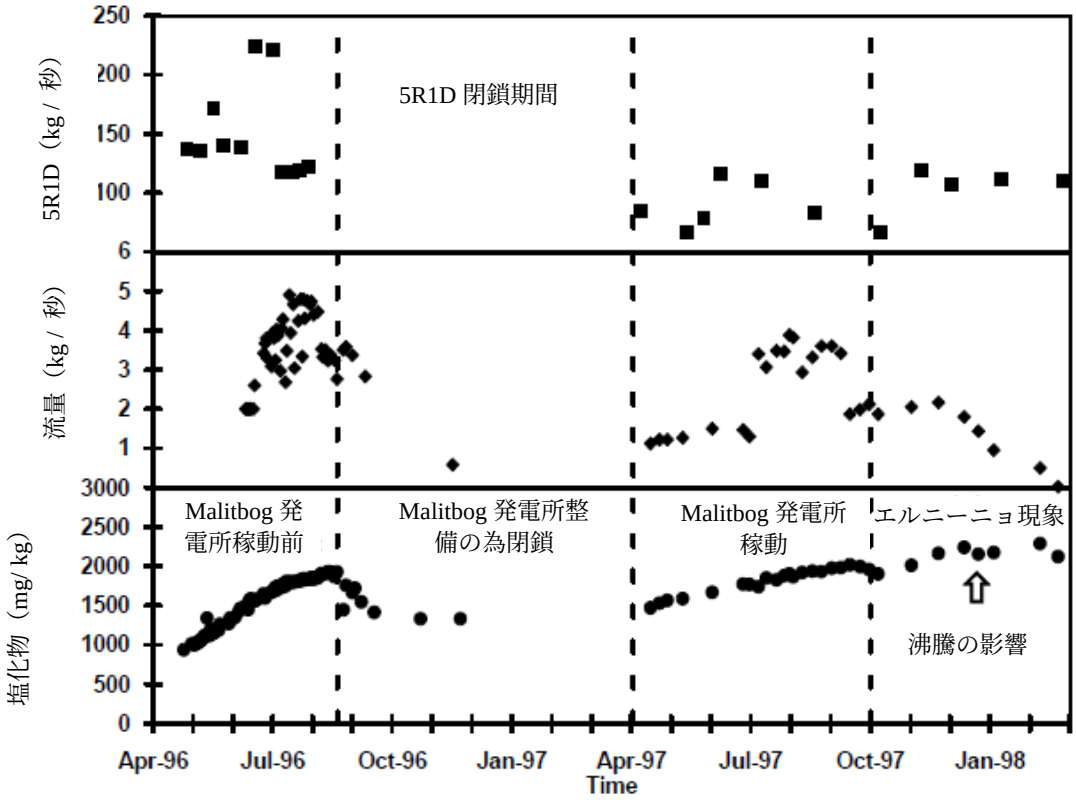


図 3.3-17　坑井 5R1D への熱水還元量と第 1 号温泉における流量・塩化物含有量の関係

（Hunt, 2001）

(3)　イタリア

■ラルデレロ（Larderello）（蒸気卓越系）

1904 年に世界で初めて地熱発電が行われ、1910 年代に約 3,000 キロワットの発電を開始。井戸は 10～15 年間程度維持できるが、新しい井戸の開発が必要であったため、次第に開発地域は拡大し（後藤、1986）、2000 年より大規模修復作業が実施され、衰退した発電プラントに代わるより発電効率の良い新しいプラントが建設されている（DiPippo, 2008）。

当該地域において開発前は天然の蒸気やガス噴出が数多く見られていたが、開発により殆ど止まってしまった（Hunt, 2001）。1970 年代初期頃に新たに導入された環境法に従い、発電所から排出される蒸気凝縮物の処理目的で還元が開始された（Cappetti et al., 1995）。

1980 年代初期には、当該地域における貯留層の資源量低下を防ぐためには還元が不可欠と考えられるようになり（DiPippo, 2008）、1980 年代半ばごろから排水還元は開発計画の中で重要な要素となった（Cappetti et al., 1995）。

図 3.3-18　ラルデレロ位置図（Bertani, 2005a）

(4) 米国

■ガイザー（The Geysers）（蒸気卓越系）

11MW の発電所として 1960 年に生産を開始、横方向の広がり（lateral extent）及び発電量の面で世界最大規模の発電地である。

掘削を開始してから、温泉の流出量が減少し、1980 年代末期以来蒸気供給量も減少している（Hunt, 2001)。1980 年代半ばごろから注水が行われているが、1997 年にはレイク郡の排水および湖水を 46.4 km に及ぶパイプラインで引く大規模な注水プロジェクト（2,200 万リットル/日）が始まり、さらに 2003 年には 64 km のパイプラインを用いたサンタロサ市の排水の注水プロジェクト（3,000 万リットル/日）も開始（Majer, 2007）され、生産量の減少には歯止めがかかったとされている（DiPippo, 2008)。

ただ、当該地域における地熱開発に伴い、地震発生頻度が増加し発生地域も拡大した。1965 年以降の地震観測記録（図 3.3-20）に示されている通り、注水量の増加に伴い主にマグニチュード 3 未満の小規模な地震の発生件数が増加していることが分かる。サンタロサ市からの排水の注水が開始された 2003 年からの 2 年間にマグニチュード 4 以上の地震も頻発しており、地域住民は微小地震の頻発並びにマグニチュードの大きい地震の発生に対して不安を持っている。(Majer, 2007)

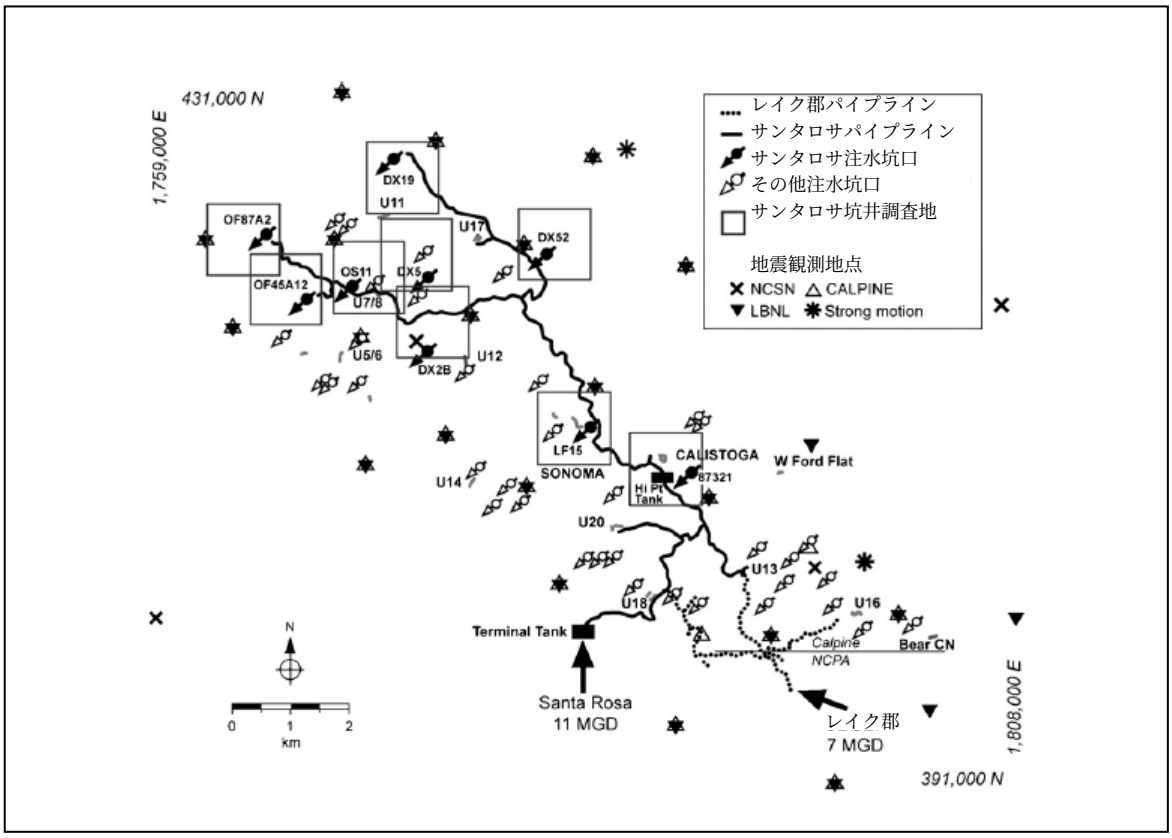
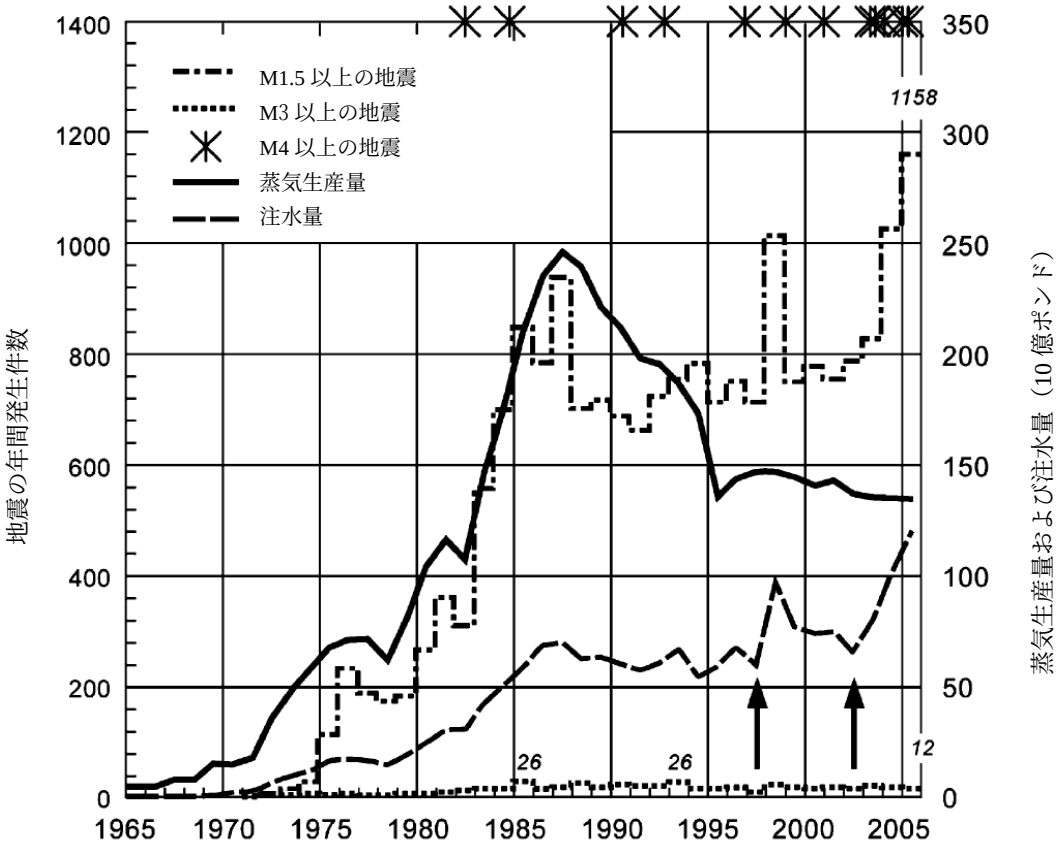


図 3.3-19　ガイザーにおける地震観測地点、パイプライン、注水井の位置（Majer, 2007）



（矢印は、注水量が増加した 1997 年と 2002 年）

M：ローカルマグニチュード、10 億ポンド：約 454 x 10^6 トン（Majer, 2007）

図 3.3-20　1965 年から 2006 年 10 月までのガイザーにおける地震観測記録

(5)　スイス

■バーゼル（Basel）（高温乾燥岩体系）

バーゼルでは、①社会的・政治的意欲（willingness）、②好適なインフラ（地域暖房網（district heating grid）、河川冷却（river cooling））、③高い熱流量（elevated heat flow）を考慮して、EGS 地熱発電のパイロット発電所候補地として選択された（Häring et al., 2007）。

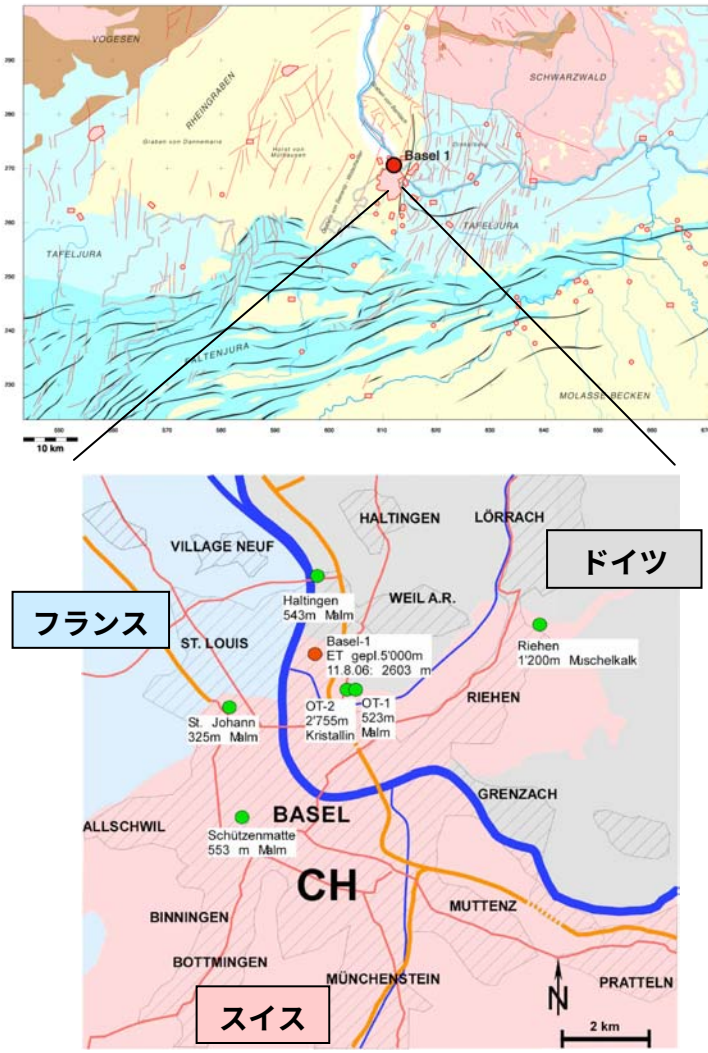


図 3.3-21　坑井 Basel 1（●）、モニタリング井（●）の位置図（Haring et al., 2007）

EGS（Enhanced Geothermal Systems）は、主に浸透性が低く熱水系が形成されていない高温岩体に対して人工的に注水井をつくり冷水を送り、熱水となったものを他の生産井より取り出し、地熱発電を行うシステムである（Majer et al., 2007）。

当該地域では、生産井 2 基、注水井 1 基を用い、加圧した大量の水を深さ約 5 km の坑井に注ぎ込む計画がなされた（Häring et al., 2007; Majer et al., 2007）。2006 年 12 月 2 日に本格的な注水が開始されたが、2006 年 12 月 8 日に、注水井の直ぐ近くでマグニチュード 3.4（最大）の地震が発生したため、本プロジェクトは停止された(Häring et al., 2007; Majer et al., 2007)。しかし、プロジェクト停止後も、M3.1（29 日後）、M3.2（39 日後）、M3.3（55 日後）が観測され、5 ヶ月後（5 月 6 日）まで M2 以上の地震が観測された（Häring et al., 2007）。

3.3.2　その他参考事例

地熱開発ではなく大規模な温泉開発での影響事例や、国立公園内での大規模な開発の例、バイナリー発電の例について、その概要を整理した。

■<u>ロトルア</u>（Rotorua）

ニュージーランドで最も有名な地熱地帯の観光地であった（本松、1982）。

1960 年代初め及び 1970 年代半ばに多くの坑井が掘削され、採取量が急速に増加するにつれて、間欠泉及び温泉が次第に枯渇。1982 年にロトルア地熱モニタリングプログラム（Rotorua Geothermal Monitoring Programme）が設立され（24 のモニタリング井戸設置）、1986 年には中央政府による坑井閉鎖プログラム（bore closure programme）および懲罰的使用料賦課制度（punitive royalty charging regime）（課税：tax）(Hunt, 2001)が開始された。

・1985 年までに生産に利用されていた坑井の数は約 500。
・1987～1988 年：世界的に有名なポフツ間欠泉から半径 1.5 km 以内の 106 の坑井閉鎖。
・半径 1.5 km より外に位置する残りの全坑井に対して懲罰的使用料賦課制度が施行され、さらに 120 の坑井も結果的に閉鎖。

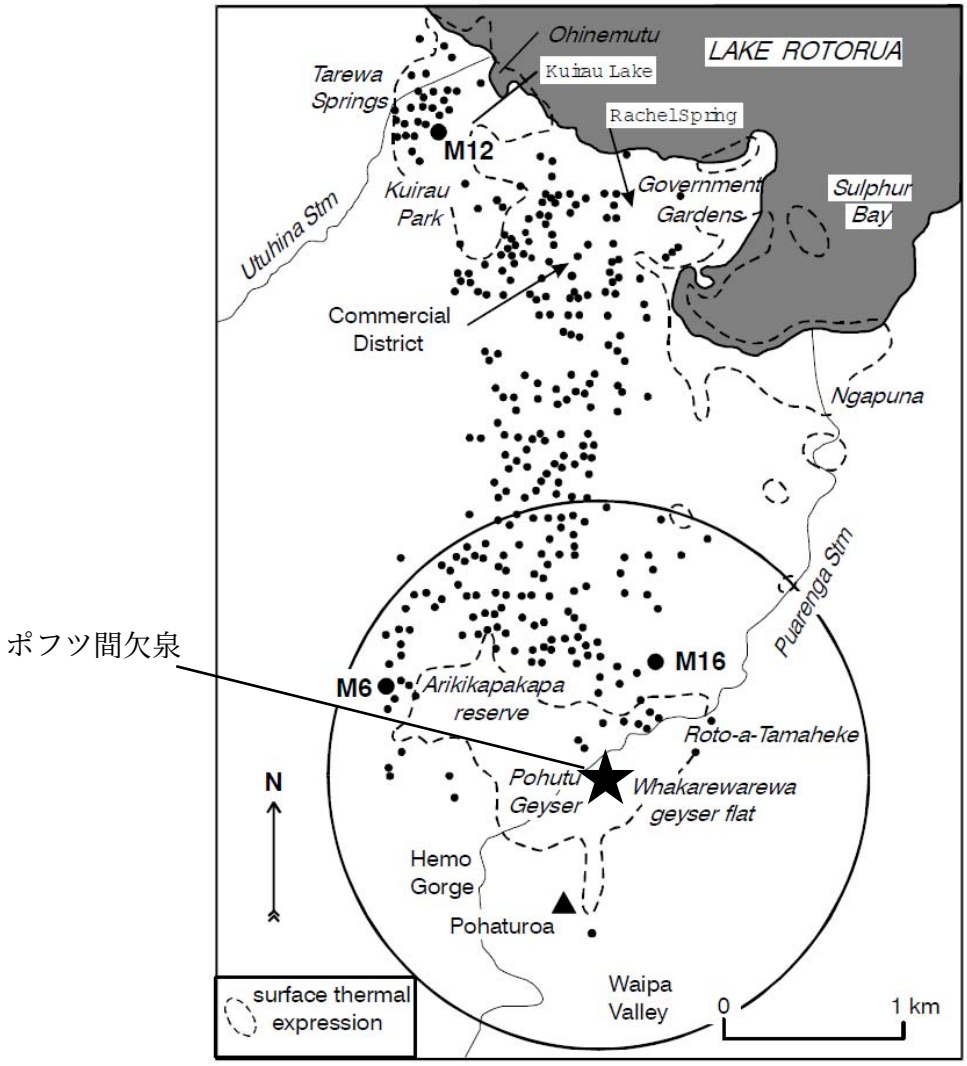


図 3.3-22　坑井の位置（1985 年）（●）、モニタリング井戸（M6、M12、M16）、地熱地帯（thermal areas）（点線内）、全坑井閉鎖エリア（円内部）位置図

坑井閉鎖と使用料賦課が始まると、採取量が減少し、還元量が増加した（図 3.3-23）。1987 年末には全てのモニタリング井戸において水位または圧力の急上昇がみられ（1～2 m 又は 0.1～0.2 バール）、以来現在まで引き続き除々に回復している（計 2～2.5 m）（図 3.3-24）。

- *Parekohoru Spring*: 1985～86 年冬に、初めて溢水が数日間停止。1988 年（坑井閉鎖）以降は停止していない。20 世紀初めに報告されていた様な大量の溢水を伴う湧出が 1995 年に復活し、現在まで続いている。
- *Rachel Spring*: 1967 年に湧出および沸騰が最後に記録されて以来止まり、1967 年から 1987 年の水位は、湧出レベルから 1.2～1.7 m 下で水温は 70～80 度だった。1988 年末（坑井閉鎖）からは絶えず沸騰・湧出しており、湧出が数日間止まることはあるが、水位は湧出レベルの 0.1 m 下より高く保たれている。（Hunt, 2001）

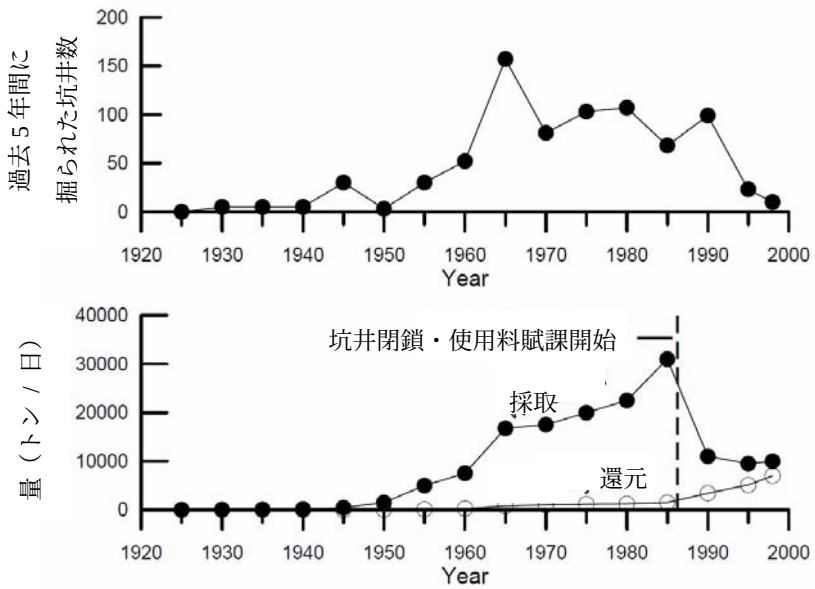


図 3.3-23　ロトルアにおける坑井掘削の歴史および流体採取量・還元量の変化

（Hunt, 2001）

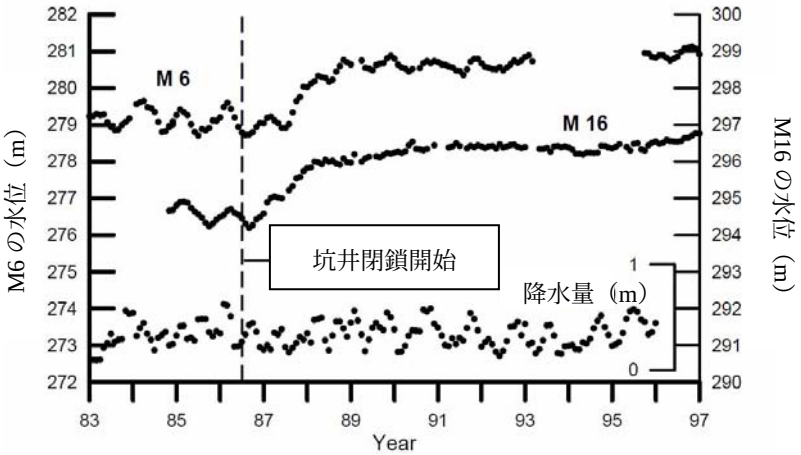


図 3.3-24　ロトルア市のモニタリング井戸（M6、M16）における水位変化（Hunt, 2001）

■**オルカリア（Olkaria）(熱水卓越系)**

ケニアにおける国立公園内の地熱開発例を示す。

1979 年に建設、1981 年に第一発電所（Olkaria I）が運転開始された。発電規模は 130MW。面積は約 80 km^2（Muburu & Mwangi, 2006）、坑井数は 98 井（2005 年現在)である（Ofwana, 2006)。参考までに関係する連絡先を表 3.3-5 に示す。

開発地の大部分が、1984 年に設置されたヘルズ・ゲート国立公園（Hells-Gate National Park）内部に位置する（Mwangi, 2006)。

図 3.3-25　オルカリア位置図　(Muburu & Mwangi, 2006)

図 3.3-26　ヘルズ・ゲート国立公園とオルカリアの位置図（Google, 2010)

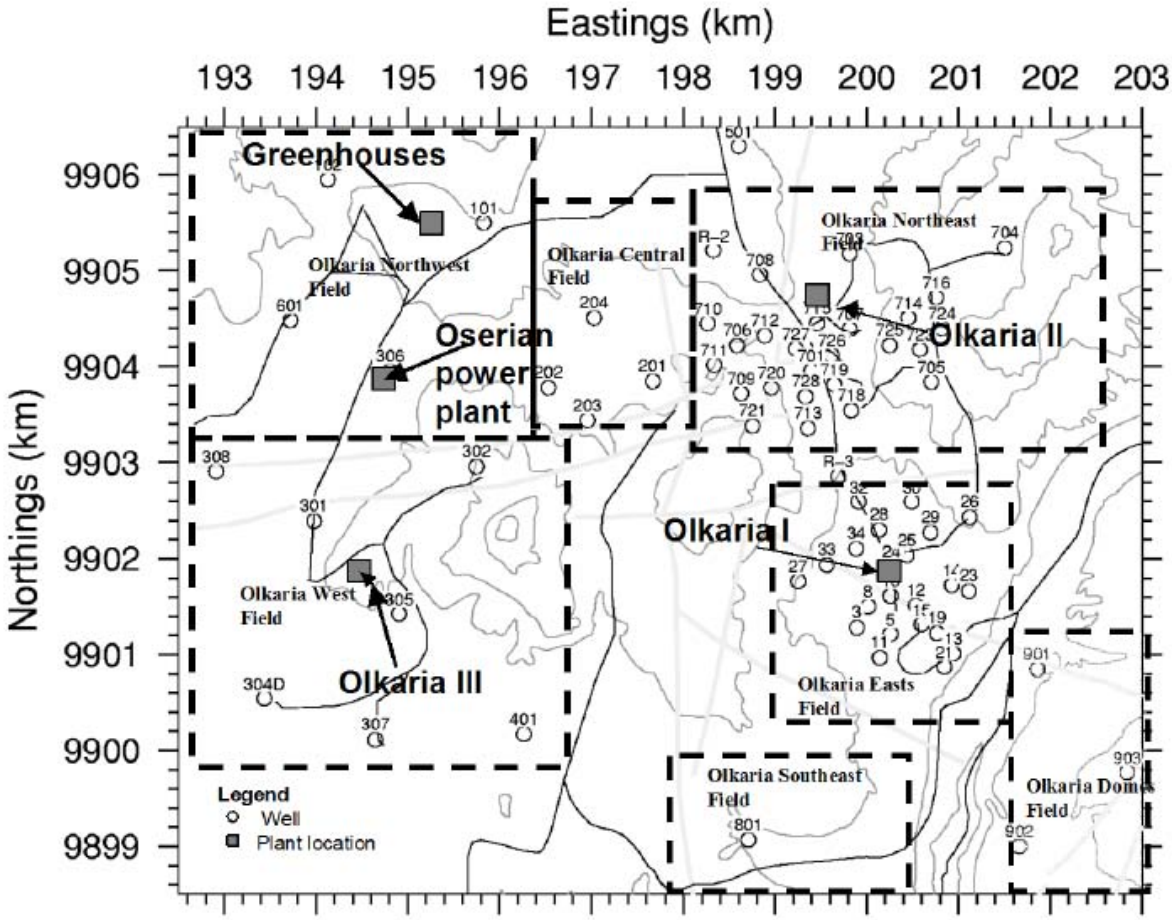


図 3.3-27　オルカリア地熱地域（7 地区）および発電所の位置図　(Muburu & Mwangi, 2006)

表 3.3-5　関係する連絡先（参考）

住所：	Stima Plaza, Phase III Kolobot Road, Parklands P. O. Box 47936, 00100 GPO Nairobi, Kenya
電話：	+254-20-3666000
FAX：	+254-20-2248848
E-mail：	comms@kengen.co.ke
URL：	http://www.kengen.co.ke/index.php

■**プナ**（Puna）(熱水卓越系)

米国、ハワイ島における最新技術の例としてバイナリー発電の地熱発電所を示す。

バイナリー及びフラッシュのバイブリッドプラント（hybrid binary and flash plant）で、ハワイ島の電力の 25%近くを供給している（EERE, 2004)。1976 年に掘削開始され、1993 年に生産開始された。発電規模は 30MW、面積は 1～2 km^2（Bertani, 2005b）である。生産井は 5 本、還元井は 4 本である（Puna Geothermal Venture, 2008)。参考までに関係する連絡先を表 3.3-6 に示す。

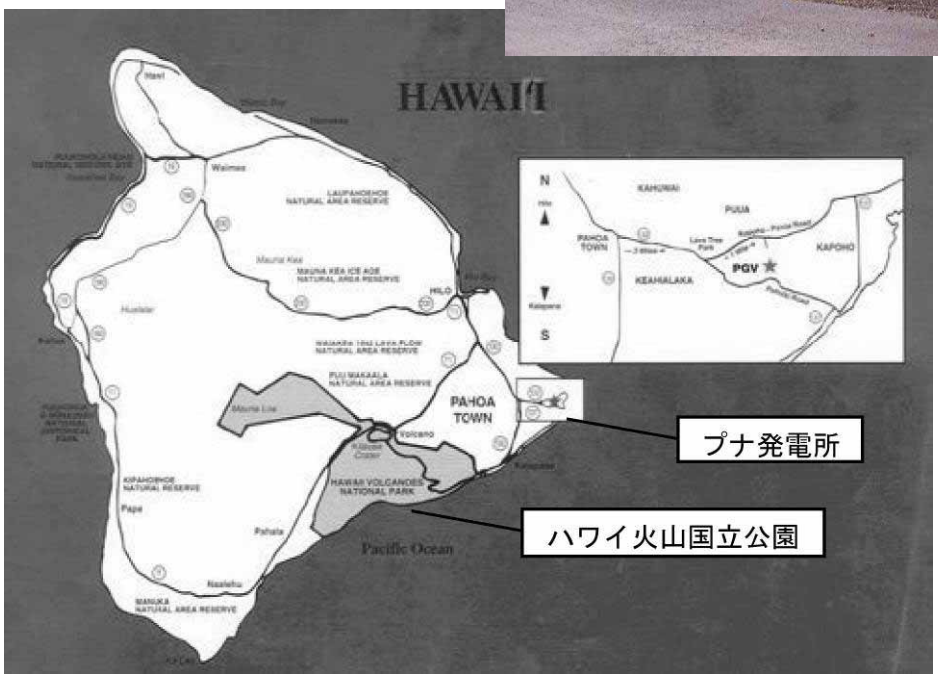


図 3.3-28　プナ地熱発電所位置図　（PGV，2008）

表 3.3-6　関係する連絡先（参考）

住所：	Puna Geothermal Venture
	An affiliate of Ormat Technologies, Inc.
	P.O. Box 30
	Pahoa, HI 96778
電話：	808-965-6233
FAX：	808-965-7254
URL：	www.punageothermalventure.com

海外事例に関する引用文献一覧

・Bertani, R. (2005a). World geothermal generation 2001-2005: state of the art. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 1-19.
・Bertani, R. (2005b). World geothermal power generation 2001-2005. International Geothermal Development, 89-111.
・Cappetti, G., Parisi, L., Ridolfi, A., Stefani, G. (1995). Proceeding of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, 1009-2000.
・DiPippo, R. (2008). Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact (2nd ed.), Oxford: Elsevier.
・Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J. (1977). Chemistry and geothermal systems. Academic Press, 324-375
・Glover, R.B. & Hunt, T.M. (1996) Precursory changes to natural thermal features during testing of the Wairakei and Broadlands-Ohaaki fields. Proceedings of the 18th New Zealand Geothermal Workshop, Geothermal Institute, Auckland, 69-76.
・Haring, M.O., Ladner, F., Schanz, U., and Spillmann, T. (2007). Deep Heat Mining Preliminary Results. Downloaded from Geothermal Explorers website on April 25, 2010: http://www.geothermal.ch/fileadmin/ docs/downloads/dhm_egc300507.pdf
・Hunt, T.M. (1997). 地熱開発による環境への影響の緩和策　ニュージーランドの事例（Mitigating the impact of Geothermal Development: an Example from New Zealand）（玉生志郎訳）地質ニュース 516 号, 37-42 頁
・Hunt, T.M. & Bromley, C.J. (2000). Some environmental changes resulting from development of Ohaaki geothermal field, New Zealand. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, 621-626.
・Hunt, T.M. (2001). Five lectures on environmental effects of geothermal utilization. United Nations University, Geothermal Training Programme, Iceland
・Lee, S. & Bacon, L. (2000). Operational history of the Ohaaki geothermal field, New Zealand. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, 3211-3216.
・Majer, E.L., Baria, R., Stark, M., Oates, S., Bommer, J., Smith, B., Asanuma, H. (2007). Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems, Geothermics, 36, 185-222.
・Menzies, A.J., Villasenor, L.B., Sunio, E.G. (2010). Tiwi Geothermal Field, Philippines: 30 Years of Commercial Operation. Proceeding World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 1-6.
・Thermal Systems, 2007; http://me1065.wikidot.com/hot-dry-rock-geothermal-power-plants, 7 December 2007 [updated], 26 November 2010 [accessed].
・Muburu, M. & Mwangi, M.N. (2006). Lecture 1: Update of geothermal development in Kenya and other African countries. In M.N. Mwangi (Ed.), Lectures on geothermal in Kenya and Africa, 1-14. United Nations University Geothermal Training Programme, 2005.
・Mwangi, M.N. (2006). Environmental and socio-economic issues of geothermal development in Kenya. Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects in Central America, UNU-GTP and LaGeo, El Salvador.
・Ofwana, C. (2006). Lecture 3: Olkaria reservoir response to exploitation and future development. In M.N. Mwangi (Ed.), Lectures on geothermal in Kenya and Africa, 29-40. United Nations University Geothermal Training Programme, 2005.
・Bertani, R. (2005b). World geothermal power generation 2001-2005. International Geothermal Development, 89-111.
・Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), U.S. Department of Energy (2004). Geothermal Technologies Program: Tapping the Earth's energy to meet our heat and power needs. National Renewable Energy Laboratory
・Puna Geothermal Venture: What's happening at PGV; http://www.punageothermalventure.com/News/55/hawaiis-geothermal-story, 16 September 2008 [updated], 29 October 2010 [accessed].
・安藤斌（1984）ティウィ周辺の最近の火山活動について．地熱、21、194－195.
・馬場健三（1964）ニュージーランドワイラケイ地熱地域をたずねて、地質ニュース、116 号、実業広報社
・大木靖衛、渡部暉彦（1992）地熱と温泉．In 横山、荒牧、中村 （編）、火山、第 8 章：地熱と温泉、215－246、岩波書店
・倉沢辰巳（1984）ティウィ発電所と温泉公園の水蒸気爆発について．地熱、21、196－197.
・栗島敏（1984）インドネシア・フィリピンの掘削状況について．地熱、21、198－206.
・後藤達夫（1986）イタリアのラルデレロ地熱発電所および中部イタリアの温泉地について.温泉、54、15-21.
・玉生志郎（1998）ワイラケイ地熱発電所での環境影響事例．地熱、35、1－22.
・本松利郎（1982）ニュージーランドのワイラケイにおける地熱開発と地熱徴候地域の変化に関する一考察．地熱、19、192－207.

参考文献

日本地熱学会（2010）地熱発電と温泉利用との共生を目指して、1－62.

第 4 章　地熱開発における環境保全の取り組み

4.1　環境影響評価制度の経緯と時代背景

我が国で環境影響評価の取り組みが本格的に開始されたのは昭和 47 年の閣議了解以降であり、昭和 52 年に通産省の省議決定に基づく環境影響評価が整備された。既設の地熱発電所において実施された環境影響評価はすべて省議アセスに基づいている。

平成に入り地球サミット開催など国際的にも環境問題への意識が高まり、我が国では環境基本法を受けて平成 9 年に環境影響評価法が制定された。この結果、スクリーニング、スコーピング等の観点が加わり、より環境に配慮した開発が求められることとなった。ただし環境影響評価法施行後の地熱発電所の新規建設はなく、法の適用事例はない。

なお、地球温暖化の抑制に関わる国際的な取り組みが始まり、現在は温室効果ガスの削減が特に環境問題として注目されている。

発電所建設と環境に関わる主な法制度等			環境に関わる主な法制度や社会的動向	
昭和			昭和	
			6 年	国立公園法
			23 年	温泉法
			25 年	文化財保護法
		・自然風景地の保全 ・生活環境の保全 ・原生自然環境の保全	32 年	自然公園法
41 年	我が国初となる松川地熱発電所の運転開始		42 年	公害対策基本法
			47 年	各種公共事業に係る環境保全対策について（閣議了解）
52 年	発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について（通産省・省議決定）		48 年	自然環境保全法
59 年	環境影響評価の実施について（閣議決定）			
平成			平成	
		・持続可能な開発 ・身近な自然、生物多様性の保全	4 年	地球サミット開催 生物多様性条約締結 種の保存法
			5 年	環境基本法
9 年	環境影響評価法制定 電気事業法改正		9 年	京都議定書の議決 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法
11 年	環境影響評価法施行	・地球温暖化の抑制 ・自然再生エネルギーの利用	11 年	地球温暖化対策の推進に関する法律
			17 年	京都議定書の発効
			20 年	生物多様性基本法

図 4.1-1　発電所建設に係る主な法制度の経緯と社会的動向

4.2　地熱発電所の環境影響評価

地熱発電所の環境影響評価は、昭和 52 年の通産省・省議決定（発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について）を受けて、いわゆる「省議アセス」として実施されてきた。これまでにアセス手続きを踏まえて建設された地熱発電所は、すべて省議アセスに基づくものである。

省議アセスが実施された全発電所について、アセス図書（環境影響調査書）で対象とされ項目の一覧は表 4.2-1 の通りである。

第 1 号事例である森発電所では選定項目が比較的少ないが、その他の発電所では選定項目が類似しており、それぞれの発電所の立地環境や周辺環境、気温等により個々の特徴はみられるものの、アセス図書の内容としては概ね同様である。

これらの選定項目に基づき、実際に取り組まれた環境影響予測と環境保全措置の例を表 4.2-2 に、事後調査計画を表 4.2-3 示した。（既設発電所の中から運転開始の年代が平成 8 年と比較的新しく、設備容量が当初 25,000kWと中規模である滝上発電所を例示。）

表 4.2-1　省議アセスで対象とされた項目

＜建設段階＞

	項　目	省議アセス実施の発電所								
		森	八丁原	上の岱	澄川	山川	柳津西山	葛根田	大霧	滝上
	運転開始年	S57	H2	H6	H7	H7	H7	H8	H8	H8
大気環境	騒音	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	振動	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水環境	作業排水（濁水）	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	生活排水	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	取水（河川、地下水）	●	●	●	●	●	●	●	●	●
地形等	掘削した土石の処理	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	骨材の採取		●	●	●	●	●	●	●	●
	地盤変動		●	●	●	●	●	●	●	●
	土壌汚染		●	●	●	●	●	●	●	●
動植物	植生	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	陸生動物	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	水生動物						●	●	●	●
工事	坑井掘削		●	●	●	●	●	●	●	●
その他	陸上交通	●	●	●	●	●	●	●	●	●

＜操業段階＞

	項　目	省議アセス実施の発電所								
		森	八丁原	上の岱	澄川	山川	柳津西山	葛根田	大霧	滝上
	運転開始年	S57	H2	H6	H7	H7	H7	H8	H8	H8
大気環境	硫化水素（大気汚染、悪臭）	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	騒音	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	振動	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水環境	熱水の排出	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	冷却排水	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	一般排水（生活排水、作業排水）	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	河川の取水		●	●	●	●	●	●	●	●
	地下水の取水				●	●	●	●	●	●
地形等	地形及び表層の土壌（地質）	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	地盤変動	●	●	●	●	●	●	●	●	●
動植物	植生	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	陸生動物	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	水生動物			●	●		●	●	●	●
	樹木への着氷	●	●	●	●		●	●	●	●
景観	自然景観等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
廃棄物等	冷却塔からの汚泥		●	●	●	●	●	●	●	●
	廃油（潤滑油）		●	●	●	●	●	●	●	●
その他	温泉		●	●	●	●	●	●	●	●
	土地利用等	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	産業活動	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	陸上交通	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	文化財及びレクリエーション施設等	●	●	●	●	●	●	●	●	●

※葛根田及び八丁原は 2 号機が省議アセスの対象

表 4.2-2　省議アセス報告書における環境影響予測と環境保全措置の例　　(1/2)

※表中の「―」は原典に記載なし

	影響項目	建設時	操業時	ﾒﾝﾃﾅﾝｽ時	補充井掘削時	影響予測値	環境保全措置	環境保全措置後の計画値
大気環境	硫化水素		●			・排出濃度…約 2ppm ・排出量…約 11m³N/h （m³N とは、温度が 0℃・圧力が 1 気圧の状態に換算した気体 1m³）	・蒸気中に含まれる硫化水素はガス抽出器により復水器から抽出し、冷却塔頂部に導き、冷却塔から排出される多量の空気と混合希釈して上昇拡散させる。 ・これにより着地濃度を低減。	・冷却塔からの硫化水素の拡散予測を風洞実験にて実施した結果、最大着地濃度は発電所計画地内での 0.0192ppm と低い値が得られた。
				●		―	・定期点検時はサイレンサーから蒸気を大気に放出。	―
	騒音	●				―	・建設機械はできるだけ低騒音型を採用。 ・作業時間は夜間や早朝を避ける。	―
			●			―	・騒音の発生源となる機器は原則として本館建屋内に設置。 ・屋外設置のものは低騒音型機器の採用や防音断熱被覆材を使用。 ・生産井にはサイレンサーを設置。	・発電所敷地境界における騒音レベルの予測値は 44～53 デシベルである。
	振動	●					・建設機械はできるだけ低振動型を採用。 ・作業時間は夜間や早朝を避ける。	―
			●			―	・振動の発生源となる機器は、基礎を強固にして設置。	―
水環境	濁水	●				―	・建設工事に伴う濁水は、必要に応じて仮設沈殿池で処理したのち、上澄水を最寄りの河川へ排出。 ・坑井掘削に伴う排泥水は、泥水処理装置により水と汚泥に分離し、水は掘削用水として再利用、汚泥は産業廃棄物処理業者に委託して処分。	―
	熱水の排出		●			・温度…約 133℃ ・熱水量…約 1,140t/h ・pH…3.6～9.2、Cl⁻…617～864mg/l、砒素…0.6～1.4mg/l、総水銀…検出限界以下	・熱水の飛散を防止。 ・気水分離器で分離した熱水は、地下深部まで鋼管を挿入した還元井により全量を還元。	―
	冷却排水		●			・排水量…日最大約 2,900m³/日	・冷却排水は蒸気の凝縮水であり、中和剤によって水素イオン濃度を調整した後、野上川へ排出。 ・水質汚濁防止法に基づく排水基準を満足させる。	・温度…約 33℃以下 ・pH…6.5～8.5、Cl⁻…7mg/l 以下、砒素・総水銀…検出限界以下
	作業排水		●			・排水量…日平均約 6m³/日	・油分離槽で処理したのち、冷却排水とともに野上川へ排出。	・pH…6.5～8.5、BOD…90mg/l 以下、ｎ-ヘキサン抽出物質…2mg/l 以下、SS…20mg/l 以下
	生活排水（工事時）	●				―	・必要に応じて仮設沈殿池で処理したのち、上澄水を最寄りの河川へ排出。 ・屎尿は汲み取り式とし、専門業者に処理を委託。	―
	生活排水		●			・排水量…日平均約 5m³/日	・油分離槽で処理したのち、冷却排水とともに野上川へ排出。	・BOD…90mg/l 以下
	河川の取水	●				―	・工事中の用水は野上川の既得水利使用許可の範囲に限定。	―
			●			・発電設備用水…約 6m³/日 ・蒸気設備用水（生産井管理用水）…約 3m³/日	・野上川から少量のみ取水。	―
				●		・発電設備用水（定期点検）…最大約 2,400m³/日	・冷却排水を再利用。（上記「冷却排水」を参照）	―
					●	・蒸気設備用水（補充井掘削時）…最大約 1,400m³/日	・冷却排水を再利用。（上記「冷却排水」を参照）	―
	地下水	●				―	・発電所計画地点内の井戸から少量のみ取水。 ・坑井は、地下深部まで鋼管と坑井壁との間をセメンチング。	
			●			・生活用水…約 5m³/日	・発電所計画地点内の井戸から少量のみ取水。	―

表 4.2-2　省議アセス報告書における環境影響予測と環境保全措置の例　　(2/2)

※表中の「―」は原典に記載なし

	影響項目	建設時	操業時	ﾒﾝﾃﾅﾝｽ時	補充井掘削時	影響予測値	環境保全措置	環境保全措置後の計画値
地形等	地形及び表層の土壌	●				・敷地面積…約 418,400m^2 ・残土量……約 45,400m^3	・土地の改変面積は必要最小限。 ・切土、盛土を調整し、残土は土捨場へ埋め立て。 ・法面は植生保護工および排水工により土砂流出を防止。 ・土壌汚染の原因となるような物質は使用しない。	―
	掘削した土石	●				―	・掘削した土石は基礎工事の埋戻土、整地等に使用し、残った土石は土捨場にて適切に処理。	―
	骨材の採取	●				―	・すべて市販品を使用し独自の採取は行わない。	―
	道路	●				・進入道路…約 2,300m ・発電所道路…約 500m	・土地の改変面積は必要最小限。	―
	地盤変動	●	●		●	―	・地熱流体は生産井より自然噴出させて採取し、熱水は還元井により全量を地下深部へ還元。 ・地盤変動の原因となる浅部地下水系に影響を及ぼさないように、生産井や還元井は坑井壁との間をセメンチング。 ・井戸からの取水は少ない。	―
動植物	植物	●	●			・敷地面積…約 418,400m^2	・土地の改変および樹木の伐採範囲は必要最小限。 ・工事中は、工事関係者に対して植物の採取及び植物の生育場所の保全に関する啓蒙、指導及び監督に努める。 ・法面は種子吹付および張芝。 ・敷地は周辺植生や環境条件を考慮して適切な樹種および植栽方法を選定する。植栽後は適切な維持管理に努め、周辺環境と調和。 ・冷却塔からの水蒸気について、計画地点は年間の降雪日数が少なく、冬季における蒸気噴出試験においても樹木の着氷現象がみられなかった。	・高木植栽…コナラ、クヌギ、ヤマザクラ、スギなど ・中低木植栽…ウツギ、ガマズミ、ミヤマキリシマなど
	動物	●	●			・敷地面積…約 418,400m^2	・土地の改変および樹木の伐採範囲は必要最小限。 ・工事中は、工事関係者に対して動物の捕獲、威嚇及び動物の生息場所の保全に関する啓蒙、指導及び監督に努める。 ・鳥類の好む食餌植物を植栽。 ・なお水生動物への措置は上記「水環境」と同様。	―
景観	景観	●				―	・建屋の形状、色彩等を配慮。 ・土地の改変および樹木の伐採範囲は必要最小限。 ・改変部は緑化し、自然景観と調和。	―
廃棄物等	冷却塔からの汚泥		●			・発生量…約 15t/年	・廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づき適切に処理。 ・廃棄物処理業者に委託し処分。	―
	廃油（潤滑油）		●			・発生量…約 2kl/年	・廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づき適切に処理。 ・廃棄物処理業者に委託し処分。	―
温泉事業	温泉		●		●	―	・生産井や還元井は坑井壁との間をセメンチングし、浅部の温泉へ影響を与えない。（浅部の温泉と深部の地熱流体とは不透水層で隔てられている。） ・運転開始後は温泉のモニタリングを実施し、必要に応じ所要の措置を講じる。	―
その他	土地利用	●	●			―	・土地の改変および樹木の伐採範囲は必要最小限にとどめ既存林の保全に努める。	―
	産業活動	●	●	●	●	―	・樹木の伐採範囲は必要最小限。 ・熱水は全量を地下に還元。 ・冷却排水の水質は良好で一般排水は適切に処理。 ・諸物資等の調達は地元の商店を利用。	―
	陸上交通	●	●	●	●	・資機材等の運搬に伴う交通量 …約 75 台/日（片道・最盛期）	・工事資材の運搬では関係機関と十分に調整を図る。 ・工事用車輌は計画的な運行により短期集中しないように配慮。 ・工事中は必要に応じて交通監視員を配置。 ・交通規則の遵守、安全運転の励行等の指導及び監督を行い、交通安全には万全を期する。	―
	文化財及びレクリエーション施設	●	●	●	●	―	・計画地点周辺には山下池等のレクリエーション施設があり、車輌の運行にあたってはこれらの利用等に支障を及ぼさないように配慮。 ・計画地点付近には文化財はない。	―

出典：九州電力(株)「滝上発電所修正環境影響調査書」H6.8

表 4.2-3　省議アセス報告書における事後調査計画の例

	項目	内容
建設時	水質	仮設沈殿地出口等で排水の濁りを適宜監視する。
	騒音	必要に応じて現況調査と同じ方法により騒音レベルを適宜測定する。
	振動	必要に応じて現況調査と同じ方法により振動レベルを適宜測定する。
	陸水	選定した温泉を対象として、湧出量・泉温等を適宜測定する。
操業時	硫化水素	硫化水素の排出量について、蒸気溜および選定した地点において、よう素滴定法により定期的に測定する。(4 回/年)
	硫化水素（悪臭）	悪臭としての硫化水素濃度について、選定した地点において、よう素滴定法により定期的に測定する。(1 回/年)
	騒音	選定した地点において現況調査と同じ方法により騒音レベルを適宜測定する。
	振動	選定した地点において現況調査と同じ方法により振動レベルを適宜測定する。
	冷却排水	水温および pH について、冷却塔排水口において定期的に測定する。(4 回/年)
	作業排水	pH、BOD、ｎ-ヘキサン抽出物質、SS について、油分離槽出口において定期的に測定する。(4 回/年)
	生活排水	pH、BOD について、浄化槽出口において定期的に測定する。(4 回/年)
	河川水	水温、pH、BOD、ｎ-ヘキサン抽出物質、SS、Cl^-、砒素について、選定した地点において定期的に測定する。(4 回/年)
その他	―	工事の進捗状況及び発電所の運転開始後の状況に応じ、環境保全上特に配慮する必要がある事項が生じた場合には、適宜これに対する監視計画を策定してこれを実施するとともに、所要の対策を講じるなど環境保全に万全を期する。

出典：九州電力(株)「滝上発電所修正環境影響調査書」H6.8

4.3　今後の環境影響評価の手続き

今後の地熱発電所の環境影響評価は、平成 9 年に制定された環境影響評価法、それを受けて改正された電気事業法、自治体の条例等に基づき、発電所アセスとして手続きが進められる。特に発電所アセスにおける審査では、環境審査顧問会（地熱部会）が開催され、学識経験者からの助言を得て検討される。

平成 23 年 3 月現在、環境影響評価法は改正のための審議が続いているが、現時点での手続きの手順は図 4.2-1、4.2-2 に示した通りである。

＜参考＞

・環境影響評価の対象となる地熱発電所の規模は、以下の通りである。

■省議アセス…1 万 kW以上
■環境影響評価法…1 万 kW以上（第 1 種事業）、7,500kW以上（第 2 種事業）

・省議アセスの段階で対象規模を 1 万 kW以上とした確実な根拠は不明だが、以下のように推測される。

◎昭和 52 年当時に運転開始していた地熱発電所のうち、自家用の大沼地熱発電所（当時 8,600kW）を除いてすべて 1 万 kW以上の規模であったこと。

◎将来的に 5 万 kWクラス以上の地熱発電所が主流になると考えられていた中で、地熱発電には熱水枯渇や悪臭等の環境影響が懸念されていたため、できるだけ小規模なものもアセスの対象とする考えがあったと思われること。

（資源エネルギー庁へのヒアリング結果に基づく）

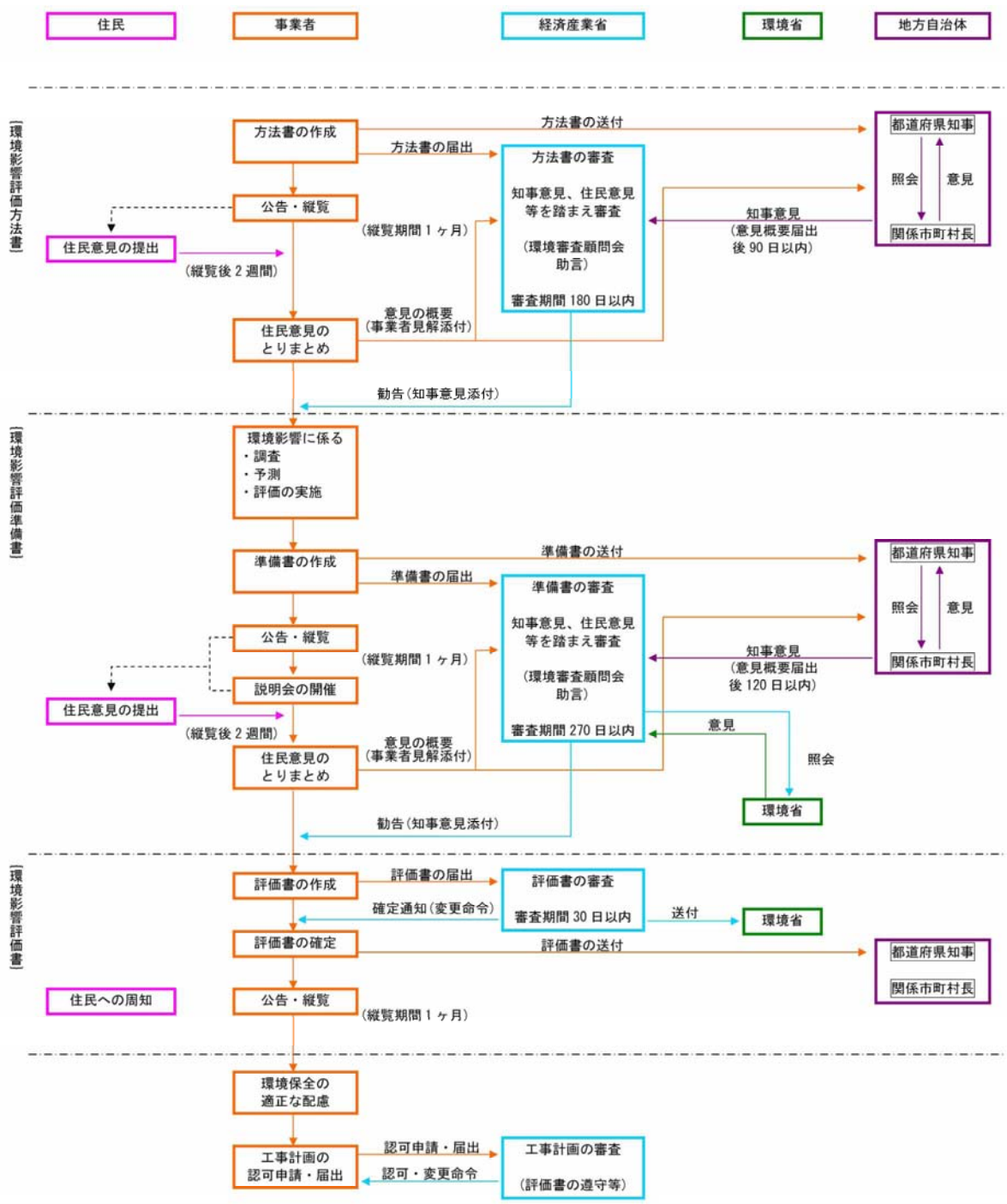


図 4.3-1　環境影響評価の手続き（第一種事業）

参考：経済産業省 原子力・安全保安院「発電所に係る環境影響評価の手引」平成 19 年 1 月　を基に作成

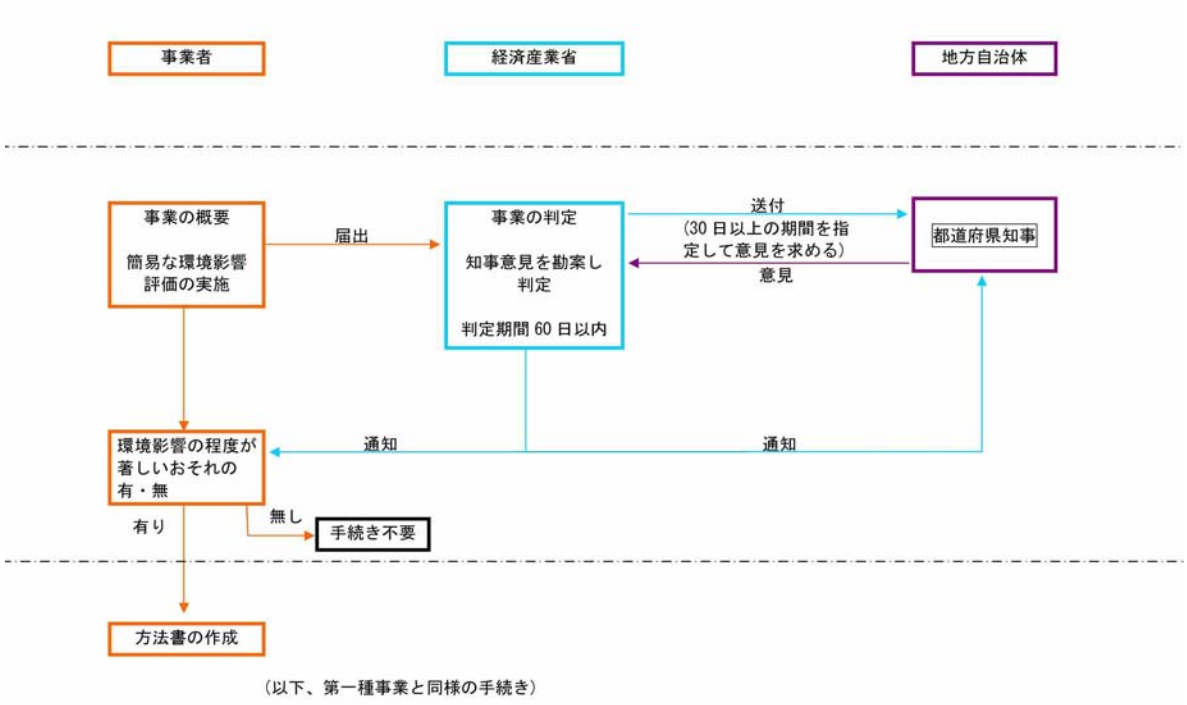


図 4.3-2　環境影響評価の手続き（第二種事業のスクリーニング）

参考：経済産業省 原子力・安全保安院「発電所に係る環境影響評価の手引」平成 19 年 1 月　を基に作成

4.4　発電所アセスに基づく参考項目

平成 19 年 1 月に改訂された資料「発電所に係る環境影響評価の手引」（以下「手引」と示す）では、環境影響評価法や電気事業法に基づき、参考項目が設定されている。

参考項目は表 4.4-4 の通りであり、検討対象項目の中から事業特性や地域特性を踏まえつつ抽出が行われ、建設段階として 9 項目、操業段階として 12 項目設定されている。

なお、参考項目に選定されなかった主な理由は以下の通りである。

●建設段階での硫黄酸化物や粉じん、操業段階での硫化水素（悪臭）、騒音、振動など
→地熱発電所の立地特性（一般的に周辺に民家等がない山間部等に立地する）によるため。

●水環境に関連する項目
→排水基準の遵守などを前提としているため。

●建設段階の水生動物、水生植物
→地熱発電所の事業特性（河川・湖沼の形態を大きく変更するような工事は想定していない）によるため。

表 4.4-4　手引で設定された参考項目一覧

＜建設段階＞

	項目	設定検討対象	設定項目
大気環境	騒音	○	×
	振動	○	×
	硫黄酸化物	○	×
	窒素酸化物（工事用資材等の搬出入）	○	●
	窒素酸化物（機械の稼働等）	○	×
	粉じん等（工事用資材等の搬出入）	○	●
	粉じん等（機械の稼働等）	○	×
水環境	作業排水（濁水）	○	●
	生活排水	○	×
地形等	地盤変動	○	×
	土壌汚染	○	×
動植物	重要な種及び重要な群落	○	●
	水生植物	○	×
	重要な種及び注目すべき生息地	○	●
	水生動物	○	×
	地域を特徴づける生態系	○	●
人と自然との触れ合い活動の場	主要な人と自然との触れ合い活動の場	○	●
廃棄物等	産業廃棄物	○	●
	残土	○	●
その他	温泉	○	×
	日照阻害	○	×
温室効果ガス等	二酸化炭素	○	×

＜操業段階＞

	項目	設定検討対象	設定項目
大気環境	硫化水素（大気汚染）	○	●
	硫化水素（悪臭）	○	×
	騒音	○	×
	振動	○	×
	低周波音	○	×
水環境	一般排水（生活排水、作業排水）	○	●
	河川の取水	○	×
	地下水の取水	○	×
	水の濁り	○	×
	溶存酸素量	○	×
	ｎ-ヘキサン抽出物質（油分等）	○	×
	大腸菌群数	○	×
	富栄養化	○	×
	有害物質	○	×
	水温	○	×
底質	底質	○	×
地形等	地形及び表層の土壌（地質）	○	●
	地盤変動	○	●
動植物	重要な種及び重要な群落	○	●
	重要な種及び注目すべき生息地	○	●
	地域を特徴づける生態系	○	●
景観	自然景観等	○	●
廃棄物等	冷却塔からの汚泥	○	●
	廃油（潤滑油）	○	●
人と自然との触れ合い活動の場	主要な人と自然との触れ合い活動の場	○	●
その他	温泉	○	●

4.5　環境フォローアップ調査

国立・国定公園内の地熱発電所を対象として、地熱発電所が周辺環境におよぼす影響の有無を把握するため、操業開始後の環境の現況や変化の状況について調査が行われたものである。

調査結果については、(財)新エネルギー財団内に設置された環境フォローアップ調査委員会において検討が行われた。調査の項目は以下の通りである。

＜環境フォローアップ調査の項目＞

・気象…天気、気温、降水量、風向風速等
・大気…硫化水素、水銀
・水質…pH、EC、BOD 等
・騒音、振動…騒音レベル、振動レベル
・地盤変動…2 級水準測量による往復観測
・地震…気象庁の地震月報による資料調査
・植物…現存植生図、樹木活力調査
・土壌…土壌断面図、pH、全窒素等
・温泉…pH、泉温、湧出量等
・景観…景観の変化の程度

第 5 章　環境影響評価の審査手法

これまでに環境影響評価法の適用事例がない地熱発電所について、今後の開発申請時に環境面から適切な審査を行い、円滑な事業の推進を図るために、環境影響評価の審査手法として特に着目すべき環境影響項目を抽出し、それぞれの審査の着眼点を整理した。

5.1　特に着目すべき環境影響項目の抽出の観点

地熱発電所は、その立地地点ごとに蒸気の成分や生産量、周辺の社会条件や自然条件が異なっている。そのため、環境影響評価の審査にあたっては、審査案件それぞれの特性を踏まえた適切な項目の抽出や検討がなされる必要がある。

本検討では、地熱発電所の環境影響評価に求められる項目として、これまでの省議アセスでの実績、ならびに環境影響評価法や電気事業法に基づく参考項目（手引を参照）の中から、特に過去の環境影響評価法の適用事例では経験のない地熱開発特有の行為や要因によって想定される影響に着目した。抽出の観点は以下の通りである。

■抽出の観点

◎地熱開発特有の行為や要因によって想定される影響項目
◎何らかの著しい影響が過去に発生した事例がある項目
◎過去に実例はないが科学的な検討により著しい影響が発生する可能性のある項目
◎地熱開発の立地条件上、特に注目すべき項目

5.2　抽出結果

以上の観点から抽出した結果は、表 5.2-1、5.2-2 の通りである。環境影響評価法の対象となる建設段階および操業段階別に示しており、重複して抽出された項目を含む。

●：省議アセス、手引での設定項目
○：手引で設定検討された項目
×：手引で対象外とされた項目
　：抽出した特に着目すべき項目

表 5.2-1　特に着目すべき環境影響項目（建設段階）　(1/2)

		省議アセス	手引		抽出検討
			設定検討対象	設定項目	
大気環境	騒音	●	○	×	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	振動	●	○	×	
	硫黄酸化物	―	○	×	
	窒素酸化物（工事用資材等の搬出入）	―	○	●	
	窒素酸化物（機械の稼働等）	―	○	×	
	粉じん等（工事用資材等の搬出入）	―	○	●	
	粉じん等（機械の稼働等）	―	○	×	
水環境	作業排水（濁水）	●	○	●	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有すること、水質汚濁防止法の遵守が前提であることから、本検討では抽出しない。
	生活排水	●	○	×	
	取水（河川、地下水）	●	―	―	
地形等	**地盤変動**	●	○	×	**地熱開発では、地下の地熱流体の採取や還元を行う特徴があり、地盤変動の可能性を有していることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** その他の地形に関する項目は、これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有すること、また開発にあたっては廃棄物処理法の遵守が前提であることから、本検討では抽出しない。
	掘削した土石の処理	●	―	―	
	骨材の採取	●	―	―	
	土壌汚染	●	○	×	
動植物	植生	●	―	―	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。 **なお、新規立地における事前調査の結果、地上徘徊性の哺乳類の中で希少な動物の生息が確認されている場合には、配管の設置による生息環境の分断を低減するなど、環境保全措置に留意する必要がある。**
	重要な種及び重要な群落	―	○	●	
	水生植物	―	○	×	
	陸生動物	●	―	―	
	重要な種及び注目すべき生息地	―	○	●	
	水生動物	●	○	×	
	地域を特徴づける生態系	―	○	●	
人と自然との触れ合い活動の場	主要な人と自然との触れ合い活動の場	―	○	●	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。

●：省議アセス、手引での設定項目
○：手引で設定検討された項目
×：手引で対象外とされた項目
　：抽出した特に着目すべき項目

表 5.2-1　特に着目すべき環境影響項目（建設段階）　(2/2)

		省議アセス	手引		抽出検討
			設定検討対象	設定項目	
廃棄物等	産業廃棄物	―	○	●	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有すること、また開発にあたっては廃棄物処理法の遵守が前提であることから、本検討では抽出しない。
	残土	―	○	●	
工事	**坑井掘削**	●	―	―	**地熱開発では、坑井の掘削工事やその付帯工事が建設段階のみならず操業段階でも継続的に実施される特徴があることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** なお手引では、「坑井の掘削」としてではなく、騒音、振動など関連項目の中で検討されている。
温泉	**温泉**	―	○	×	**地熱開発では、地下の地熱流体の採取や還元を行う特徴があり、温泉への影響の可能性を有していること、また、地元との共生の点でも重要な項目であることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。**
その他	日照阻害	―	○	×	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	陸上交通	●	―	―	
温室効果ガス等	二酸化炭素	―	○	×	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有することから、本検討では抽出しない。

●：省議アセス、手引での設定項目
○：手引で設定検討された項目
×：手引で対象外とされた項目
　：抽出した特に着目すべき項目

表 5.2-2　特に着目すべき環境影響項目（操業段階）　(1/2)

		省議アセス	手引		抽出検討
			設定検討対象	設定項目	
大気環境	**硫化水素（大気質）**	●	○	●	**地熱発電では、地下の地熱流体の採取・利用によって、人体への大きな影響の可能性を有している硫化水素を排出することから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** その他の項目は、これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	硫化水素（悪臭）	●	○	×	
	騒音	●	○	×	
	振動	●	○	×	
	低周波音	―	○	×	
水環境	熱水の排出	●	―	―	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有すること、水質汚濁防止法の遵守が前提であること、また熱水や冷却排水も還元井により地中へ戻すことが一般的であるため、本検討では抽出しない。
	冷却排水	●	―	―	
	一般排水	●	○	●	
	河川の取水	●	○	×	
	地下水の取水	●	○	×	
	水の濁り	―	○	×	
	溶存酸素量	―	○	×	
	n-ヘキサン抽出物質（油分等）	―	○	×	
	大腸菌群数	―	○	×	
	富栄養化	―	○	×	
	有害物質	―	○	×	
	水温	―	○	×	
底質	底質	―	○	×	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
地形等	**地盤変動**	●	○	●	**地熱発電では、地下の地熱流体の採取や還元を行う特徴があり、地盤変動の可能性を有していることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** その他の項目は、これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	地形及び表層の土壌（地質）	●	○	●	
動植物	**樹木への着氷**	●	―	―	**地熱発電では、冷却塔からの水蒸気の発生によって過去に樹木への着氷被害が発生したことが確認されていることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** その他の項目は、これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	植生	●	―	―	
	重要な種及び重要な群落	―	○	●	
	動物	●	―	―	
	重要な種及び注目すべき生息地	―	○	●	
	地域を特徴づける生態系	―	○	●	

●：省議アセス、手引での設定項目
○：手引で設定検討された項目
×：手引で対象外とされた項目
　：抽出した特に着目すべき項目

表 5.2-2　特に着目すべき環境影響項目（操業段階）　(2/2)

		省議アセス	手引		抽出検討
			設定検討対象	設定項目	
景観	**景観**	●	○	●	**地熱発電では、冷却塔からの水蒸気によって景観に対して影響を及ぼす場合があり、地熱発電所の立地特性上、自然公園の隣接域に設置される可能性が高いことからも、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。**
廃棄物等	冷却塔からの汚泥	●	○	●	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有すること、また開発にあたっては廃棄物処理法の遵守が前提であることから、本検討では抽出しない。
	廃油（潤滑油）	●	○	●	
人と自然との触れ合い活動の場	主要な人と自然との触れ合い活動の場	―	○	●	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
工事	**坑井掘削**	―	―	―	**地熱発電では、坑井の掘削工事やその付帯工事が操業段階でも継続的に実施される特徴があることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。** なお手引では、「坑井の掘削」としてではなく、騒音、振動など関連項目の中で検討されている。
温泉	**温泉**	●	○	●	**地熱発電では、地下の地熱流体の採取や還元を行う特徴があり、温泉への影響の可能性を有していること、また、地元との共生の点でも重要な項目であることから、特に着目すべき環境影響項目として抽出する。**
その他	土地利用等	●	―	―	これまでの他電源の環境影響審査において多くの実績を有すること、環境保全措置の一定の技術蓄積を有することから、本検討では抽出しない。
	産業活動	●	―	―	
	陸上交通	●	―	―	
	文化財及びレクリエーション施設等	●	―	―	

以上の結果、特に着目すべき環境影響項目として計 6 項目を抽出した。

特に着目すべき環境影響項目
(1)硫化水素
(2)温泉
(3)坑井掘削
(4)地盤変動
(5)樹木への着氷
(6)景観

5.3　特に着目すべき環境影響項目の審査手法

前項で抽出した 6 項目について、それぞれの審査手法の検討を行った。

検討にあたっては、各項目ごとに環境への影響予測及び評価、環境保全措置、事後調査の各観点から、アセス図書の審査を行う際に注目すべき着眼点とその考え方を提示した。

また審査の際に、以下の点にも留意できることを念頭に検討を行った。

◎事業実施者が実行可能な範囲を超えないこと

◎画一的な環境影響審査とならないように、発電所ごとの立地特性等から要・不要や、増・減が判断できること

◎事後調査では、各発電所の地域特性を考慮しつつ、調査の目的が達成された段階で調査完了の判断を行うことを可とすること

注）事後調査とは

環境影響評価法の手続きとして、予測結果に不確実性が伴う場合に、評価書に記載した環境保全措置が効果を発揮しているかどうかの状況を把握するために実施する事後の調査を示す。

(1)硫化水素

審査の着眼点

地熱発電所から排出される硫化水素が人体へ及ぼす影響を回避・低減

ア．影響予測及び評価

●排出濃度と拡散予測

●留意すべき地形条件

イ．環境保全措置

●発生源の濃度の抑制

ウ．事後調査

●周辺生活環境への影響把握と観測地点の設定

●周辺自然環境への影響把握

1）解説

地熱発電では、生産井から採取される蒸気中にガス成分として硫化水素が含まれており、最終的に冷却塔から大気中へ排出される。

硫化水素は、大気より比重が重く硫黄臭として感じられ、高濃度になると死亡に至る極めて有害な物質である。よって、環境影響審査にあたっては、特に人体への影響を回避、低減させることを前提とすべきであり、影響が予測される場合には環境保全措置の実施が必要である。

一方、周辺自然環境への影響については、各発電所の立地地点周辺に成立している多様な動植物相や植生構造それぞれに対して硫化水素の影響予測を行うことは困難である。そのため、人体への影響の回避、低減によって周辺自然環境への影響も同様に回避、低減されるという考え方をとることが現実的である。

事後調査に関しては、硫化水素濃度が高濃度になると予測された地点が存在した場合に、監視を続けていくことが望まれる。

なお、硫化水素は大気質としての濃度を審査の項目とし、悪臭としての濃度は悪臭防止法の指定地域に該当する場合のみとする。

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●排出濃度と拡散予測　（【資料(1)-1】【資料(1)-2】参照）

①冷却塔の排出口における排出濃度、排出量の予測を行っているか。
②周辺地域への拡散予測を行っているか。
③これらの予測結果を踏まえ、人体への影響の観点から評価を行っているか。

・硫化水素は冷却塔から大気中へ上昇拡散させるため、硫化水素濃度が最も高い地点は冷却塔の排出口である。よって、排出口からの排出濃度、排出量の予測は必要不可欠である。またこの予測値に基づき、周辺地域への影響を把握するために、風洞実験などの手法を用いて拡散予測を行うことが必要である。
・硫化水素の濃度に係る基準や毒性は下記の通りであり、人体への影響という観点では10ppm を一つの参考値として評価を行う。

（参考）硫化水素の濃度に係る基準や毒性

■温泉の利用基準について（昭和 50 年 7 月 12 日、環自企 424 号）
・浴室内の大気中の硫化水素濃度が、次に掲げる数値を超えないようにすること。
　ア）浴槽湯面から上位 10cm の位置の濃度　**20ppm**
　イ）浴室床面から上位 70cm の位置の濃度　**10ppm**
　　(注)1 ヶ月程度温泉地に滞在する通常一般の温泉利用者を対象として設定されたもの。

■労働安全衛生規則における立入禁止について（昭和 47 年 9 月 30 日、労働省令第 32 号）
・事業者は、次の場所には関係者以外の者が立ち入ることを禁止し、かつ、その旨を見やすい箇所に表示しなければならない。
　◎硫化水素濃度が **10ppm** を超える場所

■硫化水素の毒性

硫化水素濃度	症状
0.2ppm	かすかに臭う
4～5ppm	眼粘膜の刺激症状が発生
50ppm 以上	流涙、眼痛等
150ppm 以上	嗅覚の喪失
500ppm 以上	意識障害、呼吸抑制等
1000ppm 以上	短時間で心停止

（参考：山本五十年「硫化水素中毒に対する危機管理」2008 年、救命救急第 21 号、(財)救急振興財団）
（参考：「環境に調和した地熱発電所に関する調査研究報告書」平成 6 年、(財)エンジニアリング振興協会、地下開発利用研究センター）

●留意すべき地形条件

④硫化水素が滞留しやすいと考えられる地形条件の把握は行われているか。
⑤高い濃度が予測された地点が存在する場合に、人体への影響の観点から評価を行っているか。

・上記②の拡散予測には地形の因子が条件設定されているが、一定の気象条件に基づく予測であるため、無風時には凹地などに滞留し高濃度化する可能性が考えられる。
・また、多雪期には積雪状態や除雪状況によって凹地が形成される場合があるほか、火山地帯であれば既にバックグラウンド値として硫化水素濃度が高い場合も考えられる。

・そのため、硫化水素が滞留しやすい地点の有無について解析を行うことが必要であり、高い濃度が予測された場合には人体への影響の観点から評価を行う。

イ．環境保全措置

●発生源の濃度の抑制　（【資料(1)-3】参照）

⑥人体への影響が予測された場合に、発生源の濃度を抑制する環境保全措置が検討されているか。
⑦人体への影響が予測された場合に、留意すべき地形条件に対する措置が示されているか。

・硫化水素による人体への影響が予測された場合には、影響を回避、低減させる（人体への影響がない程度にまで）ための環境保全措置の実施が必要である。
・また、地形条件から硫化水素が高濃度に滞留しやすいと考えられた地点が存在する場合には、立入禁止措置や立入注意措置を講じる等の対策を検討することが必要である。

（参考）省議アセスでの環境保全措置
・各発電所の省議アセス報告書の内容をすべて集約すると下記の通り。
・すべての発電所において「多量の空気と混合希釈して上昇拡散させる」ことを基本としている。

基本的考え方	・発電所の冷却塔から排出される硫化水素については、適切な対策を講じることにより着地濃度の低減を図る。
具体的対策	・ガス抽出器により復水器から抽出し、冷却塔頂部に導き冷却塔から排出される多量の空気と混合希釈して上昇拡散させる。 ・冷却塔は大気拡散上、有利な位置に設置する。 ・冷却塔のファンスタックを高くし、排気の拡散効果の向上を図る。 ・冷却塔のファン台数を多くし、排気の拡散効果の向上を図る。 ・冷却塔は排気口集合型とし、排気の上昇効果により拡散効果を高める。 ・定期修理中は可能な範囲で生産井の坑口を絞り、大気放出を抑制。

ウ．事後調査

●周辺生活環境への影響把握と観測地点の設定　（【資料(1)-4】参照）

⑧影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合に、事後調査を計画しているか。
⑨またその際に観測地点の設定は適切であるか。

・地形が複雑で風洞実験による予測では不確実性が高い場合や、環境保全措置が実施されても人体への影響の可能性が考えられる地点が存在する場合には、事後調査により監視を行っていくことが必要である。
・その際、硫化水素の影響が大きいと予測された地点近傍にて観測地点を設けることが望ましい。
・なお、事後調査を一定期間実施した結果、影響が発現していなかった場合には、事後調査を休止あるいは完了する判断は可とする。

（参考）省議アセスでの事後調査
・各発電所の省議アセス報告書の内容を整理すると概ね下記の通り。

排出量の把握	硫化水素の排出量は、よう素滴定法により定期的（4 回/年）に測定する。 冷却排水中の硫化水素濃度は、「悪臭物質の測定の方法」（H6 環境庁）により定期的（4 回/年）に測定する。
測定内容	大気質としての硫化水素濃度は、現況調査と同じ手法により定期的（4 回/年）に測定する。 悪臭としての硫化水素濃度は、現況調査と同じ手法により定期的（1 回/年）に測定する。

●周辺自然環境への影響把握　（【資料(1)-5】【資料(1)-6】参照）

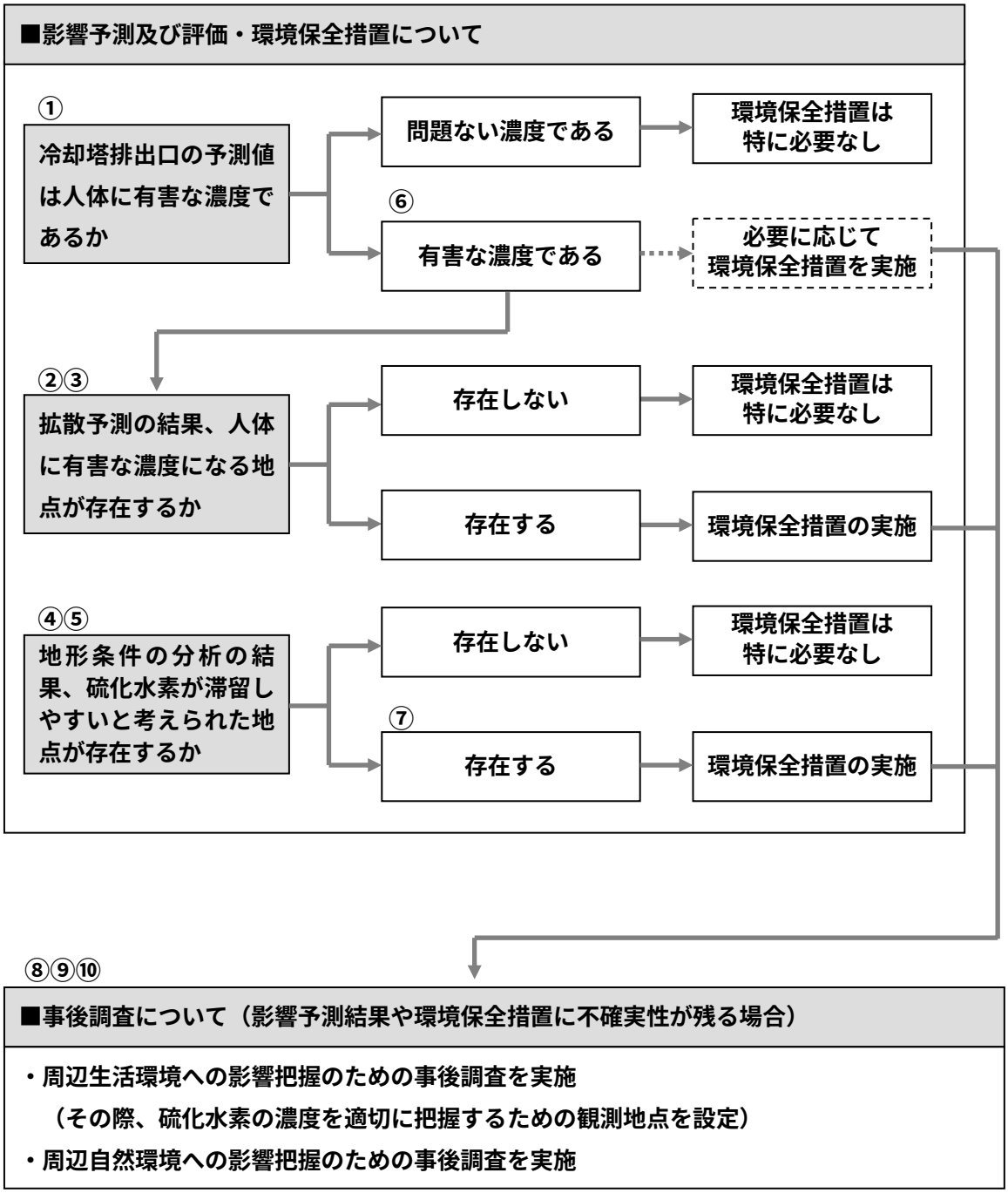
⑩影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合に、周辺自然環境に対する事後調査が計画されているか。

・硫化水素の植物への影響については、一部の植物を対象とした曝露実験例はあるものの、各地熱発電所の周辺に成立している動植物相や植生構造それぞれに対して、硫化水素の耐性から影響を予測するのは困難であるため、人体への影響が大きい場合は自然環境に対しても影響が大きいとして捉えることが現実的である。
・自然環境への影響把握では、異常が明瞭に現れる植物を対象として、定点写真撮影（葉の変色や枯死など視覚的な変化の把握）や活力度調査（樹勢や枝葉の密度等）などを実施することが考えられる。
・なお、事後調査を一定期間実施した結果、影響が発現していなかった場合には、事後調査を休止あるいは完了する判断は可とする。

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

硫化水素に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（〇数字は各着眼点に該当）



⑧⑨⑩

■事後調査について（影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合）

- 周辺生活環境への影響把握のための事後調査を実施
  （その際、硫化水素の濃度を適切に把握するための観測地点を設定）
- 周辺自然環境への影響把握のための事後調査を実施

(2)温泉

審査の着眼点

適正な地熱流体流動モデルの構築

調査データの公開と地元との共生

ア．影響予測及び評価

●周辺温泉への影響

イ．環境保全措置

●周辺温泉への対策

ウ．事後調査

●調査データの公開

1）解説

地熱開発では、坑井の掘削や地下貯留層から地熱流体の採取を実施するため、同じく地下の熱資源を利用する温泉に対して影響を及ぼす可能性が考えられる。海外では、大規模な地熱開発に伴って温泉の枯渇や地盤変動につながった事例や地震を誘発したと推定される事例もみられるが（第 3 章参照)、我が国では地熱発電所の開発規模が比較的小さいことや地熱資源の維持に細心の注意が払われていることもあり、これまでに周辺温泉に対して影響を与えたと判断できる事例はない。

しかし、過去の地熱開発の際には、温泉事業者など地元の反対を受けて計画が進まない事例や計画が白紙撤回された事例もあり、地熱発電所の新規立地においては温泉との共存が非常に大きな課題となっている。

そのため、環境影響評価にあたっては、地熱流体流動モデルの構築など最新の知見に基づく科学的なアプローチが重要であるほか、環境影響予測に残る不確実性を念頭においた事後調査の適切な実施と地元へのデータ公開等、地元との信頼関係の構築につながる観点が必要不可欠である。

なお、地熱開発と温泉との関係については、環境省においても別途検討が進められており、温泉法や「温泉資源の保護に関するガイドライン」等での取り組みと整合を図っていくことが求められる。

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●周辺温泉への影響　（【資料(2)-1】参照）

①周辺温泉への影響予測は科学的手法（モデリング、シミュレーション）から総合的に解析され、評価が行われているか。
②操業開始後の補充井の掘削に伴う影響にも留意しているか。

・これまでの省議アセス報告書においては、坑井壁との間をセメンチングするといった土木的な対策から「影響はない」との評価を得ているが、平成 19 年度に発行された手引では、「既存源泉の温泉滞水層や蒸気層と発電に利用する地熱貯留層との関係の有無について、地質、地熱構造（熱構造、貯留構造、地熱流体の性状を要素とする）の観点から総合的に解析し、地熱流体の採取・熱水の還元に伴う既存温泉等に係る環境影響を予測する。」とされている。

・この背景には、地熱開発促進調査の段階で地下のモデリングによる資源量評価と周辺温泉への影響については詳細な検証がなされており、地元との共生のためには環境影響評価においても科学的な予測評価結果の提示が必要不可欠になってきたためである。

・今後の環境影響評価では、周辺温泉への影響予測に関しては、このような科学的手法（モデリング、シミュレーション）に基づいた総合的な解析を行い、評価した結果を可能な限り明示することが望ましい。

・なお、坑井掘削については、操業開始後も補充井の掘削が継続して行われる点が地熱開発の大きな特徴であることに留意する。

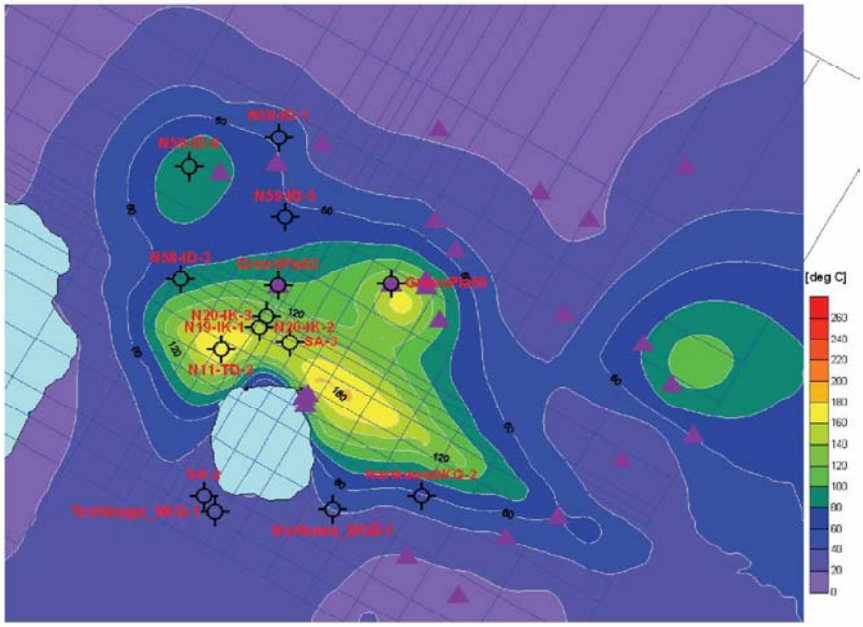
（参考）数値シミュレーションによる影響評価

・地熱開発促進調査では、各種資料や坑井調査結果等に基づき、地熱構造モデルや地熱流体流動モデルが構築され、数値シミュレーションによる資源量評価が行われる。

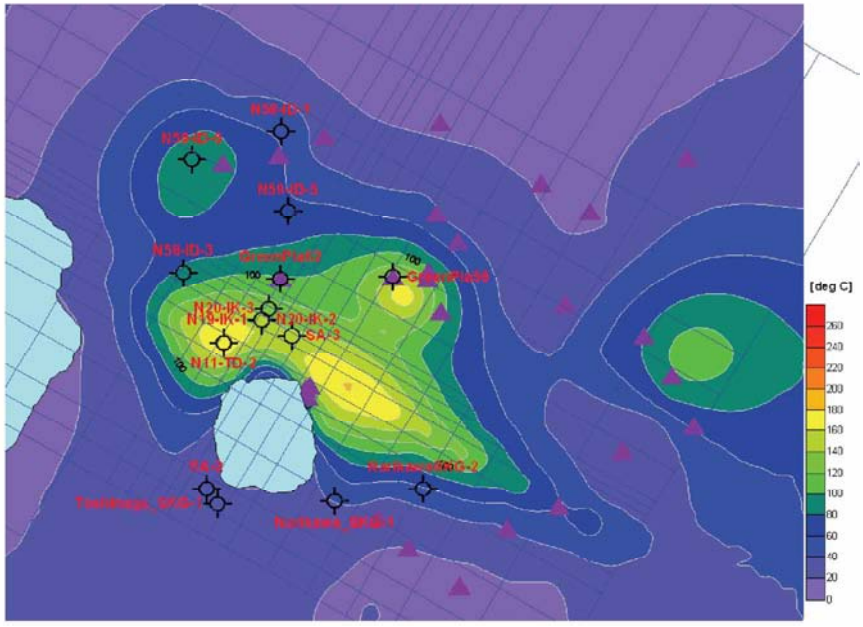
・周辺温泉への影響は、この数値シミュレーションを利用し、開発計画に基づいて影響評価を行う技術が進歩してきている。

・現在実施されている C 調査の結果から一例を下記に示す。この例は、ある深度を対象として、一定の条件で長期間坑井が使用された場合においても、顕著な温度低下や地表地熱兆候の消滅といった変化は起きないと予測された結果である。

＜自然状態における標高 0m準の地下温度分布＞



＜一定の条件で生産を 30 年継続した後の標高 0m準の地下温度分布＞



（出典：「平成 20 年度地熱開発促進調査報告書 No.C-2-10 池田湖東部地域（第 2 次）」
平成 21 年 3 月、NEDO、(株)新日本科学、(株)九電工、西日本技術開発(株)　）

イ．環境保全措置

●周辺温泉への対策

③周辺温泉に対する環境保全措置が検討されているか。

・周辺温泉に対する環境保全措置等については、温泉法や「温泉資源の保護に関するガイドライン」を十分に踏まえることが重要である。
・地熱開発にあたって環境保全措置を実施することは、周辺温泉との共生の点で望ましい。
・ただし、周辺地域（温泉事業者などの地元住民）との協議の中で、熱水提供などにより共生関係が構築される場合には、この限りではない。

（参考）省議アセスでの環境保全措置
・各発電所の省議アセス報告書の内容をすべて集約すると下記の通り。

基本的考え方	・周辺温泉の利用に影響を与えないようにする。
具体的対策	・地下深部まで鋼管と坑井壁との間をセメンチングし、地熱流体の採取及び熱水の還元が浅部温泉へ影響を与えないようにする。 ・運転開始後はモニタリングを行い、必要に応じて所要の対策を講じる。

ウ．事後調査

●調査データの公開　（参考：【資料(2)-2】）

④調査データは地元へ公開されるか。

・周辺温泉への影響把握にあたっては、温泉法や「温泉資源の保護に関するガイドライン」を十分に踏まえ、坑井掘削工事の前から継続的にデータ計測を行い、その上で、有意な変化の有無について検証していくことが望まれる。
・その結果については、温泉事業者等の地元へ公開することによって、地元とのさらなる信頼関係の構築を図っていくことが望ましい。

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

温泉に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（○数字は各着眼点に該当）

■影響予測及び評価・環境保全措置について

①②

科学的手法（モデル化）による解析・評価が行われているか

↓

③

温泉法や「温泉資源の保護に関するガイドライン」を踏まえ、周辺温泉に対する環境保全措置が検討されているか

↓

④

■事後調査について

・計測された調査データについて地元への公開を検討

(3)坑井掘削（地上での環境影響）

審査の着眼点

坑井掘削時の地上の環境影響を回避、低減

ア．影響予測及び評価

●騒音

●熱水

●廃棄物（排泥水、掘削残土）

イ．環境保全措置

●発生源の抑制

●事後処理

ウ．事後調査

想定なし

1）解説

地熱開発では、地下から地熱流体の採取のため、坑井の掘削工事を行う。掘削工事の際には、地下の熱資源を利用する温泉に対して影響を及ぼす可能性を有しているほか、地上の周辺環境に対して様々な影響を与える。

また、掘削工事は建設段階のみならず、操業開始後も補充井の掘削が行われる点が地熱開発の大きな特徴であり、環境影響審査にあたっても特に留意する必要がある。

本項では地上での環境影響を対象に整理したものであり、地下の環境に関する事項として、周辺温泉への影響は「(2)温泉」、地盤の変動は「(4)地盤変動」に整理した。

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●騒音

①坑井掘削に伴う周辺生活環境への影響予測及び評価を行っているか。

・騒音は、掘削現場での工事機械の稼働や、坑井からの蒸気噴出時、大型車両の通行により発生するため、特に周辺生活環境への影響を予測評価する必要がある。
・なお、操業後も補充井の掘削工事が実施されることに留意する。

●熱水

②蒸気噴出時の熱水飛散について、周辺自然環境への影響予測及び評価を行っているか。

・蒸気の噴出時に周辺へ熱水や蒸気が飛散し、樹木の枯死や、冬季には着氷被害を招くことが想定されるため、影響の予測評価が必要である。
・なお、熱水飛散が想定される工事手法の場合のみ、審査の対象とする。

●廃棄物（排泥水、掘削残土）

③廃棄物の発生に伴う周辺自然環境への影響予測及び評価を行っているか。

・坑井掘削時には排泥水や掘削残土が発生し、周辺環境（特に水域）に対しての影響が想定される。特に地熱発電所はその立地特性から河川の上流部に位置する場合が多いため、影響が広範囲に拡散する可能性も有している。
・なお、排泥水の周辺水域への排水や掘削残土の残置等により、周辺自然環境に対して影響を及ぼす計画の場合のみ、審査の対象とする。

イ．環境保全措置

●騒音

④騒音による周辺生活環境に対する影響が予測された場合に、回避・低減する対策が検討されているか。

・影響予測及び評価の結果、周辺生活環境への影響が予測された場合には、蒸気噴出時の坑口へのサイレンサー設置や低騒音機械の使用、車両通行の適正化などの環境保全措置が必要である。

●熱水

⑤熱水飛散による周辺自然環境への影響が予測された場合に、回避・低減する対策が検討されているか。

・影響予測及び評価の結果、周辺自然環境への影響が予測された場合には、熱水飛散の防止効果のある設備を設置するなどの環境保全措置が必要である。

●廃棄物（排泥水、掘削残土）

⑥周辺水域への影響が予測された場合に、排泥水や掘削残土の適切な処理方針が示されているか。

・廃棄物は、通常の建設工事では廃棄物処理法に基づいて廃棄物処理業者への委託などにより適切に処理が行われる。影響予測及び評価の結果、周辺水域への排水などにより影響が予測された場合には、沈殿池の設置などの環境保全措置が必要である。

（参考）省議アセスでの環境保全措置

・各発電所の省議アセス報告書の内容をすべて集約すると下記の通り。

・温泉に係る考え方や対策とほぼ同様であるが、汚泥等の産業廃棄物を適切に処理することを環境保全措置としてあげられている。

基本的考え方	・周辺環境に影響を与えないようにする。
具体的対策	・地下深部まで鋼管と坑井壁との間をセメンチングし、地熱流体の採取及び熱水の還元が浅部地下水への影響を与えないようにする。 ・坑井からの大気への蒸気噴出にあたっては、サイレンサーを設置し騒音の低減に努めるとともに熱水の飛散防止を図る。 ・排泥水は泥水処理装置により水と汚泥に分離したのち、水は掘削用水として再利用し、汚泥は産業廃棄物処理業者に委託し処分する。 ・工事完了後は、機器や櫓、仮設建物等を直ちに撤去し、砕石を敷くなど景観整備を行う。

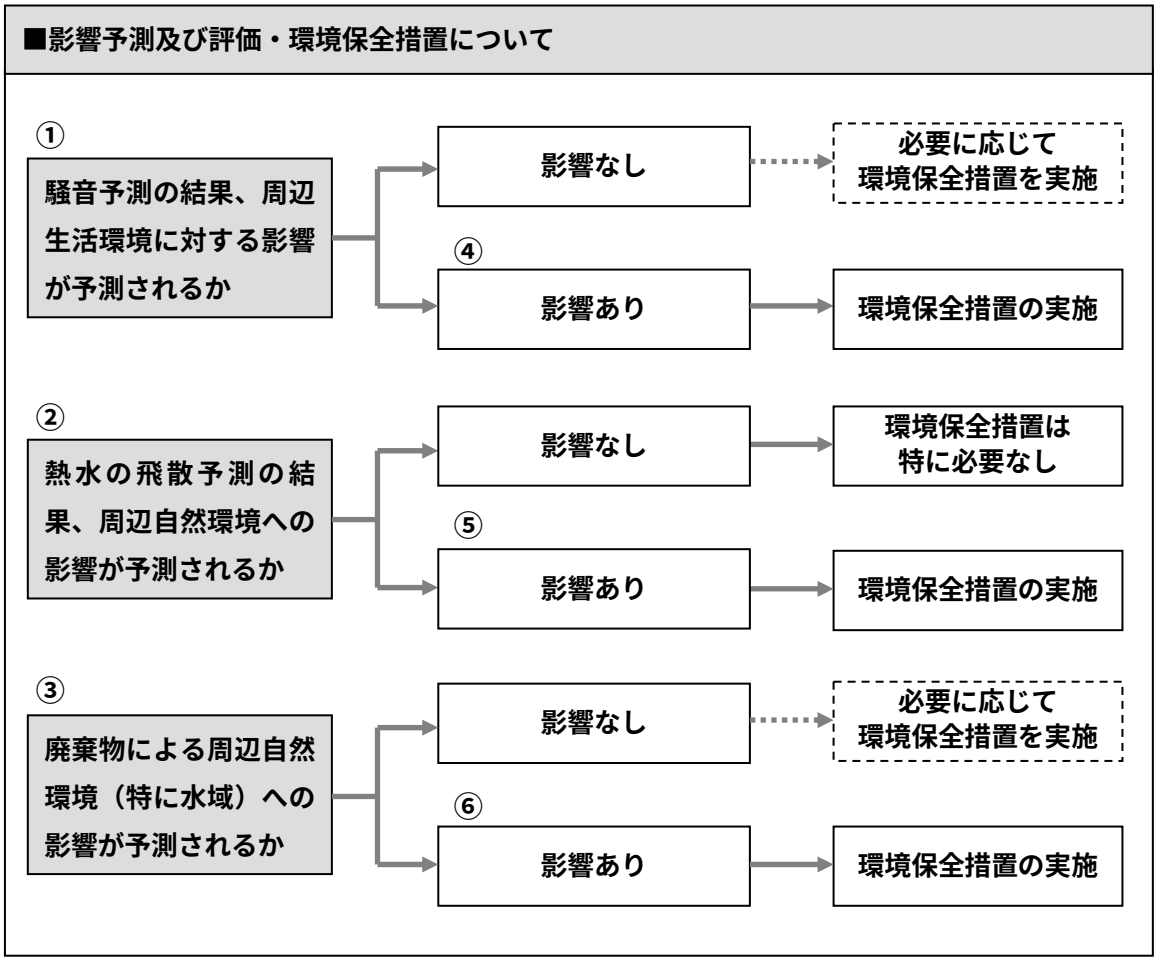
ウ．事後調査

坑井掘削後は蒸気井として管理され、周辺環境への影響はないことから、事後調査は想定しない。

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

坑井掘削（地上での環境影響）に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（〇数字は各着眼点に該当）



(4)地盤変動

審査の着眼点

地盤変動の発生の回避

ア．影響予測及び評価

●地盤への影響

イ．環境保全措置

●地下資源量の保持

ウ．事後調査

●地盤変動の監視の考え方

1）解説

地熱開発では、建設段階および操業段階ともに、坑井の掘削や地下貯留層からの地熱流体の採取のほか浅層地下水の採取を行う場合もあるため、これらの影響により地盤の変動を起こす可能性を有している。

これまでの我が国の地熱開発では、建設・操業が原因として明らかな地盤変動が起こった事例はないが、万が一の際の被害は人的にも大きなものになる可能性がある。そのため、影響予測及び評価において影響が予測されなかった場合においても、モニタリングとして継続的に調査を行うことで小さな兆候を発見する措置を講じておくことが重要である。

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●地盤への影響

①地下資源量のバランスの観点から、科学的手法に基づき解析され、評価が行われているか。

②操業開始後の地熱流体や浅層地下水の採取に伴う影響にも留意しているか。

・これまでの省議アセス報告書においては、坑井壁との間をセメンチングするといった土木的な対策や浅層地下水の取水を少量にするといった配慮、さらには地熱流体は還元井にて地下貯留層に戻すことを考慮して「影響はない」との評価を得ている。

・しかし、前項「(2)温泉」での考え方と同様に、科学的な手法に基づき詳細な解析を行っておくことが必要であり、特に地盤変動の直接的な要因となる地下資源量のバランスの観点から、操業段階も含めた予測評価を行うことが求められる。

イ．環境保全措置

●地下資源量の保持

③地盤変動が予測された場合に、地下資源量のバランスを保持する環境保全措置が検討されているか。

・影響予測及び評価の結果、地盤変動の発生が予測された場合は、環境保全措置が必要である。環境保全措置は、地盤変動の発生を回避することを基本的な考え方として、地下資源量の保持や浅層地下水採取への配慮が必要である。

（参考）省議アセスでの環境保全措置

・各発電所の環境保全措置をすべて集約した結果を示す。

・温泉に係る考え方や対策とほぼ同様であるほか、浅層地下水の保全の観点から環境保全措置が検討されている。

基本的考え方	・地盤に影響を与えないようにする。
具体的対策	・地盤変動の原因となる地下水の汲み上げは行わない。（取水なしの発電所） ・井戸からの生活用水の取水は少量とする。（取水ありの発電所） ・地熱流体は生産井により地下深部から自然噴出させて採取し、熱水は還元井により全量を地下深部へ還元する。 ・地盤変動の原因となる浅部地下水系へ影響を及ぼさないよう生産井、還元井とも地下深部まで鋼管と坑井壁との間をセメンチングする。

ウ．事後調査

●地盤変動の把握　（参考：【資料(4)-1】）

④影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合に、地盤変動の把握のための事後調査が計画されているか。

⑤不確実性がない場合においても、事後のモニタリング調査が計画されているか。

・影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合も含めて、操業段階において継続的にデータの積み重ね経年変化を把握する調査を実施し、有意な変化の有無について把握しておくことが望ましい。

・なお、地盤変動に結びつく地下への影響は、地熱開発の初期段階には大きく、地熱流体の循環が安定する操業後は徐々に小さくなる場合があることに留意する。

（参考）省議アセスでの事後調査

・各発電所での検討結果を整理すると概ね下記の通りである。

測定内容	・基準点に対する各観測点の標高差の測定を定期的（1 回/年）に行う。

（参考）地震に関するモニタリング調査

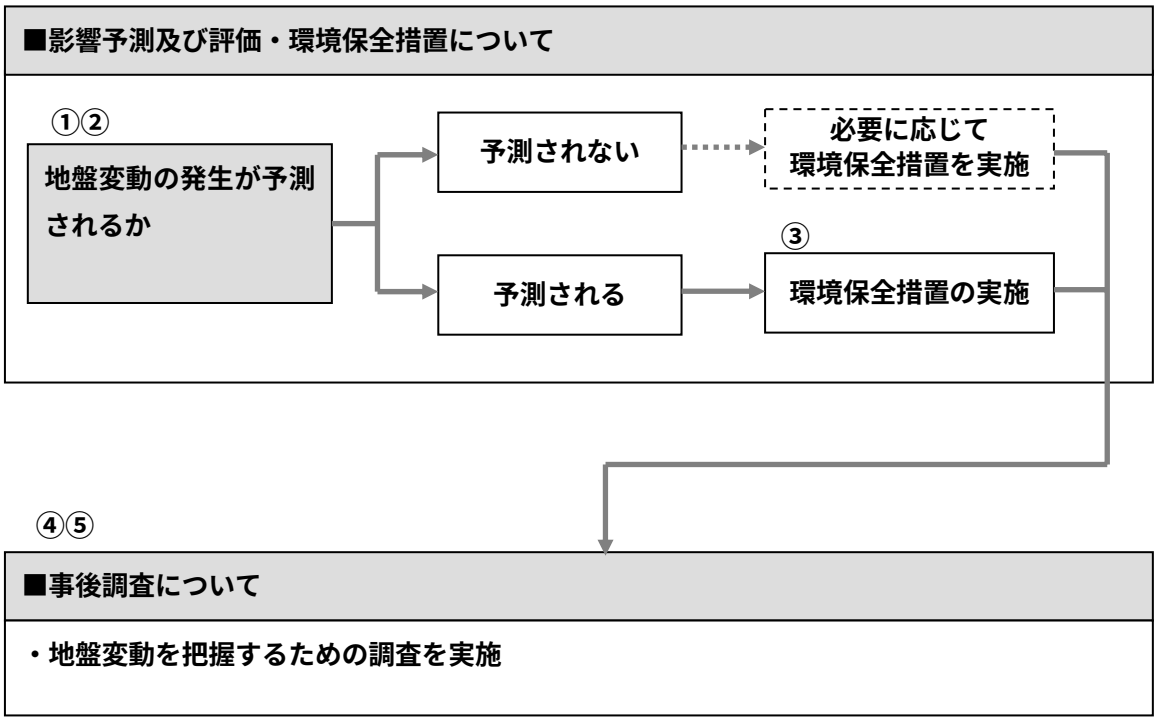
・J 発電所では、地盤変動と関連して地震のモニタリングが実施されている。

測定内容	・地震計を設置し、連続測定を行う。

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

地盤変動に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（○数字は各着眼点に該当）



(5)樹木への着氷

審査の着眼点

周辺植生への着氷被害を回避・低減

ア．影響予測及び評価

●冷却塔からの水蒸気の拡散予測

イ．環境保全措置

●水蒸気の拡散の抑制

ウ．事後調査

●着氷被害の把握

1）解説

地熱開発では、噴出試験時に飛散する蒸気や熱水、冷却塔からの水蒸気が周辺樹林の枝条に付着して冬季に結氷し、樹木の枯死、枝枯れ等の被害が発生した事例が過去にみられる。特に冷却塔の風下側の樹林が立枯れ状態になり、太枝の欠落や高木層のブナが白骨化して主幹だけが残り景観的にも損傷を及ぼした状況となる。

現在では、蒸気井の噴出時には熱水飛散の防止が図られていることや、多くの地熱発電所では冷却塔の直近に影響を受ける樹林の存在が少なくなっていること、かつて被害が大きかった場所では、一部は伐採されたり耐凍性の高い樹木に自然遷移したことから、外観上の影響はほとんどみられなくなっている。

（参考）過去の着氷被害の発生状況

・D 発電所ので着氷被害の発生状況は以下の通りである。

冷却塔からの距離	着氷被害の発生状況
30m以内	（発電所建設時に伐採）
30～70m	高木層が荒廃し立ち枯れが多く、低木層のハウチワカエデが高被度を占め、草本層ではチシマザザが繁茂している
70～100m	高木層の梢端枯れや欠損が目立つ。立ち枯れはほとんどない
100m以上	異常は認められない

出典：環境庁委託「地熱発電所の立地に伴う周辺植物への影響調査報告書」平成 5 年 3 月、(株)プレック研究所

・その他、八幡平地域での報告として、噴井から 50～100m 以内では被害が大きく、枯死あるいは半枯死の樹木が多く、風下側では 200m 程度離れたブナ林でも枝先がかなり枯れたという調査報告あり。

出典：吉岡邦二・加藤陸奥雄「八幡平地域の学術調査概要と自然保護からみた地熱発電開発の検討」1972、日本自然保護協会第 42 号

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●冷却塔からの水蒸気の拡散予測　（【資料(5)-1】参照）

①冷却塔からの水蒸気の影響範囲に自然植生が存在する場合に、拡散予測を行っているか。
②周辺植生（特に重要な植物群落や重要な植物種）への着氷という観点から評価を行っているか。

・着氷被害が発生するのは、冷却塔の近傍に成立している植生域であることから、冷却塔からの水蒸気の影響範囲に自然植生域が存在する場合に、その植生域に重要な植物群落や重要な植物種が存在しているのかという観点から影響予測及び評価を行うことが必要である。

（参考）省議アセスでの影響予測及び評価
・大霧発電所では、年間の降雪日数が少ない温暖な地域である点、より大きな影響がある冬季の蒸気噴出試験時に周辺樹木への着氷が確認されなかった点から、冷却塔の水蒸気が周辺樹木に与える影響はないとの評価結果を導いている。

イ．環境保全措置

●水蒸気の拡散の抑制

③周辺植生への着氷が予測された場合に、影響を回避・低減する環境保全措置が検討されているか。

・影響予測及び評価の結果、周辺植生への着氷が予測された場合は、環境保全措置が必要である。環境保全措置は、着氷を回避・低減することを基本的な考え方として、重要な植生域から冷却塔を遠方に配置するなど設計上の配慮や、水蒸気量の発生を抑制する措置の実施、ファンの出力増大による上方拡散能力の向上等の対策が望まれる。

（参考）省議アセスでの環境保全措置
・各発電所の環境保全措置をすべて集約した結果を示す。

基本的考え方	・樹木への着氷による凍結害を抑制し、自然景観の保全及び自然保護に努める。
具体的対策	・冷却塔は、周辺樹木への着氷の原因となる水蒸気の発生を抑制するため、一部乾式熱交換器の採用により低減。 ・冷却塔は排気口集合型を採用するほか、ファンタックスの高さによる蒸気拡散効果を高めるとともに、地形や気象条件を考慮した位置に設置。

ウ．事後調査

●着氷被害の把握　（【資料(5)-2】参照）

④影響予測結果や環境保全措置に不確実性が残る場合に、事後調査が計画されているか。

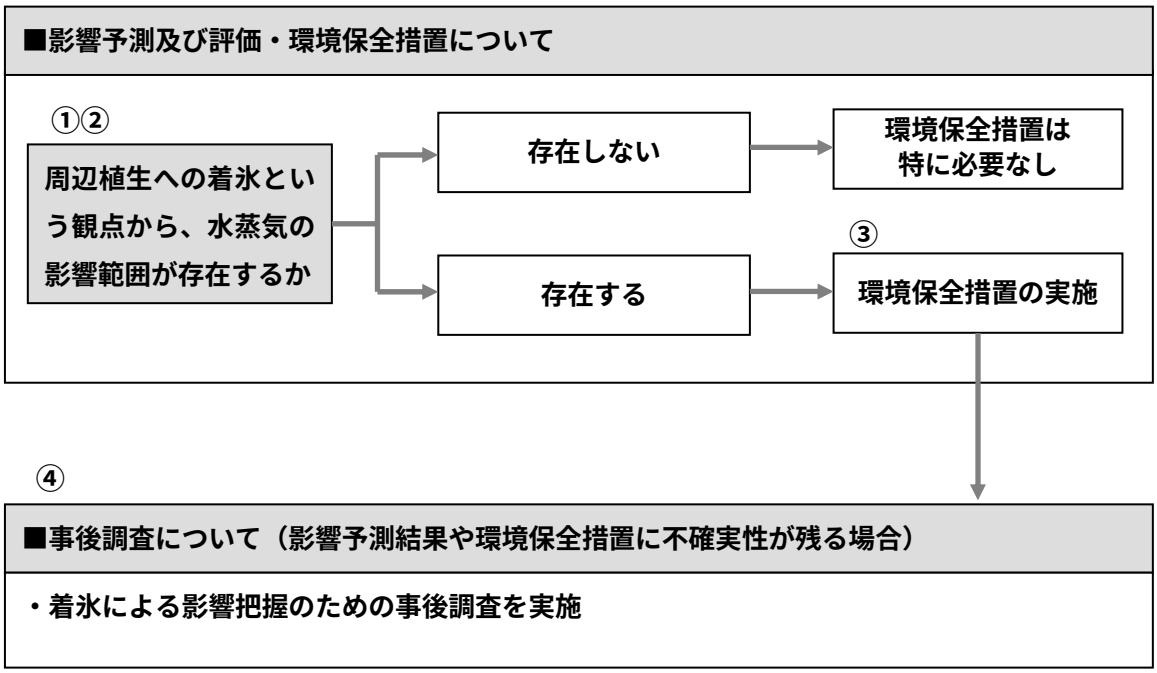
・着氷被害は植物の健康状態の異常として確認されるため、樹木への着氷が予測された場合には冬季を中心に樹木活力度の調査や定点写真撮影といった事後調査を行うことが望ましい。特に立ち枯れが発生した場合、発電所周辺の景観としても好ましいものではない。

・なお、事後調査を一定期間実施した結果、影響が発現していなかった場合には、事後調査を休止あるいは完了する判断は可とする。

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

樹木への着氷に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（○数字は各着眼点に該当）



(6)景観

審査の着眼点

地熱発電所建設に伴う景観への影響低減

地熱発電所建設に伴う景観の形成

ア．影響予測及び評価

●景観変化

イ．環境保全措置

●景観変化の影響低減

●景観形成

ウ．事後調査

想定なし

1）解説

我が国は南北に長く複雑な地形や気候等により優れた自然の風景地にめぐまれた国土を有しており、国立公園法（昭和 6 年施行）や自然公園法（昭和 32 年施行）によって広大な地域の自然景観の保全が図られてきた。最近では、都市や農山漁村等における良好な景観の形成を目的として景観法が制定されるなど（平成 17 年施行)、景観に対する社会的な注目も高まっている。

地熱開発にあたっては、その有望地域の多くが自然公園内やその隣接域に位置していることや、冷却塔からの水蒸気が上空にまで達する場合もあり、他の開発事業と比べても自然景観との調和を図ることは大きな課題となっていた。このため、既設の発電所では建屋の構造や色彩、施設配置など様々な配慮がなされてきている。

また、近年の景観アセスメントでは、ある視点場から視対象を認知する「眺望景観」に加え、利用の状態も含めた近景域の構成要素全体としての「囲繞(いにょう)景観」の観点も検討が進んでいる※。

このような過去の経緯や最近の動向を踏まえ、今後の景観に係る環境影響評価の際には、既設発電所におけるこれまでの景観保全の実績を参考としつつ、評価指標の変化量などにより定量的に分析を行うことで、客観的に評価を行うことが必要である。

※参考：通産省委託・(株)プレック研究所「平成 7 年度地熱発電所環境調和促進調査報告書」平成 8 年
環境庁企画調整局編「自然環境のアセスメント技術（Ⅱ）」平成 12 年

2）審査の着眼点

ア．影響予測及び評価

●景観変化　（【資料(6)-1】参照）

①眺望景観や囲繞景観の観点から解析され、評価が行われているか。

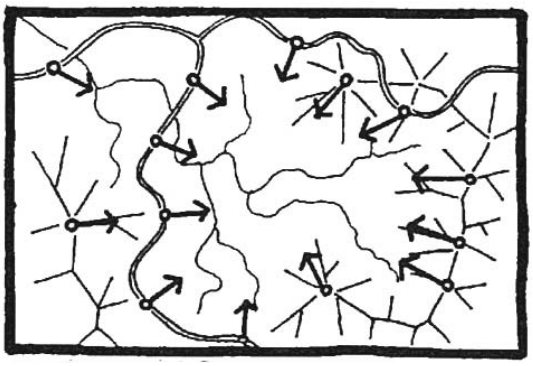
・これまでの省議アセス報告書においては、発電所建屋等の形状や色彩への配慮、改変面積の最小化などにより周辺景観との調和を図るため、「影響は少ない」との評価を得ている。

・今後の環境影響評価にあたっては、まずは眺望景観への影響抑制の観点により、地域住民にとって生活上慣れ親しんでいる場所や観光客が多数利用している場所などの中から代表的な眺望地点を抽出し、景観の変化量について比較分析を行うことが求められる。その上で、囲繞景観について、景観への影響抑制あるいは景観形成の観点から分析を行うことが必要である。

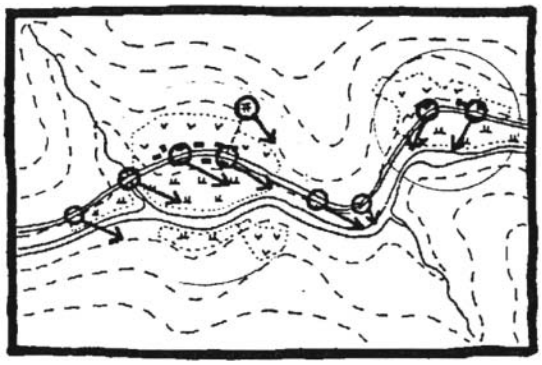
（参考）眺望地点の選定の考え方

・主要眺望地点の選定にあたり、抽出の主な考え方は下記の通り。

＜観光資源等、地域内の多数の視点場＞



＜地域住民が生活上慣れ親しんでいる場所＞



（出典：熊谷洋一「景観アセスメントにおける予測評価手法に関する研究(Ⅱ)」1988 年、東大農学部演習林報告 78）

・また、冷却塔からの水蒸気（白煙）については、各発電所ごとに蒸気量が異なるほか、地域や季節、その時の気象条件によっても大きく異なる状況となるため、画一的に計算することはできない。一方で自然噴気帯が分布するような地域では必ずしも景観を阻害する要素とはならない。

・そのため、冷却塔からの水蒸気に係る予測の定量化は困難であり、一定の条件下での予測結果により評価を行う。（増設に係るフォトモンタージュでは、既に運転開始している冷却塔からの水蒸気量に基づき変化量を推定。）

イ．環境保全措置　　（参考：【資料(6)-2】）

●景観変化の影響低減、景観形成

②景観変化の影響低減あるいは景観形成の観点から環境保全措置が検討されているか。

・景観への保全措置としては、これまでの既設発電所で実施されてきた対策を踏まえ、周辺景観との調和を図るための緑化や構造上の配慮等を行うことが必要である。
・冷却塔からの水蒸気を抑制する技術として、冷却塔の熱交換器について一部乾式を採用している発電所もみられる（澄川、葛根田 2 号機）。
・一方、建設される建屋等が新しく景観構成要素になることから、景観形成の観点からの検討も重要である。
・なお、景観に対する環境保全措置は、他の影響項目の環境保全措置とトレードオフの関係になる場合がある。例えば、景観への影響緩和のための植栽については、冷却塔に近い範囲では着氷被害の発生につながる可能性があること、着氷被害を防ぐための水蒸気の上方拡散は景観への影響要因となることが考えられる等であり、これらについては各地熱発電所ごとに立地特性などから総合的に検討する。

（参考）省議アセスでの環境保全措置
・各発電所の環境保全措置をすべて集約した結果を示す。

基本的考え方	・下記の対策を実施することにより周辺景観と調和を図る。
具体的対策	・発電所建屋等の形状および色彩に配慮。 ・土地の改変及び樹木の伐採範囲を最小化。 ・土地の改変部は緑化。 ・蒸気及び熱水輸送管は原則として道路沿いに低く設置。 ・発電設備と蒸気設備の集中化を図り、改変面積を最小化する。

・さらに八丁原発電所では下記のような詳細な対策が示されている。

具体的対策	・地形改変部において自然公園法により採取が規制されている植物のうち、移植可能なものはできるだけ保存に努める。 ・緑化では、周辺植生及び環境条件を考慮して適切な樹種及び植栽方法を選定し、周辺環境と調和を図る。 ・本館建屋の周囲の一部には高木を植栽し、外部から複雑な配管等ができるだけ見えないようにする。 ・地熱流体輸送管の経路は、道路沿いの谷側にするとともに、できるだけ低くして樹木で隠れるようにする。樹木が少ない部分は、できるだけ植栽等により目立たなくする。

ウ．事後調査

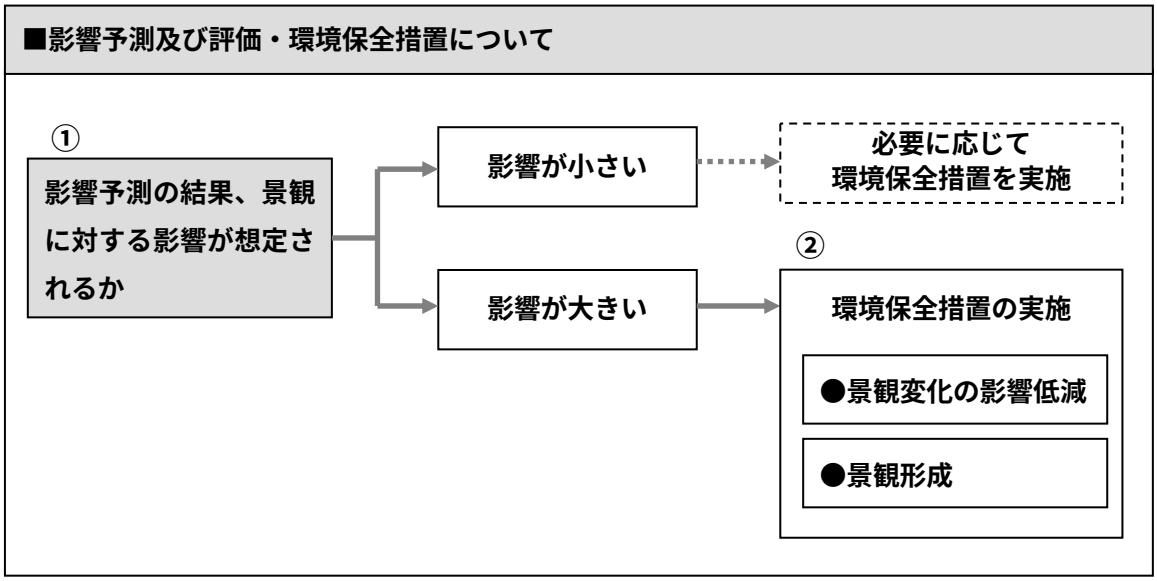
地熱発電所では建設後、構造物としての景観変化は起こらない。また、蒸気井の掘削が随時実施され櫓などの仮設物が設置されるが概ね数ヶ月の短期間で終了し撤去されるため、景観への恒久的な変化を与えるものではない。このため景観に関する事後調査は想定しない。

ただし、影響予測及び評価の結果、冷却塔からの水蒸気に留意する必要がある場合や特に景観保全上の配慮が必要な場所等については、定期的な写真撮影等の調査を行うことが望ましい。（松川地熱発電所や葛根田地熱発電所、八丁原発電所等では事後モニタリングとして写真撮影が行われている。）

3）影響予測及び評価・環境保全措置・事後調査の関係

景観に関する環境影響審査の考え方の流れと着眼点の関係を以下に示した。

（○数字は各着眼点に該当）



第 6 章　地熱開発と地元との共生

第 5 章の温泉の項でも示したように、これまでの地熱開発にあたっては、地元の温泉事業者等の反対を受けて計画が進まない事例や計画が白紙撤回された事例もあり、地熱開発にとって地元住民、特に温泉との共存は非常に大きな課題となっている。

このため、地元との協力関係をつくり情報の公開を促進しつつ、両者がともに発展するという関係構築が何より重要であり、そのためには「地熱開発の影響はない」との予測結果のみならず、科学的な知見の充実や不確実性を念頭においた事後モニタリングの適切な実施、万が一問題が発生した時の対処方法について、より具体的な方針を提示することが必要となっている。

このような観点から既設発電所においては、地元との共生を目指して、様々な貢献策を講じたり、環境保全に係る協定を締結するなど、既に多くの取り組みが実施されてきている。本項では、既設発電所（事業用）における実績として、協定の締結状況ならびに地元への貢献状況について整理を行った。

6.1　協定の締結

既設の発電所では地元自治体との間で協定書を締結し、事後のモニタリングの実施や定期的な報告等を行っている事例が多い。

このような地元との間で環境保全やモニタリングに関する協定を締結している発電所は以下の通りであるが、協定という形式を採っていない発電所においても地元への定期的な報告会の開催などが実施されている。

●締結あり…森、澄川、葛根田、上の岱、柳津西山、八丁原、大岳、滝上、大霧、山川

●締結なし…大沼、松川、鬼首、八丈島

締結された協定書の例を表 6.1-1 示す。この事例では、結果の報告や苦情の処理などについても定められているほか、別表 3 のように目標値が定められている。他の事例ではモニタリング項目のみが定められ目標値が記載されていない協定書もみられた。

表 6.1-1　協定書の例

（1/3）

○○地域地熱環境保全協定書
締結　昭和○○年○○月○○日

○○発電所の環境保全に関する協定書

○○県（以下「甲」という。）及び○○町（以下「乙」という。）と○○株式会社（以下「丙」という。）及び○○株式会社（以下「丁」という。）並びに○○株式会社（以下「戊」という。）とは、丙及び丁並びに戊の○○地域における事業活動に伴う環境保全について、次のとおり協定を締結する。

（目的）
第１　この協定は、地域住民の健康の保護と生活環境の保全に資するため、丙及び丁並びに戊の事業活動により発生する公害と自然環境の損傷を未然に防止することについて、必要な事項を定めることを目的とする。

（定義）
第２　この協定において、次の各号に掲げる用語の意義は、当該各号に定めるところによる。
（１）公害とは、環境基本法（平成５年　法律第９１号）第２条第３項に規定する公害をいう。
（２）公共用水域とは、水質汚濁防止法（昭和４５年法律第１３８号）第２条第１項に規定する公共用水域をいう。
（３）事業活動とは、○○地域における地熱発電及びそのための地熱開発並びにこれに附帯する行為をいう。
（４）○○地域とは、○○県○○町大字○○字○○国有林地域及び○○国有林地域をいう。

（環境測定）
第３　丙及び丁並びに戊は、事業活動に伴って生ずる環境への影響を把握するため、それぞれ別表第１及び別表第２に定める項目について、環境測定を実施するものとする。
２　丙及び丁並びに戊は、前項の測定を実施した場合は、別に定めるところにより、その結果を甲及び乙に報告するものとする。

（公害の防除）
第４　丙及び丁並びに戊は、第３の環境測定の結果、別に定めるところにより、甲及び乙と協議し、その責任において公害防除の措置を講ずるものとする。

（施設の整備等）
第５　丙及び丁並びに戊は、公害防止施設及び環境施設の整備を適切かつ十分に実施するものとし、善良な管理者の注意をもって維持管理するものとする。
２　丙及び丁並びに戊は、公害及び自然環境に関係のある主要施設の新設、増設若しくは変更を行おうとするときは、事前に甲及び乙と協議するものとする。

（熱水等の処理）
第６　丙及び丁は、事業活動により発生する余剰熱水を地下還元井に注入し、公共用水域に排出してはならない。
２　地下還元井は、注入水が公共用水域または利用される地下水を汚染するおそれのない地層に還元されるものでなければならない。
３　丙及び丁並びに戊は、事業活動により発生する余剰熱水以外の排出水が別表第３に定める基準に適合しないときは、公共用水域に排出してはならない。

（緊急時の措置）
第７　異常な渇水等の自然条件の変化の場合においても、丙及び丁並びに戊が事業活動を平常どおり継続していた場合に、自然環境、生活環境または住民の健康に被害が生じ、または生ずるおそれがある場合においては、丙及び丁並びに戊は、速やかに必要な措置をとらなければならない。
２　甲は、丙及び丁並びに戊が前項の措置をとらない場合及び前項の措置が十分でないと認めた場合は、乙と協議し、必要な措置について指示するものとする。

（施設の使用停止）
第８　第４または第７の措置等によっても被害の状況が改善されなかったときは、甲は乙と協議し、施設の一部または全部の使用の停止を指示し、丙及び丁並びに戊は、これに従わなければならない。

（事故時の措置）
第９　丙及び丁並びに戊は、公害防止施設及び環境施設について故障、破損等の事故により周辺に被害が発生し、また、発生する恐れがあるときは、直ちに応急の措置を講ずるとともに、速やかに甲及び乙に報告するものとし、必要に応じて地域住民への通報の措置を講ずるものとする。
２　甲及び乙は、前項の場合において事故の拡大、または、同種の事故の再発防止のため、丙及び丁並びに戊に対し必要な措置を指示することができる。

（環境の整備）
第１０　丙及び丁並びに戊は、事業場構内の環境について、周辺の環境と調和する緑化整備を行う等その景観保持に努めるものとする。

（報告及び調査）
第１１　甲及び乙は、丙及び丁並びに戊に対し環境保全のために必要な事項について、報告を求め、または事業場に立入り、そのために必要な調査をすることができるものとし、丙及び丁並びに戊は、これに積極的に協力するものとする。
２　前項の立入り調査は、甲及び乙が指定する議員が行うものとし、この場合においては、その身分を示す証明証を携帯しなければならない。

（違反時の措置）
第１２　丙及び丁並びに戊がこの協定に定める事項に違反した場合には、甲は、乙と協議のうえ必要な指示を行うものとし、丙及び丁並びに戊はこれに従わなければならない。

（苦情等の処理）
第１３　丙及び丁並びに戊は、地域住民との間に苦情及び紛争があったときは、遅滞なく甲及び乙に報告するとともに、丙及び丁並びに戊は、誠意をもってその解決に努めるものとする。

（損害賠償）
第１４　丙及び丁並びに戊は、その事業活動に伴って甲及び乙または、地域住民に損害を発生させた場合には、その損害を賠償しなければならない。

（実施細目）
第１５　この協定実施に関し必要な事項は、甲及び乙と丙及び丁並びに戊が協議して別に定める。

（補則）
第１６　この協定に定める事項について疑義が生じたときまたはこの協定に定める事項を改正しようとするとき若しくはこの協定に定めのない事項について定めをする必要が生じたときは、その都度甲及び乙と丙及び丁並びに戊が協議するものとする。

（附則）
１．この協定は、平成○○年○○月○○日より効力を有する。

この協定締結の証として、本書５通を作成し甲及び乙と丙及び丁並びに戊が記名押印して、それぞれ１通を保有するものとする。

平成○○年○○月○○日
甲　○○県知事　○○
乙　○○県○○町長　○○
丙　○○株式会社　代表取締役社長　○○
丁　○○株式会社　代表取締役社長　○○
戊　○○株式会社　代表取締役社長　○○

別表第１（第３関係）丙及び丁に係る分

環境測定項目	調査内容
Ⅰ　還元井の時間当り注入量	注入量、注入圧力
Ⅱ　蒸気井の噴出成分	蒸気量、熱水量、水蒸気とガスの比、水量、水蒸気とガスの比、ガス中の硫化水素、炭酸ガス
Ⅲ　地下水の変化	地下水位
Ⅳ　井戸水、温泉水、沢水の水質	水温、水量又は水位、砒素、塩素イオン
Ⅴ　自然噴気	温度、成分、写真撮影
Ⅵ　地震観測	微小地震
Ⅶ　地盤変動	水準測量

別表第２（第３関係）戊に係る分

環境測定項目		調査内容
Ⅰ　河川水及び排出水の水質		天候，気温，水温，流量，砒素，カドミウム，水素イオン濃度，生物化学的酸素要求量，化学的酸素要求量，溶存酸素量，浮遊物質量
Ⅱ　河床土中の有害物質の濃度		砒素，カドミウム（上と同時実施）
Ⅲ　地表の硫化水素の濃度		天候，気温，風向，風速，硫化水素
Ⅳ　表土の水素イオン濃度		水素イオン濃度（上と同時実施）
Ⅴ　騒音		天候，気温，風向，風速，運転条件，騒音値
Ⅵ　着氷		天候，気温，湿度，風向，風速，降水量，運転条件，着氷の有無
Ⅶ　動物	ⅰ陸生動物	哺乳類，鳥類，両生類，昆虫類の生息状況
	ⅱ水生昆虫	生息状況
Ⅷ　環境指標	ⅰ指標植物の観測	指標植物（ブナ）の生育調査，葉分析
	ⅱ景観の観測	発電施設，蒸気施設

別表３（第６関係）

項目	許容限度
カドミウム及びその化合物	1㍑につき　カドミウム　0.1mg
シアン化合物	1㍑につき　シアン　0.1mg
鉛及びその化合物	1㍑につき　鉛　0.1mg
六価クロム化合物	1㍑につき　六価クロム　0.5mg
砒素及びその化合物	1㍑につき　砒素　0.1mg
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	1㍑につき　水銀　0.005mg
アルキル水銀	検出されないこと
水素イオン化合物（水素指数）	5.8 以上 8.6 以下
生物化学的酸素要求量	160（日間平均 120）（単位 1㍑につき mg）
浮遊物質量	200（日間平均 150）（単位 1㍑につき mg）
ノルマルヘキサン抽出物質含有量（鉱油類含有量）	5（単位 1㍑につき mg）
銅含有量	3（単位 1㍑につき mg）
亜鉛含有量	5（単位 1㍑につき mg）
溶解性鉄含有量	10（単位 1㍑につき mg）
溶解性マンガン含有量	10（単位 1㍑につき mg）
クロム含有量	2（単位 1㍑につき mg）
弗素含有量	15（単位 1㍑につき mg）

備考
１．「検出されないこと」とは、当該項目に係る検定方法の定量限界を下回っていることをいう。
２．「日間平均」による許容限度は、1 日の排出水の平均的な汚染状態について定めたものである。
３．地熱発電所冷却水の浮遊物質量についての基準は、「当該排出水に含まれる浮遊物質量を冷却用取水口における浮遊物質量と比較して 200（単位㍑につき mg）をこえて変動させてはならない」とする。

6.2　地元への貢献

既設発電所では、地元との共生にあたり、表 6.2-1 に示すようなさまざまな貢献や協力を行っている事例が多い。

表 6.2-1　地元への貢献等　　**(1/2)**

	地元への貢献等
森	・環境調査報告書は、森町へ年度内 2 回（上期、下期）提出。 ・地熱水利用園芸利用ハウスへの安定した熱水供給の要望は継続的にあり。苦情などの改善要望は特になし。 ・発電所構内に PR 館あり。
大沼	・温泉モニタリングの結果を温泉事業者および自治体に報告。 ・環境測定（年報）報告書は環境省に提出。温泉事業者、自治体等には提出していない。 ・年 2 回説明会を実施。必要に応じて、戸別訪問にて説明。 ・その他地元からは、温泉事業者が主催する行事への参加や工事関係者の地元宿泊施設への配宿等の要望あり。
澄川	・温泉モニタリングの実施と報告。温泉のための技術支援・協力。温泉事業者が主催する行事への参加。 ・年 2 回以上の説明会を開催。必要に応じて、個別に説明。説明会参加者は地熱に理解のある方が多い。反対派には個別に説明を実施している。 ・発電所構内に PR 館あり。 ・その他地元からは、工事関係者の宿泊施設への配宿等の要望あり。
松川	・蒸気と沢水を混合した熱水を松川地区の 3 軒の温泉旅館に供給（3.6ｔ/日）している（蒸気導入温泉）。地元の温泉事業者とは共存共栄している。 ・宿泊施設ほか向けに温水（熱交換）供給（八幡平市産業振興株式会社）。 ・農業用ハウスへ温水を供給（八幡平市）。 ・補充井掘削時の説明会は実施していない。個別に対応。 ・PR 館は冬季を除き運営（4～11 月）。年 3000 人程度。
葛根田	・滝ノ上温泉へ熱交換により、配管にて温泉供給（めぐみの湯）。 ・補充井掘削時の説明会は実施していない。個別に対応。 写真出典：「葛根田地熱発電所説明資料」2010.4.15
上の岱	・温泉事業者が主催する行事への参加。 ・補充井掘削時には、個別に対応。 ・PR 館の運営。（4 月下旬～11 月下旬）
鬼首	・発電所の状況や今後の計画について、地元の源泉所有者に毎年定例会を開催。 ・地域行事への協賛、参加、地域交流行事の開催など。

表 6.2-1　地元への貢献等　　**(2/2)**

	地元への貢献等
柳津西山	・周辺集落への事業報告会を年 1 回開催。 ・補充井掘削時には、温泉組合および近隣集落に対して説明会を開催。 ・PR 館の運営。
八丈島	・周辺の温室団地へ熱鋼管による温水の提供（12～3 月）。 ・PR 館の運営（TEPCO 八丈島地熱館）。
大岳 八丁原	・定期的に温泉事業者と意見交換会を実施（定例 2 回/年、臨時 2～3 回/年）。モニタリング結果の主なものを提供。 ・八丁原発電所併設の展示館にて PR。（見学者数 3～4 万人/年） ・技術的説明が必要な対応は、別途発電所員にて対応。 ・八丁原 2 号機に関しては、地元の要請により周辺山林を広く買収し、維持管理を行っている。
滝上	・年度工事計画を町、地元に書面にて連絡。 ・温泉モニタリング結果を町に報告。 ・社内緑地の保全を地元農林業者に依頼。 ・周辺のヤマメの養殖業者には社有地通行許可。 ・滝上地区（33 軒分。3 箇所のタンクまで）と寺床地区（共同浴場）に造成熱水を無料提供（造湯施設 80℃→集落タンク 75℃）。風呂や掘りごたつなど個人利用に限定し、農業ハウスなど商業利用はしないように要請。定期点検（1 回あたり 20 日間）や造湯施設（年 2 回）の掃除は出光、配管は地元が管理。 ・地元盆踊りへの寄付、地元民宿等からの見学希望への対応など実施。
大霧	・補充井掘削時に個別説明会を実施（特に反対意見なし）。 ・PR 館は設置してないが、社員の通常勤務帯は見学者を受入れている。1,500～1,600 人/年。学校関係者も来る。土日は閉鎖。 ・新基地の造成にあたっては、地権者から広く借りるように依頼あり。
山川	・PR 館の運営。平成 21 年度の見学者は 1 万 3000 人。 ・技術的説明が必要な対応は、別途発電所員にて対応。

6.3　地元から見た地熱発電所の存在

本業務での現地調査にあたっては、地熱発電所へのヒアリングのみならず、発電所が存在する地元自治体へのヒアリングを通じて、地元から見た地熱発電所の経済効果等の把握を行った。

ヒアリングを実施した自治体は計 5 ヵ所であり、ヒアリング結果の概要を表 6.3-1～6.3-4 に示す。

表 6.3-1　鹿角市役所（澄川地熱発電所について）

経済効果	・地熱開発事業による雇用の拡大。 ・関連工事に伴う宿泊施設の利用。 ・電源立地交付金、固定資産税、法人住民税。 ・地熱発電所および PR 館などの観光資源。 ・市内小学校を中心に理科授業の実施（発電所職員による。年に数回実施）。 ・周辺温泉施設等への分湯。
熱水利用	・周辺温泉施設や別荘等へ給湯（パッションフルーツ栽培は撤退）。

表 6.3-2　八幡平市役所（松川地熱発電所について）

経済効果	・日本最初の商業用地熱発電所として、稼動する発電所の見学や熱水を利用した温泉施設への宿泊等による観光入込客確保として、観光面での経済効果は大きい。 ・熱水は、東八幡平病院や老人福祉施設等に、農業用温水ハウスでの花き、ピーマン及びイチゴ等の生産に、また地熱蒸気染めに使用され、保健・福祉の増進及び農業振興にも大きな効果。
熱水利用	・八幡平市産業振興株式会社（八幡平市が 54%保有の第 3 セクター）による東八幡平温泉郷の各施設（温泉旅館、ペンション・ホテル等宿泊施設、温泉付別荘分譲地 1700 区画）、医療・福祉施設、農業用温水ハウスに対して、熱水（沢水との熱交換）を供給。 ・東八幡平温泉郷の造成には地中の配管（総延長 50㎞）と給湯施設に投資。 ・最近の宿泊数は 16 万 9,807 人、全入り込み客数は 58 万 3,295 人。

表 6.3-3　雫石町役場（葛根田地熱発電所について）

経済効果	・道路整備により滝の上（観光地）への利用が促進された。 ・作業員の周辺宿泊施設の利用。
熱水利用	・昭和 55 年より国が関与する実証調査（経済性、機器の性能、システムの構築、配管の耐久性）により、小学校の暖房、民間の旅館・ホテルでの暖房・浴室、農業ハウスで利用されていた。 ・熱水中の砒素の除去に膨大な経費がかかるため、熱交換にて供給していた。 ・その後、平成 12 年度をもって国の関与が終了したことを受け、岩手県において実証調査を継続し平成 17 年度まで行われた。 ・熱水は玄武温泉 4 軒が使用していたが、平成 18 年 3 月 31 日をもって供給停止としたため、今後の対応について県が個別に行った。事後、温泉宿が共同で温泉を掘削したとのこと。 ・配管は H22 年度末ですべて撤去予定。

表 6.3-4　九重町役場（大岳、八丁原、滝上発電所について）

経済効果	・発電所及び展示館への見学など観光客の増。 ・大岳発電所について、発電所からの分湯が始まったことにより民宿経営者が増加。 ・大岳発電所について、第三セクターのバイオセンター等農業施設への分湯により新たな産業が起こった（バラ、カスミソウ）。しかし、発電所から U 字溝で 145t/h 分湯されるが、途中の民宿で需要量が多い時期は末端のバイオセンターまで流れてこない。 ・発電所の定期修理作業員の宿泊。
熱水利用	・砒素脱却装置を設置し第三セクターによる温泉供給会社（筋湯温泉供給株式会社）を平成 16 年に設立し、旅館等に分湯開始。既存温泉の減衰補償問題も解決した。 ・筋湯温泉供給株式会社…町、地元、九州電力が出資。 ・筋湯温泉の旅館分で使用する 78t/h は無償、それ以上は第三セクターから有償で供給し、この料金で維持管理している。

表 6.3-5　霧島市役所（大霧発電所について）

経済効果	・電源交付金･･･平成 9～10 年度に促進交付金を充当し、牧園地区の高千穂公民館を整備した。 ・工事（メンテナンス含む）関係者の宿泊等による経済効果。 ・発電所周辺の住民（40～50 人）とは共存している。（雇用、公民館活動の協働）
熱水利用	・大霧発電所の建設計画時点では、検討（視察等も実施）されたようだが、実現していない。

第 7 章　まとめ

本業務は、地熱発電所に関するこれまでの知見を収集整理し、検討会の開催により学識経験者の助言を得ながら、今後の地熱発電所の環境影響審査を適切に実施するための着眼点を整理することを目的として実施した。

まず本報告書の第 2 章として、地熱開発の概要として、地熱発電のしくみと主な発電手法（蒸気発電、バイナリー発電、マグマ発電、深部地熱発電、高温岩体発電）とともに、我が国の地熱発電所の概要や標準的な属性について整理した。また、地熱開発の全体像として、開発を行うための全体的な流れを地熱開発促進調査を中心に整理を行った。

第 3 章では、地熱開発に伴う環境影響を把握するために、まずは地熱発電所の構造を整理した上で、資源調査段階・建設段階・操業段階ごとに想定される環境影響を可能な限り網羅的に抽出した。

また、我が国の地熱開発では、これまで周辺への著しい環境影響が発現した例はみられないが、100 年前からの開発の歴史を有する海外では、温泉水位の低下や枯渇、地震の発生等につながったとされる事例もあるため、参考として代表的な事例を収集し整理した。

第 4 章では、我が国の地熱開発にあたってこれまでに取り組まれてきた環境保全対策について、環境影響評価制度の経緯の中で、省議アセスとしての取り組み内容を整理するとともに、現段階での環境影響評価の手続きについて整理を行った。

第 5 章では、省議アセスでの実績や環境影響評価法、電気事業法に基づく参考項目の中から、特に過去の環境影響評価法の適用事例では経験のない地熱開発特有の行為や要因によって想定される影響に着目し、6 項目（硫化水素、温泉、坑井掘削、地盤変動、樹木への着氷、景観）を抽出した。その上で、各項目ごとに、環境への影響予測及び評価、環境保全措置、事後調査の各観点から、環境影響評価の審査を行う際の着眼点とその考え方を提示した。

これらをまとめると次の通りである。

	着眼点とその考え方
硫化水素	人体にとって有害と考えられる濃度の参考値を念頭に、特に人体への影響を回避・低減するための検討が重要である
温泉	モデル化による科学的なアプローチが必要であり、調査データ等の公開による地元との共生が重要である
坑井掘削	掘削工事およびその付帯工事に伴う周辺環境への影響を回避・低減するとともに、建設段階のみならず操業段階も対象とした検討が必要である
地盤変動	温泉と同様に科学的なアプローチを行うことが重要であり、環境影響予測や環境保全措置に不確実性がない場合においても事後モニタリングの実施が重要である
樹木への着氷	近年の地熱開発手法では着氷被害は回避・低減されるが、過去に影響が発生した事例が存在するため、留意すべきである
景観	眺望景観および囲繞景観について、景観への影響低減のみならず景観形成の観点からも検討することが重要である

※本検討では上記 6 項目に特に着目したが、地熱発電所は、その立地地点ごとに蒸気の成分や生産量、周辺の社会条件や自然条件が異なっている。そのため、環境影響評価の審査にあたっては、審査案件それぞれの特性を踏まえた適切な評価項目の抽出や検討がなされる必要がある。

また第 6 章では、今後の地熱開発にあたって特に重要と考えられる地元との共生について、これまでの実績や地元からの評価を整理した結果、各地熱発電所ともに様々な取り組みが既になされており、地元との良好な関係を構築している事例が多いことが明らかとなった。また、地元自治体の意見としても、経済効果や熱水利用等において多くのプラス評価が得られていた。

以上のように、本業務では今後の地熱発電所の環境影響評価の審査にあたって着目すべき項目について、検討会の開催により学識経験者の助言を得ながら計 6 項目を抽出し、それぞれについて、環境への影響予測及び評価、環境保全措置、事後調査の各観点にて、注目すべき着眼点とその考え方をとりまとめた。

現在、我が国では脱化石エネルギーや温室効果ガス削減のみならず、エネルギーの安定供給が求められており、今後早々に環境影響評価法に基づく初の案件が提出される可能性が高い。その際には、本報告書で整理された地熱開発に伴う環境影響や着眼点を念頭に、円滑な審査を行っていくことが望まれる。