

## 地熱発電事業の行為内容と環境への影響軽減技術について (1/3)

		自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)
資源調査の段階	地表調査	岩石等の採取	【土石の採取】	・ 土壌や岩石のサンプル採取を踏査により実施。	・ 踏査により調査が行われ、新たに道路等を新築する必要がないことから、風致景観への影響は小さい。
		測定器の設置	【土地の形状変更】 【仮設の工作物の新築】	・ 測定器を設置し、地下の地熱資源量を探査。 ・ 一般的な物理探査 (MT法電磁探査や重力探査) に必要な敷地は測定器1箇所あたり面積1m <sup>2</sup> 程度、深さ30cm程度で、穴を手作業にて掘削。また事後埋め戻しを実施。 ・ その他の物理探査 (CSMT法電磁探査や反射法地震探査等) は、当該調査の規模または仕様によっては自然環境への影響が比較的大きい。	・ 一般的な物理探査 (MT法電磁探査) については、以前は大型の測定器を運搬するために重機等で車道が造成されることもあったが、近年では測定器が小型化し、人力による運搬が可能となったほか、改変面積も縮小された。 ・ しかし、その他の手法 (CSMT法電磁探査や反射法地震探査等) が実施される場合には、調査規模または仕様によっては自然環境への影響が比較的大きい。 ・ 今後、調査技術がより進展することで、自然公園に与える影響はさらに軽減できると考えられる。
	坑井調査	敷地の造成 道路の造成	【木竹の伐採】 【土地の形状変更】 【河川等への影響】 【工作物の新築】 【車道の新築】	・ 面積2,500m <sup>2</sup> 程度の敷地を造成 (基地1箇所あたり)。(当該敷地に計画される坑井本数や、掘削長の差による機器の配置仕様等によって変化する) ・ 周辺道路までのアクセス道路を造成。 (調査期間は、調査開始から完全撤去まで概ね半年以内)	・ 現段階で自然景観への影響を軽減する施工方法が採用されているとは考え難いが、今後、調査技術がより進展することで、自然公園に与える影響は軽減できると考えられる。
		槽の建設 淡水の使用	【仮設の工作物の新築】 【土石の採取】 【河川等への影響】	・ 噴気試験が行われる試験井は一般的に高さ50m程度の槽が必要。生産井や還元井は一般的に高さ50m程度。小口径の構造試錘井や観測井の場合は一般的に高さ30m程度。(ただし作業効率や安全性確保の状況によって異なる) ・ 地下1,000~3,000m級の調査井を掘削。掘削時に淡水を使用 (貯水池の設置等にて対応)。	・ 槽の高さをより低く抑えることも可能であるが、コストがかかることや作業効率が低下することもあり、積極的な導入は難しい状況である。(口径が大きい場合、あるいは深くまで掘る場合には、大型の掘削リグが必要なため、高い槽が使用される)
	噴気試験の実施	—	・ 噴気試験により蒸気を大気開放。(噴気試験の際には、気水分離器で熱水と蒸気に分離し、サイレンサーを通して乾いた蒸気を大気へ放散させるとともに熱水は還元井にて地下へ還元)	・ 坑井の主井から直接熱水混じりの蒸気を噴出させる「直上噴気」によって、騒音、周辺植生域への熱水飛散、樹木の着氷被害などが発生していたが、近年では気水分離器およびサイレンサーの設置によって、これら影響は大幅に軽減された。	

(注) 自然環境保全審議会の意見が出された昭和54年時点で課題とされていた事項を基に、現在稼働している発電所について環境への影響軽減技術を比較

## ※坑井の区分について

- 調査井…地熱開発の調査段階において、地下の資源量評価を行うために掘削する坑井。構造試錘井と試験井に細区分される。
  - ・構造試錘井…地質サンプルの採取や地温勾配を把握するために掘削される小口径の坑井。通常は事後埋め戻される。
  - ・試験井…地質サンプルの採取等に加えて、噴気試験を行う坑井。一般的に大口径であり、事後、生産井等に転用される場合あり。
- 生産井…地下の貯留層から蒸気および熱水などのエネルギーを採取するための坑井。蒸気井とも言う。
- 還元井…利用後の熱水を地下に還元するための坑井。
- 観測井…地熱貯留層の状況、周辺の温泉や地下水位等を監視するための坑井。他の坑井から転用される場合あり。
- 補充井…本来の目的が達成されなくなった坑井に対して、代替として新たに掘削される坑井。

(参考:「第4回地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討会資料」の内容を一部修正)

地熱発電事業の行為内容と環境への影響軽減技術について (2/3)

		自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)
建設工事の段階	建設工事 (工事の実施) (造成工事) (施設建設工事) (緑化工事)	発電所全体としての施設群の出現	—	・大規模な施設が設置されることで、完成した際の存在自体が風致景観に影響を与える。	・建屋の色彩や構造に着目した景観配慮や造成法面等の植栽による修景など、風致景観への影響を軽減するための対策が実施されるようになった。しかし、影響を大きく縮減することは困難である。
		発電所本館 (タービン建屋) の建設	【建築物の新築】	・タービンや発電機などが収められる本館を建設。高さは概ね 20~25m 前後、面積は 1,500~2,000m <sup>2</sup> 程度。(小面積の上の岱で 800m <sup>2</sup> 。)	・発電所本館の高さを抑制することが可能な上向き排気式タービンが採用されるようになった。今後、軸流排気式のタービンが採用されることにより、さらに本館建屋の高さを抑制することが可能である。 ・施設全体の半地下化等の対策は可能である。しかし非常にコストがかかるため、現時点で導入されていない。また、造成工事が必要なため環境への影響が発生する。
		冷却塔の建設	【建築物の新築】	・温水を外気で冷やすための冷却塔を建設。高さ 15~20m 前後、面積は 500~1,500m <sup>2</sup> 程度。	・周辺樹木への着氷被害を防止するため、乾式熱交換器の採用によるミスト量の減少、排気スタッグを高くすることによる遠方拡散が導入された事例あり。
		復水器の建設	【工作物の新築】	・蒸気を凝縮し温水にするための復水器を建設。高さ 10m 前後。	—
		原水タンクの建設	【工作物の新築】	・定期点検時に必要な淡水をあらかじめ大量に蓄積しておくためのタンクを建設。高さ 10m 前後。	—
		気水分離器の建設	【工作物の新築】	・地下から上昇してきた高温蒸気を熱水と分離するために建設。高さ 10~15m 前後で、各生産基地ごとに設置。	—
		サイレンサーの建設	【工作物の新築】	・蒸気生産時に発生する騒音を軽減するために建設。高さ 10~15m 前後で、各生産基地ごとに設置。	—
		配管の建設	【工作物の新築】	・蒸気や熱水を集中するための配管を建設。(各発電所によって大きく異なるが、総延長は 2km~10km 程度、設置高さは 1~5m 程度)	・配管や送電線の地下埋設は可能であるが、コスト面等で困難であり、現時点で導入されていない。また、造成工事が必要なため環境への影響が発生する。(アイスランドでは熱交換した淡水を地下埋設した配管にて輸送している実績や、送電線を地下埋設している実績あり。)
		送電鉄塔の建設	【工作物の新築】	・送電鉄塔を建設。(地形条件によって異なるが 20~60m 程度。鉄塔の敷地は 1 基あたり面積 200m <sup>2</sup> 程度)	—
		変圧送電設備の建設	【工作物の新築】	・発電した電気を効率良く送電するための変圧送電設備を建設。高さ 5m 前後。	—
		調整池の建設	【工作物の新築】	・敷地内の排水を一気に放流しないための施設。	—
		道路の建設	【車道の新築】	・道路建設の延長は立地条件によって大きく異なる。山間部の澄川で新設約 110m および既設改良約 5,500m、平地部の山川では既設改良約 50m。(幅員約 3~5m)	—
		敷地の造成 樹林の伐採	【木竹の伐採】 【土地の形状変更】 【河川等への影響】 【工作物の新築】	・上記各施設等の建設のため広大な敷地を造成。(敷地全体として、6 万 5000kW 級の柳津西山：面積約 25ha、5 万 kW 級の澄川：約 19ha、3 万 kW 級の滝上や大霧等：約 9~42ha、1~2 万 kW 級の鬼首や大沼：約 3~14ha、3000kW 級の八丈島：約 1ha)。 ・樹林の伐採や造成工事、道路建設により周辺河川等の水位や流量に影響。 ・発電所建設時の樹林伐開に伴い、新しく林縁部となった範囲では風衝被害が発生する場合があります。敷地面積以上に植生変化が進行。(変更域での植生自然復元の事例あり。ただし生態系としての多様性復元の状況は不明)	・施設規模に応じて敷地面積が定まることから、自然景観面への配慮の観点で規模を縮小するという方法は採用されていない状況である。 ・発電所の各施設をコンパクト化することによって全体敷地面積を縮小することが可能であるが、現段階では大きく縮小することは困難である。
		植栽	—	・緩衝帯や工事跡地の緑化を実施。	・植栽においては、現地に生育する樹種の使用など、早期に在来種の導入が図られるように配慮している例もある。 ・今後、主要な展望箇所から施設自体を隠蔽するような植栽が可能か否か等の検討も必要と考える。
		坑井掘削工事	櫓の建設 淡水の使用	【仮設の工作物の新築】 【土石の採取】 【河川等への影響】	・生産井や還元井は一般的に高さ 50m 程度。小口径の構造試錘井や観測井の場合は一般的に高さ 30m 程度。 ・地下 1,000~3,000m 級の生産井、還元井を掘削。掘削時に淡水を使用(貯水池の設置等にて対応)。
噴気試験の実施	—		・噴気試験により蒸気を大気開放。	・上記「坑井調査」と同様。	
	生産井・還元井等の坑口設備の設置	【工作物の新築】	・生産井や還元井等の地表部に設置される坑口設備。高さ 5m 程度。還元井では地表部にほとんど設備がない事例あり。	・傾斜掘削技術の進展により、坑口を可能な限り集中して設置することで坑井基地数を最小化。	

(注) 自然環境保全審議会の意見が出された昭和 54 年時点で課題とされていた事項を基に、現在稼働している発電所について環境への影響軽減技術を比較

地熱発電事業の行為内容と環境への影響軽減技術について (3/3)

		自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)
操業の段階	発電	—	—	・水蒸気やそれに含まれる硫化水素等が、冷却塔（常時）や坑井基地（定期点検時等）から大気中へ開放される。気象条件によっては水蒸気が空高くまで上昇（特に冬季の気温低下時）。	・冷却塔の構造を乾湿併用式とすることで、水蒸気の白化を抑制することが可能である。一部発電所で採用済み。 ・硫化水素の排出量を軽減する脱硫装置を設置することが可能である。一部発電所で採用済み。
	補充井の掘削※ （造成地内）	槽の建設 淡水の使用	【仮設の工作物の新築】 【土石の採取】 【河川等への影響】	・槽の建設について、試験井や生産井、還元井は一般的に高さ 50m 程度。小口径の構造試錘井や観測井の場合は一般的に高さ 30m 程度。 ・地下 1,000～3,000m級の坑井を掘削。掘削時に淡水を使用（貯水池の設置等にて対応）。 ・事前に調査も必要である。	・既存の坑口を活用したサイドトラック工事の実績が増加している。ただし、その際に槽の建設は必要。 ・槽の高さをより低く抑えることも可能であるが、コストがかかることや作業効率が低下することもあり、積極的な導入は難しい状況である。 （口径が大きい場合、あるいは深くまで掘る場合には、大型の掘削リグが必要なため、高い槽が使用される）
		噴気試験の実施	—	・噴気試験により蒸気を大気開放。	・上記「坑井調査」と同様。
	補充井の掘削※ （造成地外）	敷地の造成 道路の建設 槽の建設 淡水の使用	【木竹の伐採】 【土地の形状変更】 【車道の新築】 【仮設の工作物の新築】 【土石の採取】 【河川等への影響】	・槽の建設について、試験井や生産井、還元井は一般的に高さ 50m 程度。小口径の構造試錘井や観測井の場合は一般的に高さ 30m 程度。 ・地下 1,000～3,000m級の坑井を掘削。掘削時に淡水を使用（貯水池の設置等にて対応）。 ・面積 2,500m <sup>2</sup> 程度（基地 1 箇所あたり）あるいはそれ以上の面積の敷地を複数箇所に造成。 ・アクセス道路や配管を建設。 ・事前に調査も必要である。	・槽の高さをより低く抑えることも可能であるが、コストがかかることや作業効率が低下することもあり、積極的な導入は難しい状況である。 （口径が大きい場合、あるいは深くまで掘る場合には、大型の掘削リグが必要なため、高い槽が使用される）
噴気試験の実施		—	・噴気試験により蒸気を大気開放。	・上記「坑井調査」と同様。	
その他 （技術に関する事項）	坑井掘削技術 （傾斜掘削）	—	【土石の採取】	・坑井を斜めに掘り進める掘削技術。（行為の内容は、上記「坑井調査」や「補充井の掘削」と同様。） ・垂直掘削に比べて次のメリットあり。 ○坑井基地の箇所数と面積を最小限化 ○これによって配管の延長を最小限化 ○以上により環境への影響を軽減	・MWD（Measurement While Drilling）という技術が普及し、目標に沿った坑跡の制御が可能となり、効率と精度が大幅に向上した。 ・我が国の地熱井掘削では、垂直深度 1 に対して偏距 0.6 程度までの傾斜掘削の実績あり。（最大偏距の事例として 1,400m の実績がある） ・ニュージーランドでは技術の進展により多くの坑井を比較的大偏距での傾斜掘削として実施している事例あり。 ・一般的に石油井掘削と比べて地層条件が異なり、深度や偏距と比例してコストが増大するため、現時点では大偏距掘削は実施されていない。
	減衰対策技術	—	【土石の採取】	・熱水が短期間で生産井に戻らないように、生産井と還元井の先端を可能な限り離隔するように掘削。 ・硫酸等を還元井に注入して pH を調整し、シリカスケール付着を抑制。 ・スケールインヒビターを生産井に注入して、スケール付着を抑制。 ・高温にて還元することによりスケール付着を抑制。 ・坑井内のスケールを直接的に削り、スケールを除去。槽の建設が必要。	・既存の坑口を用いたサイドトラック工事の実施。（槽の建設が必要） ・スケール付着除去用の新技術として、状況に応じて、コイルドチュービング（高さ 10m 程度）やコンパクトリグ（槽の高さ 20m 程度）が使用される場合がある。

(注) 自然環境保全審議会の意見が出された昭和 54 年時点で課題とされていた事項を基に、現在稼働している発電所について環境への影響軽減技術を比較

※補充井の掘削について  
開発当初の坑井数は地下の地熱資源量に応じた経済性の観点から決定されるが、操業段階で安定的な出力が得られない場合が多く、設備容量を維持するために新たに坑井が掘削される。このため、地熱開発においては、初期の操業段階から継続した掘削等が必要となる。