

## 国立・国定公園内における地熱開発に係る通知見直しに向けた 基本的考え方

### 1. はじめに

我が国の地球温暖化対策の観点から、再生可能エネルギーは温室効果ガスの排出の少ないエネルギー源として以前から注目されていたが、昨年の東日本大震災以降、エネルギーの安定供給やエネルギーシステムの歪み・脆弱性を是正の観点からも、再生可能エネルギーを大幅導入する必要性が一層高まっている。

また、行政刷新会議の規制・制度改革に関する分科会においては、再生可能エネルギー導入の観点からの規制・制度のあり方が議論され、風力発電及び地熱発電について、自然公園法、温泉法等の許可の早期化・柔軟化が議論され、閣議決定がなされた（平成 22 年 6 月 18 日）。この中で地熱発電については、「地熱発電に係る過去の通知を見直し、傾斜掘削について、個別に判断する際の考え方を明確にするとともに、国立・国定公園の地表部に影響のない方法による事業計画であれば許可できる旨新たに通知するための調査・検討に着手する。＜平成 23 年度検討・結論、結論を得次第措置＞」とされ、また「開発可能地域のゾーニングについて検討を行い、結論を得る。＜平成 22 年度中検討開始、結論を得次第措置＞」とされた。

さらに、第 4 回エネルギー・環境会議（平成 23 年 11 月 1 日、内閣官房国家戦略室）にて「エネルギー規制・制度改革アクションプラン」が公表され、傾斜掘削による自然公園の地下開発であれば許可可能である旨通知すること、自然公園の区分や開発段階ごとに、許可が可能となる要件や方法を検討し、明確化すること、具体的な案件を対象に関係者の合意形成・連携促進のための優良事例の形成を図ることとされている。

しかしながら、地熱発電所は、昭和 41 年 10 月に松川地熱発電所が運転開始して以降、自家用を含めて国内 18 箇所において発電事業が実施されてきたが、平成 11 年 3 月に運転開始した八丈島地熱発電所を最後に事業用大型発電所の新規立地はなく、自然環境への影響や最新の知見に関する十分な整理がなされていないのが現状である。

このため、環境省では、上述の閣議決定にて求められた事項のうち、平成 23 年度に検討するとされたことについて、平成 23 年 6 月より関係分野の専門家からなる検討会（地熱発電事業に係る自然環境影響検討会）を設置した。本検討会では、既存の地熱発電所の運転状況や周辺自然環境の現状、国内外の最新技術の知見等を調査することによって、地熱発電事業に伴う自然環境への影響や国立・国定公園の風致景観上の支障について課題を整理したほか、自然環境保全審議会から地熱発電事業に対する意見が出された昭和 54 年当時と比べて、どの程度の環境保全技術の進展が図られているのかという観点から検証を行うことで、地熱発電事業に関する自然公園法の過去の通知見直しに向けた基本的な考え方の整理を行ったものであり、次の「2.」から「7.」に示した。

### 2. 国立・国定公園内での地熱発電事業に対する過去の通知と背景

国立・国定公園とは、自然公園法によって優れた自然の風景地を保護するとともに、利用の増進を図ることにより、国民の保健、休養及び教化に資するとともに、生物の多様性の確保に寄与することを目的として設置されるものであり、その区域内では自然景観を維

持するために一定の行為が制限される。地熱発電事業については、自然公園法による許可に関して、これまでに昭和 49 年及び平成 6 年に通知、昭和 54 年には自然環境保全審議会の意見が出されている。

昭和 49 年通知（自然公園地域内において工業技術院が行う「全国地熱基礎調査等」について；昭和 49 年 9 月 17 日環自企第 469 号環境庁自然保護局企画調整課長通知）は、それまでに操業あるいは建設工事に着手・準備されていた 6 箇所を除き、当分の間、国立・国定公園の景観及び風致維持上支障があると認められる地域においては新規の調査工事及び開発を推進しないものとする事とされた。この背景には、当時操業を開始した地熱発電所が、①発電所施設が山間部においては広大であり自然景観を著しく損傷していること、②出力の維持には補充井の掘削が必須となる場合が多く、操業後も自然改変面積が拡張する可能性があること、③地下から汲み上げる熱水には砒素等が含まれており、これが地上部で排出される事故が発生した場合、水質に著しい影響を及ぼすこと、④大気中に放出される蒸気中に硫化水素が含まれ、周辺の土壌酸性化や植生に悪影響を与えるおそれがあること、⑤冷却塔からの水蒸気により周辺植生に着氷被害のおそれがあること、⑥生産井の騒音が自然公園の静穏を害している可能性のあること、⑦温排水や微小地震等が生じるおそれがあること、⑧蒸気等の汲み上げによる地獄現象等の衰退のおそれがあること、といった様々な影響を及ぼすことが懸念されていたためである。特に当時の噴気試験は、「直上噴気」という手法にて周辺環境に対し何ら措置を講じることなく蒸気が大気中に放出されていたため、周辺のブナ林などが大面積で枯死するなど大きな問題となっていたこともその背景の一つである。一方、地熱発電の開発のために工業技術院等が実施する「全国地熱基礎調査」については、一定の条件を示し箇所を特定して調査を認めることとされた。

昭和 54 年には自然環境保全審議会から環境庁長官への意見（「国立、国定公園内における地熱開発に関する意見」について；昭和 54 年 12 月 24 日環自保第 494 号環境庁自然保護局保護管理課長通知）が出されたが、その内容は、「地熱開発は、国産エネルギーとして期待が高まりつつあるものの、地熱発電所の建設は、各種の巨大工作物の設置等による優れた自然の風致景観への影響が大きい」と指摘した上で、「国立・国定公園内の自然環境保全上重要な地域を避けることを基本とすべき」との意見である。

平成 6 年通知（「国立・国定公園内における地熱発電について；平成 6 年 2 月 3 日環自計第 24 号・環自国第 81 号環境庁自然保護局計画・国立公園課長通知）は、国立・国定公園の普通地域における地熱発電については、開発を目的とした調査井掘削を含めて個別に検討し、その都度開発の可否の判断を行うものとした。これを受けて、平成 8 年 3 月に霧島屋久国立公園の普通地域において大霧発電所が、また、平成 11 年 3 月には富士箱根伊豆国立公園内の普通地域において八丈島発電所が運転を開始した。

### 3. 我が国の地熱発電の現状

現在操業されている地熱発電所は、事業用 13 箇所、自家用 4 箇所である。事業用のうち最大の認可出力を有するのは八丁原発電所（大分県九重町）の 11 万 2,000kW、最小は八丈島発電所（東京都八丈町）の 3,300kWであり、自家用も含めた全国の地熱発電所の認可出力合計は約 54 万 kWである。

一方、産業技術総合研究所の報告（2008 年）により、我が国の 150℃以上の地熱資源の

賦存量は 2,347 万 kW、このうち約 82%の 1,922 万 kWが自然公園特別地域及び特別保護地区に賦存されるとされているとおり、国立・国定公園内の地下に賦存する地熱資源の有効活用への期待が高まっている。

なお、環境省が平成 21・22 年度に実施した「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」によれば、我が国の地熱資源賦存量は 2,357 万 kW（150℃以上のもの）であり、その導入ポテンシャルとしては、国立・国定公園等の規制対象区域外では 220 万 kWと推定されており、傾斜掘削により公園等の外縁部から公園内へ 1.5km の範囲を開発可能とした場合は 636 万 kWと推定されている。

#### 4. 地熱発電事業の特性

地熱発電は、地下 1,000～3,000m程度の深度に掘削した坑井から水蒸気を取り出しタービンへ導き、その回転運動を利用して発電するものである。ライフサイクルでの二酸化炭素排出量が少なく、純国産の自然エネルギーであり、操業開始後は昼夜や気象条件を問わず一定の出力にて発電できることから、設備利用率が他の再生可能エネルギーと比べて格段に高く、ベースロード電源としての位置づけが可能である。

立地特性としては、地熱開発の有望地域が山岳地帯に多く、景観の保護上重要な国立・国定公園の区域と重なっていることがあげられる。これは、地下深くに浸透した雨水がマグマによって暖められた岩石に接することで熱水溜まりとなったもの（地熱貯留層）を発電に利用するため、火山活動のある地域に地熱資源が偏在しているためであり、またこのような地域は、我が国を代表する優れた自然の風景地として、戦前・戦後より国民が自然と親しむレクリエーションの場として、近年では生物多様性保全の屋台骨として、国立・国定公園に指定されているためである。

地熱発電事業の開発特性としては、自然環境への影響が建設工事の段階のみならず、事前の試験井掘削や噴気試験が行われる資源調査の段階から発生すること、運転開始後の操業段階においても出力の維持又は回復のために追加の補充井の掘削が行われることが多いことがあげられる。事業として安定して出力を維持していくためには、10～20 年の時間と当初計画以上の改変面積が必要となる場合があり、自然環境への影響を事前に評価することが困難な特性を有している。

#### 5. 地熱発電事業における開発行為と環境保全技術の進展

地熱発電事業では、一連の事業進捗の中で、資源調査の段階、建設工事の段階（工事の実施）、操業の段階（土地又は工作物の存在及び供用）に大きく区分され、それぞれの段階にて自然環境への影響が発生する。このような開発特性を踏まえ、事業用としての大規模地熱発電所を対象として、3 つの段階ごとに開発行為の内容と、近年の環境保全技術の進展を踏まえた環境への影響について整理した。

##### ①資源調査の段階

###### （1）地表調査

既存文献やリモートセンシングによる広域的な分析検討を経て、一定の範囲内での地熱活動の推定を目的として実施される調査である。現地にて流体、岩石、土壌等の

サンプル採取や測定器設置による物理探査が行われる。

調査仕様や規模によっては自然環境への影響が大きくなる場合もあるが、近年は、通常実施される調査方法では機器の小型化が進んでおり、原状復旧もなされるため、風致景観等への影響は小さくなっている。例えば物理探査手法のうち、MT法電磁探査については、装置の小型化が進み人力による運搬が可能になったほか、測定に必要とする敷地面積も大幅に縮小された。

## (2) 坑井調査

地熱開発が有望と推定された地点において、実際に坑井を掘削し地熱資源量を評価することを目的とした調査である。地質サンプルの採取・分析のための構造試錐井や、噴気試験を伴う試験井の掘削が行われる。

これらの調査では、坑井の口径（約 10～20cm 径）や深さ（1,000～3,000m程度）など規模や仕様、地質条件によって異なるものの、ボーリングを地下に貫入させるために高さ 50m程度の櫓が建てられるほか、その作業ヤードとして 1 基地あたり 2,500m<sup>2</sup>程度の平坦地形の造成が行われる。また、現地までのアプローチ道路の造成や、掘削に必要な淡水を確保するために貯水池が整備されることも多い。

これらの調査・開発行為によって、風致景観や生物多様性への影響が発生する。近年では櫓の高さが低い施工機器が開発されてきているほか、噴気試験時には気水分離器やサイレンサーを設置することで周囲への熱水飛散の防止や騒音の軽減が図られたことで、過去の発電所建設時に問題となった周辺樹木の枯死など周辺植生への大きな影響については概ね解決された。

なお、概ね半年間程度の調査終了後は、調査機器や櫓などは撤去される。坑井は埋め戻しにより復旧がなされる場合もあるが、将来の開発に進むと判断された場合、敷地や道路、改変を受けた植生に対して原状復旧はせず、坑口装置も残置されることがある。

## ②建設工事の段階

### (1) 施設建設工事

地熱発電所では、発電所本館建屋（タービン建屋）や復水器、冷却塔、原水タンクなど高さ 10～25m前後の施設が一定の範囲内に建設され、そこから四方に向け一定の離隔距離をもって坑井基地（蒸気井、気水分離器等）が複数分散配置されるのが一般的である。これらの施設と坑井基地は配管（パイプライン）によって連結され、配管に沿って管理用の道路が建設されることが多い。そのほか、修景や外部環境との緩衝を目的とした植栽帯や調整池などが整備される。

これらを全てあわせると、発電所の総体として平面的な広がりが必要となり、平均的に 10～30ha 前後の敷地が樹林等の伐開を伴って造成されることとなる。また、送電設備として基幹線までの一定距離ごとに高さ 20～60m程度の送電鉄塔が建設される。

このため、特に景観構成要素のほとんどが樹林や草地、水域、あるいは火山や地獄現象などで占められる国立・国定公園内では、これらの各施設が出現することによる風致景観への著しい影響が発生することは避けられず、直接改変、工事に伴う騒音や

粉じん、工事車両の出入りなど、建設工事に伴う生物多様性への影響も小さいものではない。

これまでに運転開始された地熱発電所では、建屋の色彩・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、風致景観への影響軽減措置が実施されているほか、本館建屋については新たなタービン形式の開発による高さの抑制や、冷却塔では多セル化による高さの抑制といった対策が既に講じられた発電所もあり、風致景観等への影響を軽減するための環境保全技術に進展が認められる。

## (2) 坑井掘削工事

坑井掘削工事に伴う風致景観等への影響は前述の「坑井調査」に加え、発電所建設時には、複数の坑井基地が整備され、それぞれに複数の坑井が掘削される場合が多い。また、掘削時にはボーリング櫓の建設、貯水池の整備などが行われる。

坑井の掘削工事では、近年に顕著な技術の進展が図られている。我が国で地熱開発が開始された初期の年代では、コントロール掘削技術の限界により計画に沿った傾斜掘削が困難な場合があったが、技術の進展によって、地下の複数の地熱貯留層に向けて計画に沿った傾斜掘削を実施することが可能になっている。特にMWD (Measurement While Drilling) という技術によって、目標に沿った坑跡の制御が可能となったため、目標の地熱貯留層に到達させる精度と効率が大幅に向上するとともに、坑跡制御の問題により発生する再掘削の頻度も著しく低下した。我が国ではこれまでに、掘削深度（掘削距離）約 3,000m に対して最大偏距（水平距離）約 1,400m の実績を有している。

傾斜掘削では、地表部の複数の坑口を特定の範囲内に集め、坑井基地を集約することができるため、坑井基地数の造成面積の縮減につなげることが可能である。さらには、基地数が縮減されることで発電所施設の最も外側を結ぶ範囲（発電所の広がり）を縮小することが可能となるほか、配管の総延長や道路延長の縮減につなげることで全体としての造成面積の縮減が可能である。

このような近年進展した坑井掘削技術によって、地表部に重要な景観や植生が分布している地域であっても、そこから遠方に坑口を立地させ影響を大幅に低減することで地下の有望な地熱資源を利用することが可能となってきている。

## ③操業の段階

地熱発電所では、発電時に蒸気を冷やす過程で冷却塔から水蒸気が大気中に放出されるほか、坑井基地においても圧力調整のため蒸気が放出されることがあるため、自然景観への影響や周辺樹木への着氷、蒸気に含まれる硫化水素などの影響が発生するが、近年では、冷却塔での乾式熱交換器の採用によるミスト量の減少や水蒸気の白化の抑制、排気スタックを高くすることによる遠方拡散、脱硫装置の設置など、様々な環境配慮によって影響軽減が図られてきている。また、生産井の騒音についてはサイレンサーにより影響軽減が図られ、冷却塔の水流落下音については周囲へのパネルの設置により影響軽減が図られているほか、温排水が発生する場合には調整池を経て大気温にまで低下させた後に近隣水域に排出されている。さらに、過去に懸念された蒸気の汲み上げに伴う地震の誘発や地獄現象

の衰退に関しては、我が国で初めて地熱発電所が運転開始されてから約 45 年となるが、科学的に因果関係が証明された事例はない。

しかしながら、多くの既存の地熱発電所では目標とする出力の維持又は回復のために追加の補充井の掘削が必要となっており、既存の坑口を再利用するサイドトラック工事のような技術開発はみられるものの、操業段階においても一定規模の建設工事（スケール除去作業、補充井の掘削）や坑井基地の新規造成が継続的に実施されていることが通例であり、風致景観等への影響が継続あるいは増大している場合が多い。また、生産井から汲み上げられた熱水は、還元井により全量が地下に戻されるため、地表部の水域へ熱水中に含まれる砒素等が排出されることはないが、還元熱水の地中内部での詳細な動向や、スケール付着防止を目的として還元熱水に混入される場合のある硫酸の影響など、地下の環境に与える影響は必ずしも詳細に解明されていない。ただし、現在までのモニタリングにおいては影響は認められていない。

## 6. 地熱発電事業の安全性

地熱発電は地下深くに貯留されている蒸気を人工的に汲み上げて利用するものである。そのため、高温高压の蒸気や熱水への安全管理及び含有される様々な有毒成分への対策が最大限になされているほか、大規模な地震発生に対する安全性の確保についても十分な準備が行われている。

しかし、これまでに我が国では、発電所構内における蒸気漏れなどの小規模な事故のほか、平成 13 年には地熱開発促進調査（霧島市内）において有毒ガス発生による作業員の中毒事故、平成 22 年には鬼首地熱発電所（栗駒国定公園内）の敷地内での噴気事故による死傷者の発生といった例がある。

地熱発電所では、このような事故を教訓として、さらなる安全性が追求されている。

## 7. 国立・国定公園内における地熱発電事業の基本的考え方

以上をまとめると、事業用としての大規模地熱発電所については、国立・国定公園の風致景観や生物多様性に対する影響を軽減するための技術に改善や進展が図られており、その実績も蓄積されてきている。特に資源調査（地表調査や坑井調査）では、機器の小型化、新技術の適用、原状復旧などの配慮によって風致景観等への影響を小さくすることが可能となった。

しかしながら、次に示す 4 点については現状での技術においても、自然環境保全審議会の意見が出された昭和 54 年当時と比べて大きく改善されておらず不十分との意見があり、現時点でも風致景観等への影響が大きい場合がある。

- 発電所の建設については、本館（タービン建屋）、冷却塔、気水分離器、送電鉄塔、道路等の各種工作物が必要であり、大規模な造成を伴うほか、個々にまたは施設群としての存在によって風致景観や生物多様性に与える影響が大きいこと。
- 操業段階においても、蒸気の減衰等から継続的な坑井の再掘削が必要となり、その都度、工事に伴う仮工作物の設置、騒音の発生、工事車両の出入等が生じるほか、新たな敷地の造成等も必要となること。
- 汲み上げられた蒸気から分離された熱水は地中に還元されるが、還元熱水の地中内

部での詳細な動向や、スケール付着防止を目的として還元熱水に混入される場合のある硫酸の影響など、地下の環境に与える影響は詳細に解明されていないこと（モニタリングにおいて影響は認められていない）。

- 過去の事故の例として、資源調査段階での有毒ガスによる作業員の中毒や、鬼首地熱発電所の敷地内での噴気事故などがあり、事故の発生による周辺地域住民や公園利用者等への影響が懸念されること（事業者によりさらなる安全性が追求されている）。

これらのことから、今後とも地熱発電事業の立地は、特別地域など国立・国定公園の自然環境保全上重要な地域及び公園利用者に影響の大きな地域は原則として避けるべきであると判断される。少なくとも特別保護地区及び第1種特別地域においては、地熱発電事業の実施に伴う影響は大きいと考えられるため、必ず避ける必要がある。

一方、普通地域については、風景の保護上の支障の有無等について個別に検討し、その都度開発の可否の判断を行うことが適切であると考えられる。

また、坑口を普通地域もしくは公園外の地表部に置き、傾斜掘削によって第2種及び第3種特別地域内の地下深くの地熱資源を利用する場合には、自然環境保全や公園利用への特段の支障がなく、特別地域の地表部へ影響を及ぼさないと考えられる場合においては許容されるものと判断される。

以上の見解を踏まえ、国立・国定公園内での地熱発電事業の取り扱いに関して、以前の通知は廃止し、新たな通知を明示することが必要である。

なお、国立・国定公園における地熱発電事業の実施については、地域にとっても重要な再生可能エネルギーの活用につながり、地域住民の暮らしに深く関与することから、温泉関係者をはじめとする地域の関係者による合意形成が図られ、かつ当該合意に基づく地熱開発計画が策定されることを前提とすべきである。

## 〈今後の課題についての意見〉

本検討会では、規制・制度改革に関する閣議決定（平成22年6月18日）を踏まえて、「基本的な考え方」を取りまとめた。

自然公園の設置目的と両立するような地熱開発の促進に向けて、さらなる積極性をもって取り組んでいくための方向性についても追加的検討を行った。

委員の総意による一定の見解を得るまでには至らなかったが、さらに取り組むべき「今後の課題」について、環境省の通知見直しに向けて参考とすべき追加的情報として、本検討会で出された各委員からの意見を整理し、以下に取りまとめた。

### (1) 委員意見が一致した課題

- 地熱開発の行為が小規模で風致景観等への影響が小さなものや既存の温泉水を用いるバイナリー発電などで、主として当該地域の地産地消のために計画されるもの、当該地域の国立・国定公園の利用の促進や公園事業の執行に資するものなどの取扱い（委員意見）

- ・小規模で地産地消を推進するようなものについては、自然公園の設置目的と両立し得る可能性が高く、環境省としても国立・国定公園内において積極的な取り組みを進めるべきである。

## (2) 委員意見が一致しなかった課題

### ○ 地表部に特段の影響を及ぼさない調査（MT法による電磁探査等）の取扱い （委員意見）

- ・地表部の調査に関しては、原状復元が可能であることが実施の条件となる。
- ・機器の小型化が進展した物理探査手法（MT法による電磁探査等）は地表部に特段の影響はなく、原状復元は可能であると考えられる。このような調査手法については、現在許容されている調査の実績や過去の全国地熱基礎調査の物理探査の実績などを踏まえて、地上部に工作物を設置しないことを条件として、特別保護地区及び第1種特別地域内での実施も許容すべきである。
- ・特別保護地区及び第1種特別地域内は国立・国定公園の核心部であり、しかも極めて脆弱な自然環境を有している場所であることから、厳正に保護すべきであり、地表部への影響可能性が小さい地表調査であっても避けるべきである。

### ○ 傾斜掘削による特別保護地区及び第1種特別地域の地下深部の地熱資源利用の取扱い

#### （委員意見）

- ・自然公園の地種区分が異なるからといって、地上と地下のつながりにおいて地質構造的な相違があるわけではない。地熱発電量の将来目標量を達成し、安定した発電を継続するためには、より広い地熱資源の利用が必要となることから、地上部に工作物を設置しないことを条件として、外部からの傾斜掘削による特別保護地区及び第1種特別地域の地下深部の地熱資源の利用を許容すべきである。
- ・特別保護地区及び第1種特別地域内は国立・国定公園の核心部であり、極めて厳格な規制・管理を行ってきており、現状の規制・管理は今後とも維持すべきであることから、地下資源の利用もすべきではない。
- ・特別保護地区及び第1種特別地域内の地下深部の地熱資源の利用の是非に関しては、第2種及び第3種での地熱資源利用の実績を積んだ後に検討すべきである。

### ○ 第2種及び第3種特別地域内の風致景観や自然環境の保全と再生可能エネルギーの利用を高いレベルで調和させるための実証としての、優良事例の形成に向けた取組の可能性やあり方

- ・地熱開発事業者と、地方自治体、地域住民、自然保護団体、温泉事業者などの関係者との地域における合意形成の方法
- ・自然環境、景観及び公園利用への影響を最小限にとどめるため、投入すべき技術や手法の可能性
- ・地熱開発の実施に際しての、周辺の荒廃地の緑化や廃屋の撤去等のオフセットやミティゲーション、温泉事業者への熱水供給など、地域への貢献の可能性



- ・以上を前提とした場合の特別地域における掘削や工作物の設置の可能性
- ・以上を進める場合のモニタリングデータや知見の蓄積その他環境省としての関与のあり方や、総合的な視点からの検討に必要とされる専門家の分野

(委員意見)

- ・優良事例を形成していくためにも、第2種及び第3種特別地域内での掘削や工作物の設置の可能性について検討の余地を残しておく必要がある。
- ・一律に第2種及び第3種特別地域内での掘削や工作物の設置を避けるべきとするのではなく、地域による違いも考慮して、具体的に地熱開発を計画している事業者が相談に行けるような状況をつくる必要がある。
- ・優良事例の形成に向けた取組については、現時点でも個別判断で認められる普通地域において、第2種及び第3種特別地域でも許容可能であることを実証するような影響低減技術の導入を推進すべきである。
- ・国立・国定公園内の地熱開発において解決しなければならない環境保全上の問題は明確であることから、それに対する技術を磨くための取組を優先して実施すべきである。
- ・規制対象区域の外縁部から傾斜掘削による1.5kmの範囲を開発可能とした場合の636万kWの導入ポテンシャルの推定値は、現実的な根拠や仮定に基づくものではなく過大な値である。
- ・第2種及び第3種特別地域での傾斜掘削による開発だけでは限定的な規模でしか開発をできないので、地熱発電を伸ばすには、第2種及び第3種特別地域の中での掘削や発電所建設を許容すべきである。
- ・地熱発電所の建設には非常に長いリードタイムが必要であることから、優良事例の形成に長い時間をかけることは、再生可能エネルギーの導入促進に対する社会的要請に応えられなくなると危惧される。
- ・本検討会では、現状技術を現時点の規制に照らし合わせて議論しているが、今後は規制側と推進側がどこまで歩み寄れるのかということについて、双方が情報を提示しながら、技術開発の可能性を含む検討を進めるべきである。
- ・優良事例の形成に向けた取組においても、地熱開発事業者と、地方自治体、地域住民、自然保護団体、温泉事業者などの関係者との地域における合意形成を十分に図る必要がある。
- ・優良事例の形成においては、可能な場合には、開発地域内における荒廃地の緑化や在来植生の復元、廃屋の撤去等のオフセットやミティゲーションの実施による自然環境や景観の修復・再生等、モデルケースに相応しい取組がなされることを期待する。
- ・小規模なものでも事前のアセスメントと事後のモニタリングを実施し、地域住民や一般市民に公表していくことが重要である。
- ・長い時間を要するモニタリングデータの蓄積や植生復元等に関しては、専門家や環境省の関与が必要である。
- ・優良事例の形成は、造園や植生、景観やデザイン等の専門家の助言を得ながら適切に行われることが望ましい。

添付資料

別紙 1 地熱発電事業に係る自然環境影響検討会委員名簿

別紙 2 地熱発電事業における環境保全上の残る課題

## 地熱発電事業に係る自然環境影響検討会委員名簿

氏名	所属機関・団体及び役職
(座長) 熊谷洋一	東京農業大学地域環境科学部造園科学科 ランドスケープデザイン研究室教授
有木和春	三菱マテリアル株式会社 資源・リサイクル事業本部 エネルギー事業部 地熱・電力部 副部長
鹿野久男	財団法人国立公園協会
清水英幸	独立行政法人国立環境研究所 地域環境研究センター主席研究員、企画部主席研究企画主幹
中田晴弥	地熱技術開発株式会社 代表取締役社長
福嶋 司	東京農工大学大学院 自然環境保全学部門植生管理学研究室教授
山田茂登	富士電機株式会社 エネルギー事業本部 発電プラント事業部 火力・地熱統括部 プラント技術部 担当部長 (地熱発電担当)

(敬称略・五十音順)

## 地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題 (1/6)

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に係る主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題
資源調査の段階	地表調査	流体、岩石等の採取	【土石の採取】 ・流体、土壌、岩石等のサンプル採取を踏査により実施。 ・期間は数日程度。	・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。	・風致景観等への影響は小さい。	—
		測定器の設置	【仮設の工作物の新築】 【土地の形状変更】 ・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、重力探査では土地の形状変更は行わない。MT法電磁探査では深さ 30cm 程度の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行為の内容が異なる。 ・期間は数日程度。	・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やヘリコプターが使用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。	・重力探査やMT法電磁探査では風致景観等への影響は小さい。  ・その他の手法 (CSMT法電磁探査や反射法地震探査等) では、人工信号源機器やその方法、調査規模や仕様によっては風致景観等への影響が大きくなる場合がある。	・原状復旧による風致景観等への影響抑制の効果を検証することが必要である。  ・風致景観や生物多様性への影響、公園利用に対する支障が発生する可能性があるため、適切な仕様の検討とさらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。
	坑井調査	敷地の造成 道路の造成	【工作物の新築】 【車道の新築】 【木竹の伐採】 【河川等への影響】 【土地の形状変更】 ・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。 ・期間は 2~3 ヶ月程度。	・造成時に土砂流出防止の対策を講じるなど影響を軽減することが可能である。	・樹林の伐採や地形の改変を伴う造成が行われるため、風致景観等への影響が発生する。 ・開発規模や施工方法によっては影響が大きくなる場合がある。	・一定の広さの敷地や道路の造成を伴うこと、仮工作物ではあるが高さ 30~50m 程度の櫓や関連設備が建設されること、またその調査期間が半年間程度に及ぶことから、風致景観や生物多様性への影響、公園利用に対する支障が発生する可能性があるため、さらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。
		櫓の建設 掘削作業 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 程度の櫓が必要。小口径の構造試験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)。 ・期間は 1 本あたり 4~6 ヶ月程度。  ※坑井名称の区分については欄外参照	・櫓の高さを低くするための技術が進展している。 (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のため、高い櫓が使用される)。 ・鳥類の衝突防止のためのネット被覆や景観対策としての着色などの事例あり。  ・事後に埋め戻しが行われ、原状復旧がなされる場合あり。  ・掘削排水は還元井へ流下され、地表部には排出されない。	・高さ 30~50m 前後の櫓が設置されるため、風致景観への影響が大きい場合がある。 ・櫓の高さはそれぞれの地点での仕様等により異なるが、周辺の地形条件によっては低い櫓であっても影響が大きくなる場合があるほか、地質条件によっては掘削に長期間を要する。 ・通常は半年間程度であり、終了後は設備は撤去される。 ・原状復旧のために埋め戻しが行われる場合には、風致景観等への影響は小さい。 ・掘削排水は還元井にて地下へ流下させるため、地表部の河川等への影響はない。	
		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、必要に応じて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) ・短期試験では数日、長期試験では 1~6 ヶ月程度。	・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。	・風致景観等への影響は小さいが、周辺の地形条件によっては影響が大きくなる場合がある。

(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

地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題 (2/6)

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に關係する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題
建設工事の段階	施設建設工事(造成) (施設の建設) (緑化)	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。現在の最新の技術(軸流排気式のタービン)では、高さをさらに低くすることが可能となってきている。 ・施設全体の半地下化は可能である。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。	・景観配慮や修景等の対策が講じられるが、大規模な構造物であることによりはなくなり、風致景観等への影響は大きい場合がある。 ・半地下化は、風致景観への影響は小さくなるものの、造成工事に伴う地形変化が実施されるため、水理条件によっては浅層地下水などに対する影響は大きい場合がある。 ・周辺の地形条件によっては、半地下化されても風致景観への影響が大きい場合がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・景観配慮、修景等の対策を講じて、以下の観点から、施設個々にまたは施設群としての存在によって、風致景観や生物多様性への影響、公園利用に対する支障が発生する可能性があるため、さらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。</li> <li>○発電所の敷地として大規模な樹林伐採や造成を伴うこと。</li> <li>○タービン建屋や冷却塔、原水タンク、気水分離器など各施設は現状技術においてもなお大型の工作物であること。</li> <li>○タービン建屋の周囲に一定の離隔距離をもって複数の坑井基地が配置され、それらが配管や管理道路で結ばれること。</li> <li>○一定の間隔で送電鉄塔が建設されること。</li> </ul>
		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。	—	(発電所本館に設置されるため、風致景観等への影響は、発電所本館と一体的に発生)	
		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。 ・多セル化(計 12)が実施された上の岱地熱発電所では、高さを 10mに抑制。面積も他の発電所(同程度の出力)と比べて小さく 642m <sup>2</sup> 。	・多セル化により冷却塔の高さを 10mに抑制した事例あり。(同程度の出力の発電所に比べて高さはほぼ半分)	・多セル化は冷却塔の高さを低く抑え、且つ敷地面積も著しく増加するものではないため、風致景観への影響は軽減されている。 ・周辺の地形条件によっては、風致景観への影響が大きい場合がある。	
		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。なお、原水タンクは、用水確保が困難な地点で必要に応じて建設される。	—	・大規模な構造物であり、周辺の地形条件によっては、風致景観等への影響は大きい場合がある。	
		脱硫装置の建設	【工作物の新築】 ・冷却塔から排出される硫化水素を除去するための施設が設置される場合がある。八丈島の事例では装置は直径 1.4m×長さ 8mで、その他、倉庫等が必要。	・脱硫装置の設置によって、硫化水素を 99.99%除去することが可能となった。	・硫化水素の大気開放量については、技術的にほぼ 100%近く除去することが可能である。	
		坑口設備(蒸気井等)等の設置	【工作物の新築】 ・蒸気井(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、坑口を集約して設置することが可能となり、坑井基地数を最小化。	・坑井基地の施設全体として、風致景観等への影響が発生する場合がある。 ・開発規模や地形条件、蒸気の開放頻度によっては、特に風致景観に対して著しい影響が発生する場合がある。	
		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】 ・蒸気や熱水を輸送する配管(パイプライン)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。 (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。)	・配管や送電鉄塔の設置に伴う風致景観等への影響は大きい。配管については修景等の対策が可能である。 ・地下埋設は、風致景観への影響は小さくなるものの、造成工事に伴う地形変化が実施されるため、水理条件によっては、浅層地下水などに対する影響は大きい。	
		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)			

(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

地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題 (3/6)

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関係する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題
建設工事の段階	施設建設工事 (造成) (施設の建設) (緑化)	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。	—	・風致景観等への影響は小さい。	(前ページ参照)
		調整池の建設	【工作物の新築】 ・敷地内の排水を徐々に放流するための施設。	—	・周辺河川等への影響を軽減するための施設であるが、造成工事に伴う地形変化が実施されるため、水理条件によっては浅層地下水などに対する影響は大きい場合がある。	
		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)	・造成時に土砂流出防止の対策を講じるなど影響を軽減することが可能である。 ・道路沿いに植栽を行うなどの対策が実施されている事例あり。	・開発の規模が大きく、地形の改変を伴う造成が行われるため、周辺河川等の水位や流量にも影響が発生し、風致景観等への影響は大きい。	
		敷地の造成	【河川等への影響】 【土地の形状変更】 ・各発電所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)。	・造成時に土砂流出防止の対策を講じるなど影響を軽減することが可能である。 ・法面の早期緑化などが実施される。		
	樹木の伐採	【木竹の伐採】 ・上記のような大規模な敷地造成に伴い、既存樹木の伐採を実施。	・保存樹木の設定など、影響を軽減することが可能である。	・発電所の立地によっては、発電所建設時の樹木伐開に伴って新しく林縁部となった範囲において風衝被害が発生する場合があります。伐採域の周辺植生に影響が生じている事例もある。	・発電所の立地選定においては、周辺植生への風衝被害等の発生にも留意する必要がある。 ・建設工事の段階のみならず操業後も含めて、適切な緑地管理を継続していくことが必要である。	
	植栽	— ・緩衝帯や工事跡地の緑化を実施。	・高木や低木植栽では、周辺の在来植生を考慮した樹種を選定。 ・風致景観への配慮として、施設を遮蔽するように植栽が実施されている事例あり。	・植栽後の管理が不適切な場合、緑地が継続的に維持されず、風致景観等への影響が発生する可能性がある。 ・過去に着氷により枯死した植生の復元が確認されている事例がある。		

(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

地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題（4/6）

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関係する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展（注）	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題
建設工事の段階	坑井掘削工事	<p>櫓の建設 掘削作業 淡水の使用</p>	<p>【仮設の工作物の新築】 【土石の採取】 【河川等への影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生産井や還元井の掘削には、一般的に高さ 50m 程度の櫓が必要。小口径の構造試錐井や観測井の場合は高さ 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）</li> <li>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）。</li> <li>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（坑底）を可能な限り離隔するように掘削。</li> <li>期間は 1 本あたり 4～6 ヶ月程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>櫓の高さを低くするための技術が進展している。（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、高い櫓が使用される。）</li> <li>傾斜掘削（コントロール掘削）の技術が進展。特に 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、精度と効率が大幅に向上。これによって、再掘削の頻度も著しく低下した。</li> <li>我が国の地熱傾斜掘削の最大偏距（水平距離）の実績としては、掘削深度（掘削距離）約 3,000m に対して偏距約 1,400 m の事例がある。</li> <li>一般的に石油井掘削と比べて地層や貯留層圧力の条件が異なり、深度や偏距と比例してコストが増大するほか、傾斜掘削の延長が長くなると抑留等の掘削トラブルが発生する可能性が高くなることから、技術的な制約がある。</li> <li>現時点では大偏距掘削は実施されていない。</li> <li>掘削排水は還元井へ流下され、地表部には排出されない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高さ 30～50m 前後の櫓が設置されるため、風致景観への影響が大きい。</li> <li>櫓の高さはそれぞれの地点での仕様等により異なるが、周辺の地形条件によっては低い櫓であっても影響が大きくなる場合があるほか、地質条件によっては掘削に長期間を要する。</li> <li>傾斜掘削（コントロール掘削）は、地表の特定の地点から、地下の多方向の地熱貯留層に向けた掘削を可能とする技術である。このため、それぞれの地下貯留層の直上で行われる垂直掘削に対して坑井基地を集約することが可能であり、基地数の縮減、坑井基地トータルとしての敷地面積の縮減につながることも可能である。</li> <li>また、基地数が縮減されることで発電所施設の最も外側を結ぶ範囲（発電所の広がり）を縮小することが可能となるほか、配管の総延長や道路延長の縮減につながることも可能である。</li> <li>掘削排水は還元井にて地下へ流下させるため、地表部の河川等への影響はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タービン建屋周辺から一定の離隔距離をもって周辺に分散・造成される坑井基地それぞれにおいて、複数本の坑井掘削や噴気試験が実施される。その際、仮工作物ではあるが高さ 30～50 m 程度の櫓や関連設備が建設され、その期間がそれぞれ半年間程度に及ぶことから、風致景観や生物多様性への影響、公園利用に対する支障が発生する。そのため、さらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。</li> </ul>
		<p>噴気試験の実施</p>	<p>—</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> <li>短期試験では数日、長期試験では 1～6 ヶ月程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑井の主弁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。</li> <li>風致景観等への影響は小さいが、周辺の地形条件によっては影響が大きくなる場合がある。</li> </ul>	

（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

地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題 (5/6)

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に関係する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題	
操業の段階	発電	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下から汲み上げた地熱流体を気水分離器で蒸気と熱水に分離し、蒸気を配管でタービンへ導き、発電を行う。温排水が発生する場合あり。</li> <li>・ 蒸気を熱水に戻す過程において、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白い煙状の水蒸気が空高くまで上昇（特に冬季の気温低下時）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生産井の騒音は、サイレンサーにより影響軽減が図られている。</li> <li>・ 冷却塔の水流落下音については、パネル等により影響軽減されている事例あり。</li> <li>・ 蒸気の汲み上げに伴う微小地震の誘発や地獄現象等の衰退は、科学的に因果関係が証明された発生事例は過去になし。</li> <li>・ 着氷被害に対しては、乾式熱交換器の採用によるミスト量の減少や、排気スタックを高くすることによる遠方拡散によって、近年では被害が発生していない。</li> <li>・ 水蒸気の白化に対しては、乾式熱交換器の採用によるミスト量の減少によって、影響は軽減されている。</li> <li>・ 硫化水素の拡散については、脱硫装置の設置により軽減されている事例あり。</li> <li>・ 亜硫酸ガス（二酸化硫黄）は、システムによっては内部で燃焼し大気開放されない。</li> <li>・ 汲み上げられた地熱流体から分離された熱水は、全量が還元井により地下へ戻されるため、熱水中の砒素等が周辺の水域に排出されることはない。</li> <li>・ 温排水は調整池を経て大気温にまで低下させた後に周辺河川等へ排出。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発電時の騒音における風致景観等への影響は小さい。</li> <li>—</li> <li>・ 着氷被害は抑制されており、影響は小さい。</li> <li>・ 蒸気流量や気象条件によっては空高く立ち上る場合がある。</li> <li>・ 近年では硫化水素や亜硫酸ガスによる周辺植生等への影響は確認されておらず、風致景観等への影響は小さい。</li> <li>・ 風致景観等への影響はない。</li> <li>・ 風致景観等への影響は小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最新の影響軽減技術を用いて、周辺樹木への着氷や冷却塔からの水蒸気の白化、硫化水素の拡散などに対する適切な対策を講じることで、風致景観等への影響を抑制する必要がある。</li> </ul>
	スケール付着の抑制	硫酸等の注入	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。熱水成分や還元流量によって異なるが、実績値として 50~1,440 kg/日、24 時間連続注入される。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ 高温にて還元することによりスケール付着を抑制。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スケール付着を抑制する技術の進展により、スケール除去作業や新たな補充井掘削の頻度を低減。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入された硫酸は地下の岩石と反応し中和されるため、地下水系への影響は無いことがモニタリングによって確認されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 還元熱水の地中内部での詳細な動向や、スケール付着防止を目的として還元熱水に混入される場合のある硫酸の影響など、地下の環境に与える影響が詳細には未解明である。</li> </ul>
	スケール除去	櫓の建設 掘削作業 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】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 坑井内のスケールを物理的に削り、スケールを除去。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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（櫓の高さ 20m 程度）が使用される場合がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 櫓が設置されるため、風致景観への影響が大きい場合がある。</li> <li>・ 櫓の高さはそれぞれの坑井地点での仕様等により異なるが、周辺の地形条件によっては低い櫓であっても影響が大きくなる場合がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多くの既存の地熱発電所では、坑井へのスケール付着による減衰が発生しており、操業段階においてもスケール除去作業として一定規模の工事が継続的に実施され、風致景観や生物多様性への影響、公園利用への支障が発生するため、さらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。</li> </ul>
	サイドトラック工事	櫓の建設 掘削作業 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】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スケールにて閉塞した坑井の坑口部分を再利用し、一定の深さから別方向へ新たな坑井を掘削。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既存の坑口部分を再利用することで、新たな坑井の掘削用地が不要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 櫓が設置されるため、風致景観への影響が大きい場合がある。</li> <li>・ 櫓の高さはそれぞれの坑井地点での仕様等により異なるが、周辺の地形条件によっては低い櫓であっても影響が大きくなる場合がある。</li> </ul>	

(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



地熱発電事業における行為と環境への影響及び国立・国定公園内の地熱開発に対する課題 (6/6)

	自然環境へ影響を及ぼす行為の概要	自然公園法に關係する主な行為	行為の内容	環境への影響軽減技術の進展 (注)	現状技術での環境への影響	国立・国定公園内の地熱開発に対する課題		
操業の段階	補充井の掘削	櫓の建設 掘削作業 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】	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんど減衰しない坑井が存在するものの、年間 20%程度の減衰が発生している発電所もみられ、定期的に補充井の掘削が必要となることが多い。</li> <li>掘削時には一般的に高さ 50m 程度の櫓を建設。(ただし作業効率や安全性確保の状況によって異なる)</li> <li>地下 1,000~3,000m級の坑井を掘削。掘削時に淡水を使用(貯水池や冷却排水等にて対応)。</li> <li>期間は1本あたり4~6ヶ月程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>櫓の高さを低くするための技術が進展している。(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、高い櫓が使用される。)</li> <li>掘削排水は還元井へ流下され、地表部には排出されない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高さ 30~50m前後の櫓が設置されるため、風致景観への影響が大きい場合がある。</li> <li>櫓の高さはそれぞれの地点での仕様等により異なるが、周辺の地形条件によっては低い櫓であっても影響が大きくなる場合があるほか、地質条件によっては掘削に長期間を要する。</li> <li>掘削排水は還元井にて地下へ流下させるため、地表部の河川等への影響はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くの既存の地熱発電所では、坑井の減衰により目標とする出力の維持又は回復のために追加の補充井の掘削が必要となっており、操業段階においても一定規模の補充井の掘削工事や坑井基地の新規造成が継続的に実施される場合があることから、風致景観や生物多様性への影響、公園利用への支障が増大するため、さらなる影響軽減技術の開発・投入が必要である。</li> <li>特に、既開発エリアの外周を結んだ範囲よりも外側にて建設される場合には、影響がより大きくなるため、留意が必要である。</li> </ul>	
		噴気試験の実施	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>短期試験では数日、長期試験では 1~6ヶ月程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風致景観等への影響は小さいが、周辺の地形条件によっては影響が大きくなる場合がある。</li> </ul>		
	新たな坑井基地の造成	樹林の伐採 敷地の造成 道路の建設 配管の建設	【仮設の工作物の新築】 【車道の新築】 【木竹の伐採】 【土石の採取】 【河川等への影響】 【土地の形状変更】	<ul style="list-style-type: none"> <li>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造成。</li> <li>アクセス道路や配管を建設。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の坑井基地内の坑口を活用したサイドトラック工事の実施やスケール対策技術の進展に伴い、坑井の運用期間の延長によって、新たな坑井基地を伴う補充井の掘削頻度は低減されている。</li> <li>現在の貯留層管理の技術においても、出力の維持には不確定要素があり、操業後も新たな坑井基地が非定常に増大する可能性を有している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな坑井基地が建設される場合は、樹林の伐開、敷地や道路の造成、配管の敷設などを伴い、風致景観等への影響が大きい。</li> <li>特に、既開発エリアの外周を結んだ範囲よりも外側にて建設される場合には、風致景観上の影響がより大きくなる場合がある。</li> </ul>		
	廃坑	廃坑作業	【仮設の工作物の新築】	<ul style="list-style-type: none"> <li>高さ 9m程度の櫓の建設が必要となる場合があり、坑井内にセメント等を充填。</li> <li>原状復旧の場合は、配管等を撤去後、客土や植栽を実施。</li> <li>坑井基地として残置の場合は、配管等を撤去後、地表面をセメントにて被覆。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原状復旧の場合には、周辺植生に配慮した樹種の選定による植栽が実施された事例あり。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑井基地として残置の場合は、原状復旧がなされずに地表部はセメント等にて被覆される。</li> <li>注入されたセメント等は固化し、の地下水系への影響は小さいと考えられるが、影響の程度は明確になっていない。</li> </ul>		
	影響監視	各種モニタリングの実施	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境保全対策の効果確認や影響監視のために大気環境の観測や水質分析などのモニタリングを実施。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の地熱発電所での大気や水質等に関するモニタリング結果は条例の基準等に対して、これまでに大きな問題となる結果は得られていない。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリング項目の設定や、調査結果の一般公開に関する柔軟な対応が必要である。</li> </ul>
	維持管理	緑地の維持管理 施設の維持管理	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>緑地の維持管理として、植栽木の剪定や下草刈り等を実施。</li> <li>施設の維持管理として、発電所施設の保守点検の実施。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>明確な緑化目的の設定と事後の適切な維持管理が実施されず、緑化の効果が十分に得られていない事例がある。</li> <li>腐食の進行や設備の老朽化による発電所の景観の劣化が生じている事例がある。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>緑地や施設の適切な維持管理が継続的に実施されることが必要である。</li> </ul>

(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

<p>※坑井名称の区分について</p> <p>○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。構造試験井と試験井に細区分される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造試験井…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。</li> <li>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がある。</li> </ul> <p>○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。</p> <p>○還元井…利用後の熱水を地下に還元するための坑井。</p> <p>○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。</p> <p>○補充井…所期の目的が達成されなくなった坑井の代替として新たに掘削される坑井。</p>
<p>※補充井の掘削について</p> <p>操業当初の坑井数は、地熱資源量の評価と経済性の観点から決定されるが、操業後の減衰やトラブルなどで安定的な出力が得られない場合がある。このため地熱開発においては、操業後も櫓の必要な補充井の掘削作業が継続的に発生することが多い。</p>