

温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）
に盛り込むべき項目（素案）

※本資料は、平成 23 年 10 月 20 日に開催された
第 4 回地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討会
の資料-4 である。

第一 基本的考え方

1. 背景

平成 19 年 2 月、環境省の諮問に基づき温泉資源の保護対策及び温泉の成分に係る情報提供の在り方等について検討を行っていた「中央環境審議会（自然環境部会温泉小委員会）」は、環境省に対し「都道府県が温泉資源保護のための条例・要綱等を定めるに当たっての参考となり、対策を円滑に進めることができるよう、新規事業者による掘削や動力装置の許可等の基準の内容や都道府県における温泉資源保護のための望ましい仕組みについて、国は、温泉は国民共有の資源であるという観点に立って、できるだけ具体的・科学的なガイドラインを作成すべきである」との答申を行った。

この答申を受け、平成 20 年 12 月から平成 21 年 3 月にかけて行われた中央環境審議会温泉小委員会における審議等を経て、環境省は、平成 21 年 3 月 31 日に温泉資源の保護に関するガイドライン（以下「ガイドライン（平成 21 年版）」という）を策定し、各都道府県あてに通知した。

「ガイドライン（平成 21 年版）」のねらいは、温泉の掘削、増掘及び動力の装置（以下「掘削等」という）の不許可事由の判断基準について、一定の考え方を示すことであり、その具体的な項目は、地域等による一律規制（制限地域の設定、既存温泉井戸（=源泉）からの距離規制）の在り方、個別判断のための影響調査の手法、公益侵害への該当性の判断等である。

ただし、ガイドライン（平成 21 年版）では、地域等による一律規制の項目において、その考え方については、浴用・飲用への利用を目的とした温泉の掘削等の他、地熱発電の開発のための温泉の掘削等も対象として捉えているが、具体的な対応については、当時得られていた知見では、地熱発電の開発のための温泉の掘削等に言及することが困難であったため、これを除いた温泉の掘削等（主として浴用・飲用への利用を目的とした温泉の掘削等であるが、暖房への利用を目的とした温泉の掘削等も含まれる）を対象とした。

ガイドライン（平成 21 年版）の策定後、平成 22(2010)年 1 月に、我が国は、気候変動枠組条約の目的である温室効果ガス濃度の安定化を実現するため、平成 21(2009)年 12 月の気候変動枠組条約第 15 回締約国会議（COP15）でまとめられたコペンハーゲン合意に基づき、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として、平成 32(2020)年の温室効果ガスを平成 2(1990)年比で 25%削減するという排出削減目標を国連気候変動枠組条約事務局に提出した。また、同年 3 月には、環境大臣が、平成 32(2020)年に温室効果ガスの 25%削減を実現するための対策・施策の道筋を示した中長期ロードマップを発表した。この中で、平成 32(2020)年の絵姿として、エネルギー供給分野においては、発電量として、平成 17(2005)年比で住宅以外の太陽光は約 85 倍、風力発電は約 10 倍、地熱発電は約 3 倍（53 万 kW→171 万 kW）に増加させるという目標を示している。

一方、規制・制度改革に関する調査を行うため、平成 22 年 3 月 11 日に、政府の行政刷新会議に規制・制度改革に関する分科会が、また、同分科会にはグリーンイノベーションワーキンググループ等三つのワーキンググループが設置され、各種の検討が行われ

た結果、同分科会は同年6月15日に第一次報告書を取りまとめ、これに基づき、同年6月18日に「規制・制度改革に係る対処方針」が閣議決定された。

この閣議決定では、「再生可能エネルギーの導入促進に向けた規制の見直し（自然公園・温泉地域等における風力・地熱発電の設置許可の早期化・柔軟化等）」が規制・制度改革事項とされ、その対処方針の一つとして、地熱発電の開発のための温泉の掘削等に関し、「温泉法における掘削許可の判断基準の考え方を策定し、ガイドラインとして運用するよう通知する。〈平成22年度中検討開始、結論を得次第措置〉」こととされた。

さらに、同年9月10日には、財源を使わない景気対策として、既定の改革の実施時期を前倒しすることを含め、需要・雇用創出効果の高い規制・制度改革を推進することを目的として、「新成長戦略実現に向けた3段階の経済対策」が閣議決定された。

この閣議決定では、同年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針について」における前述の規制改革事項が実施時期を前倒しする事項とされ、その内容として、「地熱発電を推進するため、温泉法における掘削許可の判断基準の考え方を策定し、ガイドラインとして運用するよう平成23年度中を目途に通知する」こととされた。

以上のような再生可能エネルギーの導入促進に向けた二つの閣議決定を受け、環境省では、温泉資源の保護を図りながら再生可能エネルギーの導入が促進されるよう、地熱発電の開発のための温泉の掘削等を対象とした温泉資源の保護に関するガイドラインを策定することとしたものである^(※)。

なお、本案は、ガイドライン（平成21年版）の一部を構成するものであるが、これら二つを別に整理した方が利便性が高いと考えられるため、ガイドライン（平成21年版）の分冊として取りまとめることとした。

(※) 平成23年の東日本大震災を契機として、また、8月には電気事業者による再生可能エネルギー電気の買い取り調達に関する特別措置法が国会で成立するなど、再生可能エネルギーの普及に関する機運が一層高まりをみせていることから、温泉資源の保護を図りながら再生可能エネルギーの普及を促進する観点から、温泉法における掘削許可の判断基準を示すこの案は、一層重要なものとなっている。

2. 本案のねらい

本案のねらいは、地熱発電の開発の各段階における掘削等（調査段階における調査井の掘削等、地熱発電の開始に当たっての生産井の掘削等、生産井の追加的な掘削や還元井の掘削等）について、温泉法における許可又は不許可の判断基準の考え方を示すことである。

具体的には、地熱発電の開発前中後の各期間ごとに実施される、掘削行為等による温泉資源への影響を判断するために必要な資料とそれに基づく判断の方法等を示すことである。さらに、実際の判断にあたっては既存の地熱発電開発に係る調査研究成果を踏まえた地熱・温泉資源に関する流体モデルの構築と、それに基づくシミュレーション等が有効である場合が考えられることから、現在稼働している地熱発電所一帯を対象として行ったシミュレーション等を行い、それらの結果等についても記述している。

地熱発電の開発のための温泉の掘削等について、今後、都道府県において、本案を参

考に、温泉法における許可の運用に当たることを期待しているが、参考にするに当たつての留意点を次に示す。

留意点の一つ目は、地域の温泉資源等の状況を考慮することが必要であるという点である。本案は、地熱発電の開発のための温泉の掘削等による温泉資源への影響を判断するために必要な資料とそれに基づく判断の方法を記述しているが、温泉資源への影響を判断するために必要な資料は、当該掘削等を行う地域における地質の構造、泉脈の状態又は温泉の開発状況等に応じて、異なることが想定される。また、地域の温泉資源等の状況に応じて、本案で示す資料に加えて更に資料を収集する、あるいは本案で示す資料の一部を省略するといった対応が求められるケースが考えられる。

二つ目は、本案は、現時点での知見に基づき作成したものであるという点である。環境省では、引き続き、温泉資源に関する各種調査を実施し、また、都道府県の温泉行政担当者等の意見を伺いながら、ガイドライン（平成21年版）とともに、少なくとも5年度ごとに総点検を実施するとともに、随時、その更新を行っていく予定である。

本案の取りまとめを契機に、地熱発電と温泉資源の関係について、関係者間での理解の共有が進められ、また、今後の科学的な議論が一層展開されることを期待したい。

第二 地熱貯留層の一般的概念

ここでは、地熱資源の賦存形態を温泉も併せて図1として模式化し、地熱貯留層（熱水）生成機構と温泉との関係を示すとともに、一般的な地熱発電所における地熱貯留層（熱水）の形態についても示すこととする。

1. 地熱資源の貯留構造

地球内部の温度は一般に深部ほど高い。特に地熱地帯といわれるのは地表面付近に熱異常のあるところであって、活動的な火山の近くか、近くに火山がない場合でもマグマ溜まりが比較的浅い深度に潜在する地域が該当する。

こうした熱異常性（高地温勾配）を形成する原因は、多くの場合は断裂に沿って地熱流体（熱水や蒸気）が地下深部から上昇することによっている。一方で、上昇する熱水の起源はそのほとんどが天水（降水）であることが判っている。地熱エネルギーの開発・利用にあたっては、地熱流体が流動する断層・裂っか構造の形成（地熱貯留層）と、天水が地下深部へ浸透する下降流域、地熱流体を水理的に浅層の、より低温の温泉・地下水循環系を隔てる地質構造（帽岩等、難透水層の形成）が重要となる。

帽岩は、浅部にある低温の地下水の浸入を妨げ、深部の地熱貯留層における熱水循環系を保持するために重要な役割を果たす。そのため、多くの熱水循環系において帽岩となっているのは、透水性が極めて低く、地下流体の流動が生じにくい地層である。そうした地層には、地層生成時の初生的なもの（粘土層など）と、熱水の作用によって水を通しにくく変質した二次的なもの（いわゆる熱水変質帯）とが考えられる。その性質と広がり（厚さと範囲）とによって、深部の地熱貯留層と浅部の温泉・地下水との水理的な連続性が決まり、地熱流体採取による温泉・地下水への影響度合いが定まることになる。

地下深部の地下水の賦存状態を表す主な構造に、上下を難透水性あるいは不透水によって挟まれた帯水層がある。帯水層は、砂やレキなど透水性の良い地層が地下水に飽和した状態にある。難透水性あるいは不透水層は透水性の低い地層からなり、これらが、重なっている事により被圧帯水層中の地下水に静水圧よりも高い圧力がかかり、大量の地下水が湧出することになる。地熱分野の地熱貯留層は地下水分野の帯水層に、相当し、同じく帽岩は加圧層にあたる。ただし、地下水の場合、加圧層の多くは初生的なものであり、熱水変質帯のような加圧層を作る事例は少ない（地熱貯留層と地下水帯水層の生成条件の違いによる）。

以上のことを要約すると、地熱資源の形成に必要な要素は、水、熱そして地質構造である。天水を地下深部に浸透させる地質構造、その水を深部において地熱流体とする熱の存在、地熱流体となった水を地下浅部へと上昇させる地質構造、地熱流体を地下比較的浅部に貯留する地質構造である。

高温の温泉を湧出する古来の温泉は、なんらかの地熱徴候地にある。このことから、地熱貯留層とその深度に違いがあるものの、一部を除けば、温泉帯水層は、地下にあるマグマ溜まりを、直接・間接的に熱源としていることは共通しているとみてよい。

地熱資源の分類として、熱水卓越型地熱系と蒸気卓越型地熱系、高温岩体等がある。これらを簡単に説明すれば、熱水が多い熱水卓越型地熱系と蒸気が多い蒸気卓越型地熱系、

そして熱水、蒸気ともに少ない高温岩体である。地熱発電で利用するのは、多くの場合、蒸気であることから、熱水卓越型よりも、不用熱水を地下に還元する必要のない蒸気卓越型の方が地熱発電に有利と考えられるが、蒸気卓越型は供給される熱量に比較して相対的に天水の補給が少ないわけであり、持続可能な発電を行う上で注意を要する。なお、国内では熱水卓越型地熱系の方がより普遍的に存在する。

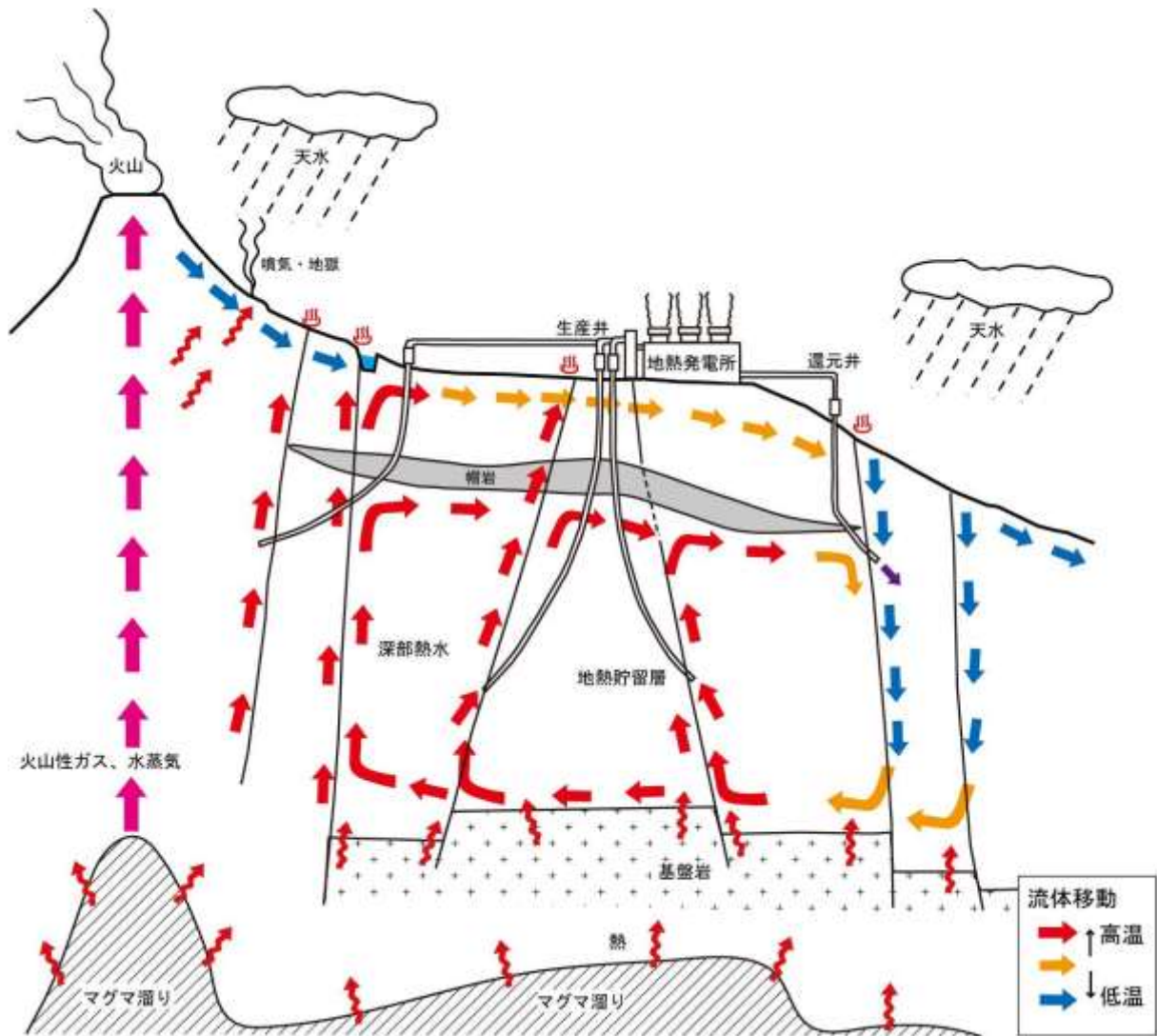


図1 地熱貯留層概念図

2. 地熱発電所における地熱流体の流れ

一般的な地熱発電所における地熱流体の流れは、概ね以下のとおりである。

地上に取り出した地熱流体の多くは蒸気と熱水とが混じるが、発電に用いるのは蒸気（これは火力、原子力でも同じ）なので、地熱流体から蒸気と熱水を分離して、蒸気のみをタービンに送り発電に用いる。

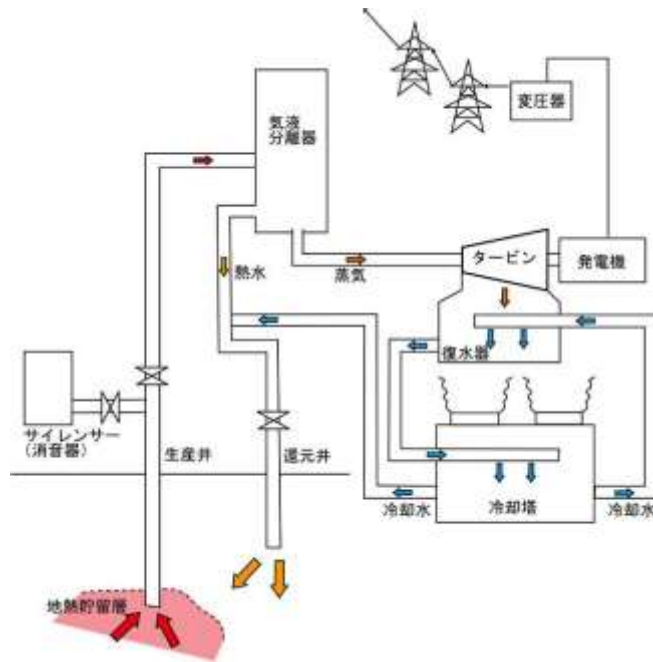


図2 地熱流体のしくみ

熱水は多くの場合、ひ素等の有害成分を含有していることがあり、温度も高いので、そのまま河川等に放流すると環境汚染を引き起こすことが想定されることから、地下還元が行われる。この地下還元は、当初、上記したとおり主たる目的は環境汚染防止にあったが、地下還元することにより地熱貯留層の圧力維持や流体涵養にも寄与することが明らかとなっており、その意義も大きい。

還元熱水は地熱貯留層の温度低下を招かないように、一般には地熱流体生産ゾーンから離れた場所に還元されるが、還元熱水の一部は、地熱貯留層に戻り地熱流体の循環系に組み込まれることになる。

3. 関連用語について

ここでは特に、本案において使用する地熱関係の用語については、便宜上、以下のような意味で用いている。

○温泉水（おんせんすい）

温泉として利用されている熱水、比較的浅部を流動・貯留される熱水。この温泉水が流動・貯留している部分を温泉帯水層と呼ぶ。温泉源とは、未だ採取されない温泉をいう。

○地熱流体（ちねつりゅうたい）

地熱開発が対象とする比較的深部の熱水。貯留されている部分を地熱貯留層と呼ぶ。地熱流体には、この熱水に気体（蒸気やガス）も含む。

○温泉井戸（おんせんいど）

温泉水を湧出する場所および井戸。ここでは、人為的に掘削したものその他、自然湧出泉も含む。

○地熱井坑井（ちねつこうせい）

地熱貯留層およびその周辺部や高温岩体中に掘削される坑井。熱水・蒸気生産用の坑井は生産井（蒸気井）と呼ばれ、利用後熱水を地層中に返送する坑井を還元井と呼ぶ。

○生産井（せいさんせい）

地下の貯留層から蒸気および熱水などのエネルギー資源を採取するための坑井。蒸気井ともいう。

○還元井（かんげんせい）

地熱発電所において、生産井から採取された利用後の熱水を使用後地下に還元するための坑井。熱水による熱汚染防止、ひ素等の有害成分流出による環境汚染防止、地盤沈下防止、貯留層の圧力維持・涵養等を目的とする。

○構造試錐井（こうぞうしすいせい）

地熱開発のために行われる試錐で、地下の地質・地熱構造解明を目的として掘削される坑井。具体的には地質サンプルの採取や地温勾配の確認を目的としたコアボーリングが該当する。地下水や地熱流体の採取や湧出は意図しない。通常は調査終了後埋め戻される。

○試験井（しけんせい）

地熱開発のための試錐で、地熱貯留層の資源量評価を確認することを目的として掘削される坑井。ここでは、構造試錐井で行われる調査内容に加えて、噴出試験（地熱流体を採取すること）を行う坑井とする。実際に蒸気を噴出させ、水位や圧力のほか、温度、成分組成の測定を行うほか、分析用試料（地熱流体）が採取される。

○観測井（かんそくせい）

地熱貯留層の状況、周辺の温泉や地下水位などを監視することを目的として掘削される坑井。他の坑井から転用されることもある。

○補充井（ほじゅうせい）

本来の目的が達成できなくなった上記の各種坑井に替わって、元の坑井と同じ目的で掘削される坑井。追加井もここでは含める。

○注水試験（ちゅうすいしけん）

坑井内に設置した圧力計によって注水量と坑井内圧力との関係や注水停止後の圧力変化を測定して、坑井の還元能力や坑井周辺の透水性を解析する試験。

○噴出試験（ふんしゅつしけん）

地熱井の噴出量と孔口圧力を測定する試験。バルブ操作などで孔口圧力を変化させ噴出量を測定することで坑井の噴出特性を調査する短期試験と周辺の坑井に対しての圧力干渉などを調査する長期噴出試験がある。

○トレーサー試験（とれーさーしけん）

トレーサーとなる物質を坑井に注入し、生産井の熱水や温泉井戸の温泉水を採取して、その試薬類が検出されるかどうかを調査する試験。その結果で、坑井間、温泉井戸の繋がり、熱水

の流動状況を明らかとなる。

○噴気（ふんき）

地表に噴出している水蒸気やマグマ中の揮発性成分からなるガス。

○地熱貯留層（ちねつちよりゆうそう）

地熱流体を貯留する地層のこと。地熱貯留層は熱水対流系の部分系であり、割れ目に富んだ岩体からなることが多い。

○帽岩（ぼうがん）

高温の蒸気・熱水を貯留する浸透性の高い地熱貯留層から地熱流体の上方または側方への流出・移動を防ぐとともに、浅層から低温の温泉・地下水が浸透するのを防ぐ難透水性の地層。一般には泥岩や粘土質変質岩がその役割を果たすことが多い。キャップロックとも呼ばれる。

○地熱構造モデル（ちねつこうぞうもでる）

温泉と地熱貯留層の関係について、地層や断層等の分布、温度分布、地熱貯留層分布、地熱流体の生成機構、地熱流体流動及びその流動と地質構造との関係、熱源等を総合的に解析したモデル。

○地熱流体流動モデル（ちねつりゅうたいりゅうどうもでる）

地熱構造モデルに地熱流体の生成・貯留層温度・熱水系の分類・流動状態を加えたモデル地熱構造モデルとの識別が不明瞭。「地熱流体流動モデル」ではないか。「地熱構造モデル」は容れ物の話で、「地熱流体流動モデル」は容れ物の中の地熱流体の流れに関する話。それらを合わせて、地熱系に関する概念モデルが作られる。

○数値モデル（すうちもでる）

数値シミュレーションにより、地熱流体採取による貯留層の圧力変化や温泉への影響予測といったことを定量的に検討するために、モデルを反映して、地熱現象を再現させるためのモデル。地下の特性を定量化するために、坑井から得られるデータ（地層の間隙率や透水性、温度分布など）が最低限必要である。また、モデルの精度と確実性を検証するには、シミュレーションにより出力する項目（地熱貯留層の圧力や温泉湧出量）について、より多くの実測データを取得し、計算値と実測値との照合を行う必要がある。

○地熱開発促進調査（ちねつかいはつそくしんちょうさ）

探査リスクなどにより開発調査が進んでいない地熱有望地域について、民間企業の開発を誘導し、地熱発電の開発を促進するために、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が行う先導的な調査のこと。昭和55年度から平成22年度まで行われた。

探査区域の広さにより、以下のように調査A～調査Cに区分される。

100～300 km² : 調査A（地下高温部の存在の有無の確認）

50～70 km² : 調査B（地熱貯留層の存在の有無の確認）

5～10 km² : 調査C1（大規模地熱発電所、地熱資源量の概略把握）

5～10 km² : 調査C2（中小規模地熱発電所、地熱資源量の概略把握）

4. 我が国の地熱開発の現状

地熱発電に用いる地熱資源（地熱エネルギー）は、以下の特徴を有する。

- ① 温室効果ガスの排出が少なく、地球温暖化防止に有効なこと。
- ② 再生可能な自然エネルギーであること。
- ③ 火山国である我が国にあっては、数少ない自前のエネルギー源のひとつであること。

平成 22 年度環境省委託業務である「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書（平成 23 年 3 月）」によると、国立・国定公園等の外縁部から 1.5km までの範囲（コントロール掘削による偏距の大きさ）を開発可能とした場合の温度別熱水資源の賦存量と導入ポテンシャル、開発可能割合は次表のようにまとめられている。

温度区分	賦存量（万 kW）	導入ポテンシャル（万 kW）	割合
150℃以上	2357	636	27.0%
120～150℃	108	33	30.6%
53～120℃	849	751	88.5%
計	3314	1420	41.8%

平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書（平成 23 年 3 月）より引用

一方、社団法人火力原子力発電技術協会の「地熱発電の現状と動向（2009 年版）」によると、我が国における地熱発電の認可出力、発電電力量、平均稼働率、平均利用率の推移は以下の図のようになっている。現状の認可出力は 53.5 万 kW であるので、上記の導入ポテンシャル（636 万 kW）に対しては 1 割未満、賦存量に対しては 2%程度の利用に止まっている。地熱発電の特徴は、発電所の稼働率や利用率は高く、他の自然エネルギー（風力、太陽光）に比較して安定した発電が期待出来ることである。しかし、我が国における発電設備構成比は、地熱発電は全発電施設の 0.2%をまかなっているに過ぎない。



図 3-1 国内地熱発電所許可出力の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版) より引用

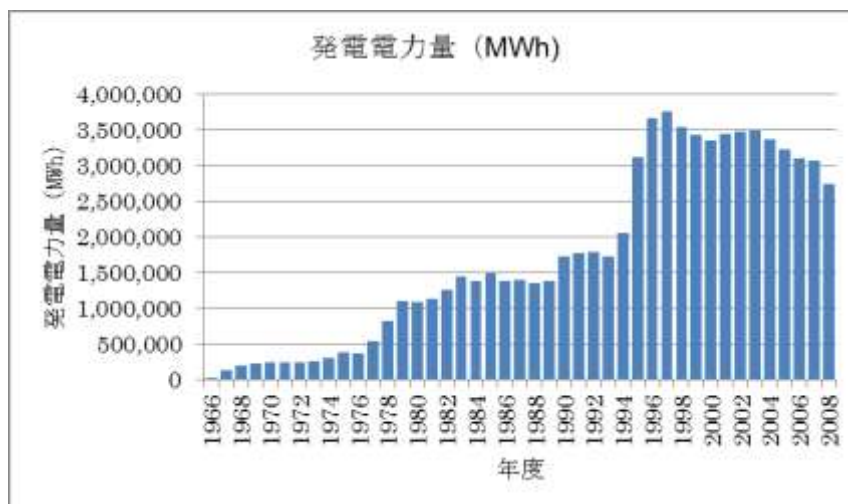


図 3-2 国内地熱発電所発電電力量の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版) より引用



図 3-3 国内地熱発電所平均稼働率の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版) より引用



図 3-4 国内地熱発電所平均稼働率の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版) より引用

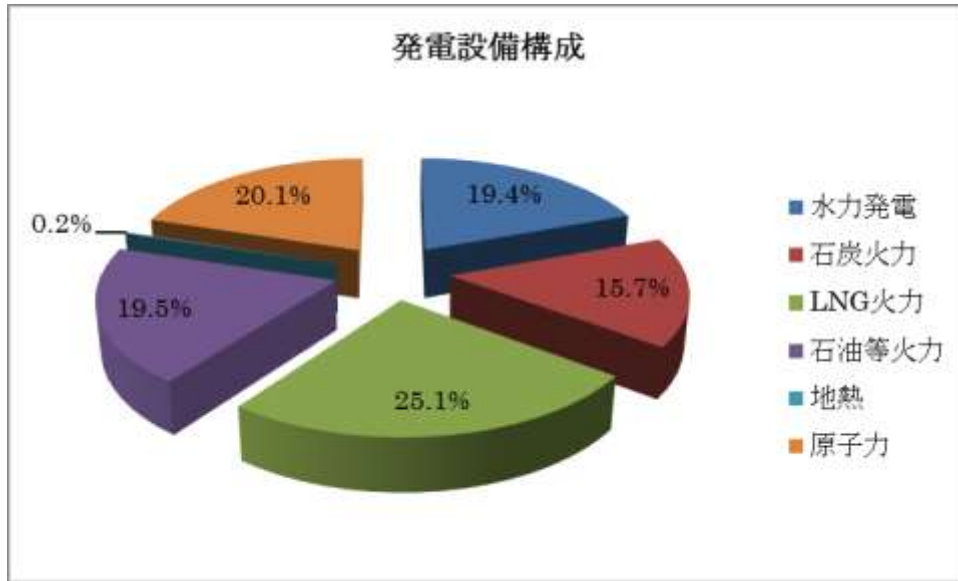


図 3-5 発電設備構成

参考文献

日本地熱学会ホームページ、地熱発電用語集

(http://wwwsoc.nii.ac.jp/grsj/jgea/index1_6.html)

地学団体研究会編，1996：新版地学事典、平凡社。

地熱発電と温泉利用との共生を検討する委員会，2010：報告書 地熱発電と温泉利用との共生を指して，日本地熱学会。

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO），2002：平成13年度温泉影響予測手法導入調査（第3次）報告書。

犬山文孝・島田寛一・鵜田洋行・横井浩一，1999：温泉・地下水系影響予測マニュアル（1），地熱エネルギーvol.24，No.3。

環境省，2011：平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書。

社団法人火力原子力発電技術協会，2009：地熱発電の現状と動向。

第三 地熱開発のための掘削許可に係る判断基準の考え方

1. 掘削許可に係る判断基準の考え方

温泉法では、温泉を湧出させる目的で土地を掘削しようとする者は、都道府県知事に申請してその許可を受けなければならないとしている。地熱水も温泉法で規定する温泉であり、地熱発電に利用するための熱水・蒸気の生産井の掘削はもちろん、地熱開発のための探査時に地下の熱水貯留状況を確認したり、資源量を検討したりするための試験井の掘削であっても、温泉の湧出が見込まれる場合には温泉法に基づく掘削許可申請が必要となる。

また、温泉法では個々の掘削申請の度に、温泉法第4条の許可の基準に基づき許否の判断を行うこととなる、当該掘削が既存温泉へ与える影響を判断するためには各種のデータ、資料等が不可欠であるが、入手することが可能なデータ、資料等は、地熱開発調査の段階により大きく異なる。当初の広域調査の段階では、その判断基準となる各種のデータ、資料は限られたものとなるが、調査が進展するにつれて地熱開発の予定地域の地質構造及び地熱構造、既存温泉の湧出機構や温泉湧出の変動状況、過去の温泉井戸(=源泉)間の影響発生事例などに関する理解が深まり、より正確に当該地熱開発による既存温泉への影響の予測が可能となる。さらに坑井からの噴出試験が始まれば、それによる既存温泉への影響の有無と程度等が具体的に明らかになり、当該地熱開発による既存温泉への影響について、定性的な情報に基づく予測からモニタリング結果や各種坑井調査に基づいた定量的な評価が行えるようになる。その後もデータ集積が進むことによって、地熱構造のモデル化や地熱流体流動のモデル化に基づくより正確な影響判断や、数値シミュレーションに基づく影響予測へと高度化することが可能となる。

表1に、一般的な地熱開発に係る調査等の流れを記すとともに、各段階において入手することが可能と思われる各種のデータ、資料等を示した。これらをもとに各都道府県においてより科学的な検討を行うことにより、当該掘削が温泉資源へ与える影響を判断することが可能となる。

温泉法においては、「都道府県知事が温泉の保護に関連のある一定の処分*を行うに当たって、審議会その他の合議制の機関（以下「審議会等」という）の意見を聴かなければならないこととしている」。これは、これらの処分がいずれも専門的科学的判断を要するものであり、かつ、申請者方及び関係者の利害に関するところが大きいことであるため、処分の適正を期するためである。そのため審議会等においては、従前から地学、医学、薬学、法律学等の学識経験者を含む適切な委員構成を確保する必要があるとされてきたところである。今般、地熱開発に係る処分の適正を記すために、審議体制の在り方を検討することが望ましいと考えられる。

例えば、審議会等の委員の任命制度として、常任の委員とは別に審議内容によって審議に加わることができる臨時委員や専門委員を設ける規定がある場合には、地熱・地質等に専門的な知見のある有識者を必要に応じて任命することも考えられる。

また、判断基準の資料として専門技術的な資料を審査する必要がある場合には、掘削許可の審議に当たり、必要に応じて有識者からの意見を聴取するといった取り組みも考えられる。

*: 処分とは、許可処分・不許可処分・採取制限命令を含む

なお、表1に示す地熱開発における各段階での調査目的や調査内容等については、一般的と思われる事例を記載したものであり、ここに記載された調査等がこの順番ですべて実施されるということではなく、入手することが可能と思われるデータ等についてもそのすべてが当該段階で揃うということではないことに留意する必要がある。

2. 地熱開発のための調査について

地熱開発のための調査は、一般的には表1に示すように段階的に調査範囲を絞りながら進行されていく。

地熱開発のための調査は主に、既存資料調査、地表調査、坑井掘削による調査などがある。

既存資料調査は、既往の学術文献や温泉分析結果、各種資源（温泉や鉱床など）調査の結果などを収集し、該当する地域に関する地熱資源状況を整理するものである。地表調査には、地質調査や物理探査、地化学探査、温泉や蒸気・ガスなど地熱流体を対象にした各種化学分析が含まれる。坑井掘削には、地下の（垂直的な）地質分布況や地質構造、地温分布の状況などを知るための構造試錐井、地熱貯留層の資源量評価や周辺の温泉や地熱井との影響関係を確認するため、構造試錐井での調査内容に加えて噴出試験（地熱流体を採取すること）を行うことを主な目的とする試験井、地熱貯留層の状況や周辺地下水位などを監視することが目的の観測井などがある。

各調査の中で、坑井を掘削しての調査は極めて重要であり、それによって知ることが出来る内容は極めて多岐にわたる。しかし、坑井は地表から見れば点であり、断面的に見ても線にすぎない。複数行われる坑井調査の結果（点や線の情報）を相互に繋げて、平面的・断面的、そして3次元的な情報へと集約していく作業の中で欠かせない情報は、地質調査や物理探査および地化学探査から得られる面的な広がりを持つ情報である。

3. 温泉の生成機構分類と地熱開発による温泉影響の可能性

○引用資料：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、2002：平成13年度温泉影響予測手法導入調査（第3次）報告書のp16、第I-2-1表）

地熱開発の温泉への影響を予測するためには、温泉と地熱貯留層との関係を把握することが必要である。

温泉の生成には、温泉水が貯留される構造と水、熱源、それに加え成分の供給源（ガスや岩石）が必要である。温泉水の水の起源（構造、流体流動上の繋がり）や熱源と深層に地熱貯留層が関係している場合には、地熱開発の規模により、温泉に影響が現れる可能性がある。その場合、温泉に現れる影響については温泉、地熱貯留層の構造によって違いが生じる。よって、まずは温泉の生成機構の解明、および開発対象とされる地熱貯留層との関係による判断が必要とされる。

温泉の貯留構造と地熱貯留層の関係については、表1におけるⅡ.概査までの調査により、推定が可能となり、Ⅲ.精査の噴気試験で実際に確認が行われる。

温泉の成因と深部地熱流体の関係

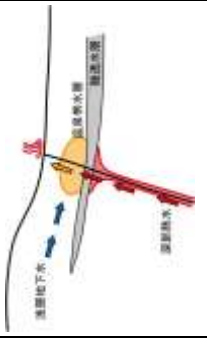
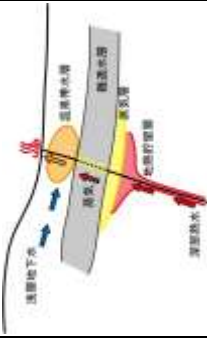
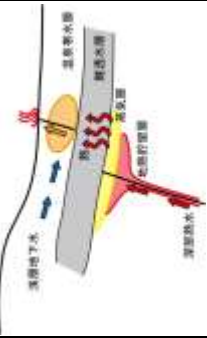
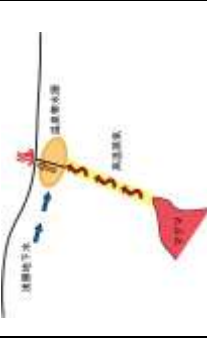
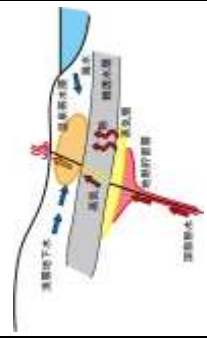
	深部熱水混入型温泉	蒸気加熱型温泉	伝導加熱型温泉	高温(マグマ)蒸気型温泉	海水混入型温泉
概念図					
生成機構	地下水と深部から混入する熱水によって形成された温泉帯水層(主にCl型)を指す。特徴としては、一般に深部熱水のCl濃度は高いことから、このタイプの温泉水は比較的高いCl濃度を示す。また、深部熱水の濃度を反映して比較的高温を示す特徴がある。深部熱水の温度や地下水との混合割合でかなり幅があるが、60～120℃程度を示すことが多い。	地下水が蒸気によって加熱されて形成された温泉帯水層(主にSO4型、HCO3型)を指す。温泉帯水層が浅部に形成されている場合はSO4型を、深部に形成されている場合はHCO3型を示すことが多い。温泉は一般的に深部熱水型温泉よりも低く、伝導加熱型温泉よりも高い。温泉水の形成に関与する蒸気量や地下水との混合割合によってかなりの幅があるが40～100℃程度を示すことが多い。	地下水が地熱によって加熱(伝導加熱)されて形成された温泉帯水層(主にHCO3型)を指す。日本の温泉にはこのタイプに属するものが多く、地下水が伝導熱で加熱された温泉のため、温泉は一般に低く、30～40℃程度を示すことが多い。	マグマから派生した高温の蒸気(HClやSO2等を含む)によって地下水が加熱されて形成された温泉帯水層(主に酸性のCl-SO4型)を示す。温度は比較的高温を示す特徴があり、地下水との混合割合によってかなり幅がある。	海水と地下水が混合したものが伝導熱(主にCl型)を指す。蒸気によって加熱されて形成された温泉帯水層(主にCl型)を示す。海水が混入していることから溶存成分濃度が高い特徴がある。温泉は一般に低い傾向がある。
生成機構から判断される温泉影響の可能性	生成機構から判断すると、地熱貯留層と温泉帯水層が繋がっているケースが考えられ、その場合は温泉影響が現れる可能性がある。温泉帯水層に混入している熱水が閉塞対象の地熱貯留層の熱水の一部である場合は、地熱貯留層によって温泉帯水層に混入する熱水の量が減少し、水位低下や湧出量減少、泉温や溶存成分の低下などが起こる可能性がある。温泉への影響として以下が想定される。 ①温泉帯水層に供給される深部熱水の一部が地熱貯留層の生産に引き込まれる場合には、温泉水位が低下する。 ②温泉の水位が低下することで、周辺から浅層地下水の流入割合が増加した場合、温泉水が希釈されて温泉水の温度や成分濃度が低下する。 ③100℃前後の高温の温泉帯水層であり、水位(圧力)の低下によって温泉水の一部分が蒸気化した場合、温泉帯水層の蒸気割合が増加する。	生成機構から判断すると、地熱貯留層との直接的な繋がりが少ないが、地熱閉塞域が非常に近い場合、閉塞域で生じた圧力減少の影響によって加熱された蒸気量や体積に変化が現れる可能性がある。ただし、地熱貯留層によって地熱貯留層の圧力が少々低下しても、貯留層温度が極端に低下しない限り、蒸気加熱型温泉を形成するのに必要な蒸気供給量は十分に確保され続けることから、一般的に蒸気加熱型温泉では深部熱水混入型温泉に比べると変化は起こりにくい。 温泉への影響として以下が想定される。 ①温泉帯水層の加熱源である蒸気層が、生産によって縮小した場合、温泉帯水層の温度が低下する。 ②蒸気層が縮小し、温泉帯水層へ流入する蒸気層へ流入する蒸気量が減少した場合、温泉水位が低下する。 ③温泉水位が低下することで、周辺からの浅層地下水の流入割合が増加した場合、温泉水が希釈されて温度や成分濃度が低下する。 ④地熱貯留層の圧力が低下して、その一部で蒸気化が起こり、温泉帯水層周辺の蒸気層が拡大した場合、温泉の温度が上昇したり、蒸気割合が増加する。	生成機構から判断すると、地熱貯留層との直接的な繋がりが少ない。このため、原理的には地熱閉塞域が非常に近づく閉塞域が大きい場合には、間接的に影響が現れる可能性はある。温泉への影響として以下が想定される。 ①生産によって地熱貯留層の圧力が低下した場合に周辺への圧力伝播によって浅層地下水の水位が低下し、それが間接的に伝導加熱型温泉の水位低下につながる。	生成機構から判断すると地熱貯留層との直接的な繋がりが少ない。このため、地熱貯留層との直接的な繋がりが少ない。このため、原理的には地熱閉塞域が非常に近づく閉塞域が大きい場合には、間接的に影響が現れる可能性がある。温泉への影響として以下が想定される。 ①生産によって地熱貯留層の圧力が低下した場合に周辺への圧力伝播によって浅層地下水の水位が低下し、それが間接的に温泉の水位低下につながる。 ②地熱貯留層にもマグマ蒸気が混入している場合は、そのマグマ蒸気の一部が温泉帯水層を加熱している可能性も否定できないため、そのような場合には深部熱水混入型温泉と同様の影響が懸念される。	生成機構から判断すると地熱貯留層との直接的な繋がりが少ない。このため、地熱貯留層との直接的な繋がりが少ない。このため、原理的には地熱閉塞域が非常に近づく閉塞域が大きい場合には、間接的に影響が現れる可能性がある。温泉への影響として以下が想定される。 ①生産によって地熱貯留層の圧力が低下した場合に周辺への圧力伝播によって浅層地下水の水位が低下し、それが間接的に温泉の水位低下につながる。 ②地熱貯留層にも海水混入した高温の深部熱水が混入している場合には、その熱水の一部が温泉帯水層に流入している可能性も否定できないため、そのような場合には深部熱水混入型温泉と同様の影響が懸念される。

表1 地熱調査の一般的段階と掘削内容の関係

地熱調査の段階	I. 広域調査	II. 概査	III. 精査	IV. 発電所建設	V. 発電所運開後
主な掘削と内容	構造試錐井 (浅層地下温度調査の小口径掘削が主体)	構造試錐井、観測井の掘削 (温度に加え地質、透水性など)	試験井、観測井の掘削 (開発予定深度の深部掘削による試験の実施)	生産井、還元井の掘削 (運用に用いる坑井)	生産井、還元井の追加掘削 (補充井の掘削)
掘削で取得し得る情報	構造試錐井から得られる地質、地下温度情報に基づく地熱地域の推定	構造試錐井、観測井から地質状況や地温状況、透水性等の概要が多く得られ、初期的な地熱構造モデルを類推する	試験井からの噴出試験データが得られ、実測値に基づいてモデルが改良される。噴出試験により実際に温泉への影響有無の確認も可能となる	モデル、シミュレーションによる地熱貯留層管理が実施される モニタリング結果と合わせた温泉影響評価	モデル、シミュレーションによる予測の更新 モニタリング結果と合わせた検討継続
地熱調査内容とそれにより得られる情報	○地熱地帯の広がり 地表調査 物理探査による推定地質構造 変質体分布による地下温度や地熱分布の推定 地化学探査による地熱兆候分布 地化学調査による温泉の水質や起源に関する情報	○地下温度。地質の詳細情報 構造試錐井、観測井掘削による地質、地下温度、透水性などの詳細情報	○地熱貯留層の評価 試験井掘削による調査による、深層の地下温度、地質状況の情報に加えて、噴出試験により地熱貯留層の規模や能力、周辺温泉や噴気、地下水等への環境影響についての情報を得る	○生産・還元井掘削による調査データ 生産井、還元井掘削により開発深度の地下温度、地質状況の詳細な情報が多く得られ、シミュレーションによる将来予測が可能となる	○補充、追加井掘削による調査データ 補充井、追加井掘削によりさらなる地下情報が得られ、建設時の予測と実際の発電所運転による結果との比較を行い修正した将来予測
温泉影響検討資料として得られるもの(想定されるもの)	温泉の掘削深度、採取深度 温泉の水質、起源について 温泉地質資料(掘削柱状図など) 温泉の検層記録 その他	観測井、温泉モニタリング結果 各種物理探査結果による地質構造、温泉と深部貯留層の関係 上記をとりまとめた概念モデルにて検討を行う	試験井掘削による温泉影響モニタリングデータ 予測結果とモニタリング結果の比較 より進んだ概念モデル(地熱構造モデル、地熱流体流動モデル) 地熱流体流動モデル	生産・還元井掘削後の温泉モニタリングデータ 予測結果とモニタリング結果の比較 モデル、シミュレーションによる将来予測 一般に、離れた地域にある温泉はシミュレーションに十分取り入れないこともあることに留意する必要がある。	発電所稼働後の温泉モニタリングデータ 予測結果とモニタリング結果の比較によるモデル、シミュレーションの更新

4. 各段階における掘削許可の判断基準に係る情報等

それぞれの段階での調査目的や調査内容、掘削許可の判断に係る情報及び温泉資源への影響を判断する方法についてまとめる。下記の温泉・地熱兆候には噴気帯なども含まれる。

4-1. 広域調査段階：構造試錐井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）

対象地域における資源開発の可能性を検討し、広域(100～300km²)の範囲からより地熱資源開発の可能性が高い地域(50～70km²)を抽出するとともに、その抽出された地域において掘削から判明した地温分布状況に基づいて予想される地熱資源の存在状態を踏まえた有効な調査計画（調査内容や規模）が立てられ、その調査結果から、地質分布および地質構造、地熱貯留層の平面的な分布状況、温泉の水質や起源などの特性に関する情報が得られる。

表 2-1 広域調査段階における掘削の場合

調査段階	I. 広域調査段階：構造試錐井の掘削
掘削の内容	構造試錐井掘削
掘削目的	地熱開発可能性に関する基礎的検討、地下温度の確認
調査の内容	<p>平面的に浅層を広範囲に調査が実施される</p> <p>① 資料調査 資料調査時に収集する資料としては次のようなものが考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 資源・地質調査資料 (学術論文、自治体等による調査結果、広域地質図など) ・ 空中写真（リニアメント解析） ・ 衛星画像（画像解析） ・ 資源開発や温泉掘削に関する各種規制実態に関する資料収集（聞き取り） <p>② 地表調査 現地調査としては主に広く広域の探査に適した調査が実施される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地質・変質帯調査 ・ 物理探査（重力探査・電磁探査・電気探査） ・ 地化学探査（ガス、地温探査） ・ 地化学調査（温泉、噴気・ガスの化学組成分析、同位体分析、トリチウム分析による調査） <p>③ 構造試錐井掘削による調査 この段階で行われる掘削調査は、地下の地温・地質状況を確認するための小口径ボーリング（構造試錐井）である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削中の各種調査や掘削時のサンプル（コア、カッティングス・スラッジ）の鑑定 ・ 地下温度の測定

	<p>④温泉・噴気・地下水について調査</p> <p>周辺の温泉（源泉）や地熱徴候に対しても、地熱開発対象地域との関連性を考慮するために、以下のような調査が実施される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 資料調査（都道府県温泉主管部保管資料、公表資料の収集） ・ 温泉や地熱徴候の水・ガスに対する化学分析 ・ 温泉地質調査 ・ その他
掘削許可の判断に係る情報（資料）	<p>① 掘削概要（掘削位置、掘削口径、掘削深度、流体採取深度、既存温泉からの距離など）</p> <p>② 掘削目的（特に地熱流体採取の有無と採取量）</p> <p>③ 掘削計画（温泉湧出の可能性に対する防止策など）</p> <p>そのほか、申請時点で得られる掘削許可の判断に役立つと思われる資料（例えば下記）があれば参考にする。</p> <p>④ 地質平面図・地質断面図</p> <p>⑤ 学術論文など（既存の調査資料）</p> <p>⑥ その他</p>
温泉資源への影響を判断する方法	<p>上記の資料等をもとに水平距離、垂直距離、掘削深度、採取深度を指標として、温泉と地熱貯留層間の地質及び地質構造、温泉貯留層と地熱貯留層との相違等を判断。</p>
温泉資源に関する必要な調査	<p>⇩ 温泉湧出形態（自噴井は影響しやすい）</p> <p>⇩ 温泉井戸(=源泉) 状況に関する聞き取り調査（都道府県温泉主管部、温泉事業者）</p> <p>⇩ 温泉井戸(=源泉) の実態調査（湧出状況、利用実態）</p> <p>⇩ 温泉の地質・地化学の調査（温泉の地質的・化学的特徴の抽出）</p> <p>⇩ 温泉や地表地熱徴候の自然変化を確認するためのモニタリング（バックグラウンドの把握）</p> <p>その他（当該温泉地の特性に配慮した必要な調査）</p>

4-2. 概査段階：構造試錐井、観測井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）

地熱開発候補地域を絞り込み、地熱貯留層の規模の把握を目的とした掘削調査が行われ、調査結果から、温泉や地熱徴候の湧出機構を検討し、概念モデルを作成、開発対象地熱貯留層と温泉・地熱徴候との関連性についての検証が可能となる。

表 2-2 概査段階における掘削の場合

調査段階	II. 概査段階：構造試錐井、観測井の掘削
掘削の内容	構造試錐井 観測井
掘削目的	地熱開発の可能性が高い地域（精査対象地域）の抽出と温泉への影響評価
調査の内容	<p>構造試錐井、観測井掘削による地下温度、地質情報の取得。観測井モニタリングによる地域の温泉、地下水特性把握が行われる。</p> <p>① 構造試錐井掘削による調査 小口径の構造試錐井の掘削により、以下に列記するような調査が行われる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 岩相、地質構造の確認 ・ 孔内物理検層 ・ 注水試験 <p>② 観測調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉湧出状況におけるバックグラウンドの把握（季節変動、気象による変化等） <p>③ 温泉地・地熱徴候地調査</p> <p>周辺の温泉（温泉井戸(=源泉)）や地熱徴候に対しても、広域調査の段階に比較して、温泉の湧出機構をより具体的に検討するために、以下のような調査が実施される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既存資料（特に既存温泉井戸(=源泉)の開発に係わる調査結果や掘削時の調査記録（揚湯試験や物理検層結果）などの収集 ・ 温泉や地熱徴候に対するモニタリング（観測井の設置を含む） ・ その他
掘削許可の判断に係る情報（資料）	<p>① 掘削概要（掘削位置、掘削口径、予定深度、既存温泉からの距離など）</p> <p>② 掘削目的（特に地熱流体採取の有無と採取量）</p> <p>③ 掘削計画（温泉湧出の可能性に対する防止策など）</p> <p>そのほか、申請時点で得られる掘削判断の役に立つと思われる資料（例えば下記）があれば参考にする。</p> <p>④ 地熱構造概念モデル（地熱貯留層と温泉や地熱徴候との地質構造的な位置関係など）</p> <p>⑤ 温泉や地熱徴候に対するモニタリング結果と地質学的・化学的考察</p>

	⑥ そのほか、申請時点で得られる掘削判断の役に立つと思われる資料があれば参考にする。
温泉資源への影響を判断する方法	調査 I における判断に加えて、地熱構造概念モデルによる地熱貯留層と温泉貯留層との関係、地質構造の相違及びこれまでのモニタリング結果等をもとに温泉資源への影響の有無について判断
温泉資源に関する必要な調査	<ul style="list-style-type: none"> ⇩ 温泉の地質・地化学調査（温泉の地質的・化学的特徴の抽出）の継続 ⇩ 温泉地内での物理、化学探査（湧出機構解明） ⇩ 温泉や地表地熱徴候の自然変化を確認するためのモニタリング（バックグラウンドの把握） ⇩ その他（当該温泉の特性に配慮した必要な調査）

4-3. 精査：試験井の掘削

地熱発電所の事業化に向けた調査段階で、試験井から得られた情報により地熱構造モデルや地熱流動モデルを検証し、地熱貯留層の評価を行う。試験井掘削による調査と噴出試験から地熱貯留層の規模と特徴、地熱構造モデルの検討が可能となる。

表 2-3 精査段階における掘削の場合

調査段階	III. 精査
掘削の内容	<p>試験井と観測井の掘削が主体</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 試験井は生産井、還元井、観測井へ転用される可能性を含む。 ・ 地熱貯留層の性質を把握するために主に噴出試験を行う。
掘削目的	地熱発電の事業化に向けた地熱資源規模把握と温泉への影響評価
現地調査の内容	<p>調査地域は将来計画の蒸気生産を中心とした地域に限定され、地熱資源量を把握するための以下のような調査が主体となる。</p> <p>① 試験井の掘削と噴出試験による調査</p> <p>大口径の試験井の深部掘削が主体となり、試験井を用いて以下に列記する調査が行われる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 岩相、地質構造の確認 ・ 物理検層 ・ 地熱貯留層の評価（噴出試験） ・ 流体の性状確認（流体・ガスの水質分析） ・ トレーサー試験（坑井間、および、温泉との直接的な繋がりを確認） ・ 圧力干渉試験 <p>② 温泉地・地熱徴候地調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉や地熱徴候、湧出機構の解明

	<ul style="list-style-type: none"> 温泉や地熱徴候のモニタリングの継続と観測項目の見直し（観測井の設置を含む）
掘削許可の判断に係る情報（資料）	<ol style="list-style-type: none"> 掘削概要（掘削位置、目的、深度、口径、坑井を利用した調査内容、既存温泉からの距離など） 掘削目的（特に地熱流体採取・湧出の有無） そのほか、申請時点で得られる掘削判断の役に立つと思われる資料（例えば下記）があれば参考にする。 掘削計画時までに得られた地熱構造に関する概念モデル（地質構造における水文学的な関係など） 温泉や深部熱水の地質学的・化学的考察 温泉モニタリングによる影響監視結果 地熱開発による既存温泉地への影響発生に関する考察
温泉資源への影響を判断する方法	<ul style="list-style-type: none"> 調査Ⅰ、Ⅱにおける判断に加えて地熱構造モデル及び地熱流体モデルを反映して作成される数値モデルにより地熱流体採取による貯留層の圧力変化や温泉への影響予測を定量的に検討する。その際、その数値モデルが、これまでの各種のモニタリング結果を十分再現できているか、そして、予測されている変動はどの程度かを踏まえ、温泉資源への影響の有無について判断。温泉資源に影響が考えられる場合には、その対応策を含めて判断。
温泉資源に関する必要な調査	<ul style="list-style-type: none"> ↓ 温泉や地表地熱徴候に対するモニタリングの継続 ↓ 特に坑井からの噴出試験に対応した影響監視（モニタリングによる） ↓ モニタリングにより温泉に変化が生じた場合には、その変化が地熱調査によるものかどうか、主に地熱構造モデルや地熱流体モデルにもとづいた定性的検証を実施する。

4-4. 発電所建設：生産井、還元井掘削・観測井追加掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）

地熱資源の持続的な開発（=既存の温泉や地熱徴候への影響を回避も含めた）地熱発電所の規模を検討することが目的となる。地熱資源量の把握と同時にモニタリングによる発電所運用時の近隣温泉への影響評価が主な目的となる。調査の進展に伴い地熱構造モデルと地熱流体モデルの更新、地熱貯留層の管理のためのシミュレーションの構築、温泉や地熱徴候への影響確認が可能となる。

表 2-4 発電所建設・運転開始段階における掘削の場合

調査段階	Ⅳ. 発電所建設・運転開始の段階
掘削の内容	生産井、還元井の掘削 <ul style="list-style-type: none"> その他（地熱貯留層管理に必要な試験井、観測井の掘削）

調査目的	地熱資源量の把握と発電所運用時の温泉への影響評価
現地調査の内容	<p>発電所建設と稼働のための地熱資源量の把握、周辺既存温泉への影響評価が主体となり、以下のような調査が含まれる。</p> <p>①生産井、還元井掘削</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 岩相、地質構造の確認 ・ 物理検層 (地下温度、熱水流入層、地質構造 (フラクチャー解析)) ・ 地下流体の性状確認 (流体・ガスの水質分析) ・ 噴出試験 ・ 圧力干渉試験 (坑井間、および、温泉との直接的な繋がりを確認) ・ トレーサー試験 (地熱坑井間、観測井および、温泉との直接的な繋がりを確認) ・ 生産井、還元井モニタリング <p>②温泉地・地熱徴候地調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉や地熱徴候の湧出機構の引き続きの解明 ・ 温泉や地熱徴候のモニタリングの継続と内容の見直し (観測井の設置を含む) ・ その他
掘削許可の判断に係る情報 (資料)	<p>① 掘削概要 (掘削位置、目的、深度、口径、坑井を利用した調査内容、既存温泉からの距離など)</p> <p>② 掘削目的 (特に地熱流体採取の目的の有無) そのほか、申請時点で得られる掘削判断の許可に役立つと思われる資料 (例えば下記) があれば参考にする。</p> <p>③ 掘削計画時までに得られた地熱構造に関する地熱構造モデル+地熱流体流動モデル (地熱貯留層と温泉や地熱徴候との地質構造的な位置関係など)</p> <p>④ 既存温泉や地熱徴候の地質学的・化学的考察</p> <p>⑤ 既存温泉や地熱徴候に対するモニタリング結果と地質学的・化学的考察</p> <p>⑥ 地熱開発による既存温泉地への影響発生に関する考察</p> <p>⑦ その他：申請時点で得られる掘削判断の許可に役立つと思われる資料 (例えば下記) があれば参考にする。</p>
温泉資源への影響を判断する方法	<p>・ 調査Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおける判断に加えて、蓄積されてきた各種の情報をもとにさらに詳細な地熱流体採取による貯留層の圧力変化や温泉への影響予測を定量的に検討する。それまで予測に用いてきた数値モデルが、地熱流体採取に伴う各種のモニタリング項目の変動を十分再現できているか、必要なモデルの改善は可能か、そして、今後予測されている変動はその程度かを踏まえ、温泉資</p>

	<p>源への影響の有無について判断する。</p> <p>温泉資源に影響が考えられる場合には、その対応策を含めて判断。 モデル・シミュレーションによる予測</p>
温泉資源に関する必要な調査	<p>⇩ 温泉や地表地熱徴候に対するモニタリングの継続</p> <p>⇩ 特に坑井からの噴出試験に対応した影響の監視（モニタリングによる）</p> <p>⇩ モニタリングにより温泉に有意な変化が生じた場合には、その原因を科学的に検討する。その結果に基づいて、変化が地熱開発によるものかどうか、主に地熱構造モデルや地熱流体モデルに基づいた定性的検証やモニタリングデータ等の解析による準定量的な検証を実施する。</p>

4-5. 発電所運開後：補充井（生産井、試験井、還元井・観測井（温泉のゆう出が見込まれる場合））

発電所の出力維持のための生産井や還元井の掘削が行われる。補充掘削により詳細な数値シミュレーションが行えるようになり、新たなモデルの検討が可能となる場合もある。実際に確認したモニタリング結果から、モデルの更新、シミュレーションの更新、追加検討が行われる場合もある。

表 2-5 発電所建設後における掘削の場合

調査段階	V. 発電所運転開始後の段階
掘削の内容	<ul style="list-style-type: none"> 生産井、還元井の補充掘削（その調査のための掘削） 生産井、還元井の追加掘削（その調査のための掘削） その他、地熱貯留層管理に必要な試験井、観測井の掘削
調査目的	<p>地熱貯留層の適正管理による地熱資源の持続的利用の推進</p> <p>発電所の出力変更の適否、補充井掘削による温泉への新たな影響発生の有無について検証</p>
現地調査の内容	<p>地熱貯留層の管理、生産井や還元井を維持するための補充掘削、出力増を意図した生産井や還元井の追加掘削、周辺既存温泉への影響評価が主体となり、以下のような調査が含まれる。</p> <p>① 坑井調査</p> <p>生産井、還元井、観測井の補充掘削（補充井）</p> <ul style="list-style-type: none"> 地質、地質構造の確認 孔内物理検層 噴出試験 圧力干渉試験（坑井間の直接的な繋がりの程度を確認） トレーサー試験（坑井間、および、温泉との直接的な繋がりを確認） 地下流体の性状確認

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地熱貯留層の動態観測の継続 <p>②温泉地・地熱徴候地調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉や地熱徴候の湧出機構の引き続きの解明 ・ 温泉モニタリングの継続と内容の見直し検討 ・ その他
掘削許可の判断に係る情報（資料）	<p>① 掘削概要（掘削位置、目的、深度、口径、坑井を利用した調査内容、既存温泉からの距離など）</p> <p>② 掘削目的（特に地熱流体採取の目的の有無） そのほか、申請時点で得られる掘削判断の許可に役立つと思われる資料（例えば下記）があれば参考にする。</p> <p>③ 掘削計画時までに得られた地熱構造に関する地熱構造モデル＋地熱流体流動モデル（地熱貯留層と温泉や地熱徴候との地質構造的な位置関係など）</p> <p>④ 既存温泉や地熱徴候の地質学的・化学的考察</p> <p>⑤ 既存温泉や地熱徴候に対するモニタリング結果と地質学的・化学的考察</p> <p>⑥ 地熱開発による既存温泉地への影響発生に関する考察</p> <p>⑦ 地熱貯留層の動態に関するシミュレーション結果</p> <p>⑧ そのほか：申請の時点で得られる掘削の判断に役立つと思われる資料があれば参考にする</p>
温泉資源への影響を判断する方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳにおける判断に加えて、温泉や噴気のモニタリングを継続し、そのデータなどによるヒストリーマッチングを通して精緻化されるシミュレーションモデル等により、これまでの各種モニタリング結果が、十分再現できるか、将来的にどの程度の変動が予想されるかをもとに判断。温泉資源に影響が考えられる場合には、その対応策を含めて判断。
温泉資源に関する必要な調査	<ul style="list-style-type: none"> ⇩ 温泉や地表地熱徴候に対するモニタリングの継続 ⇩ 特に坑井からの噴出試験に対応した影響監視（モニタリングによる） ⇩ 温泉に有意な変化が生じた場合、その原因を科学的に検討する。その結果に基づいて、その変化の原因が地熱開発によるものか、地熱開発以外の他の要因によるものか、モニタリングデータ等の詳細な解析等に基づいて検証する。

第四 関係者に求められる取り組み

本案は、地熱開発のための温泉の掘削等について、今後、都道府県が本案を参考に温泉法における許可の運用に当たることを期待しているが、温泉資源の保護と地熱開発の共存は都道府県による温泉法の運用のみで実現されるものではなく、当事者である温泉事業者及び地熱開発事業者による各種の取り組みが不可欠である。

実際にはどのような取り組みが有効であるかについては、温泉地の状況や地熱開発の状況等により異なってくるのが予想されるが、ここでは一般的に有効と思われる各種の取り組みについて記載することにより、双方の参考となることを期待する。

① 地熱開発事業者、温泉事業者相互によるモニタリングの重要性

地熱開発による温泉や噴気・ガスに対する影響については、温泉や噴気・ガスについての量的・質的なモニタリングばかりでなく、それらへの影響要因となる地熱流体採取に伴う地熱貯留層の動態（温度、圧力、採取量の変化等）についてのモニタリング、地表水や地下水、降水等の水文気象についてのモニタリング、温泉地や噴気帯周辺における土木工事等による自然改変の状況把握なども極めて重要である。これらのうち、温泉や噴気・ガス、地熱貯留層の動態、水文気象についてのモニタリングデータは、事後の予測を行うためのモデル化やシミュレーション等の基礎データ（ヒストリーマッチングのためのデータ）としても活用される極めて重要なデータとなる。

温泉についてのモニタリングは、温泉の湧出形態が自然湧出泉や掘削自噴泉の場合には、温度と量が代表的監視項目であることで問題ないが、自噴泉の圧力、揚湯温泉井戸(=源泉)では温泉水位（温泉を汲み上げていない時の水位（静水位）と、温泉を汲み上げている時の水位（動水位））が重要な監視項目である。揚湯温泉井戸(=源泉)の場合、揚湯量がおおよそ定量に維持されていても、温泉水位が継続的に低下している場合もありうる。揚湯量が一定量に維持されていると、その温泉井戸(=源泉)の湧出状態は安定していると見られがちだが、もし継続的な水位低下が発生していれば、その温泉井戸(=源泉)からの温泉採取量は適正範囲を超えている可能性が高い。

地熱流体採取による地熱貯留層の適正管理にとって、最も重要な指標は貯留層の圧力であり、温泉でいえば水位にあたる。つまり、モニタリング項目としては、温泉、地熱ともに水位、圧力が最も重要である。これに必要に応じ温度や湧出量、水質も加わる。

温泉に対するモニタリングの手法については、「ガイドライン（平成21年版）」の別紙に記載されているので、その内容を参考にされたい。

この他、地熱発電による地熱流体採取の対象となる地熱貯留層と温泉や噴気・ガスの採取層（湧出層）との距離が、垂直（深度）的、水平的に大きい時には、その水平的な中間位置において、垂直的にも中間深度にあたる観測井を設置し、そこでの水位をモニタリングしておくことによって、温泉や噴気・ガス等への影響出現を未然に防止したり、削減したりする効果も期待される。

② 情報の共有・公開

地熱開発による温泉影響を判断する前提として、温泉相互間の影響がどうであるかの確認を、モニタリングにより把握しておくことが重要である（温泉におけるモニタリングの重要性はガイドライン（平成21年版）にも記述されているところである。）
その上で、温泉影響を判断するには、温泉や噴気・ガスについてのモニタリングデータ、観測井や地下水等の水文気象についてのモニタリングデータ、地熱貯留層についてのモニタリングデータ、自然改変の状況などの様々な情報を総合し、温泉や噴気・ガスの変動が、地熱発電施設の運転状況（地熱貯留層の温度・圧力変化）と関連するののか、それとも水文気象や自然改変の状況などと関連するののか、これらモニタリングデータをつきあわせて検証することが必要である。例えば、地熱坑井の採取量を増加させた場合、減じた場合の両方で、温泉や噴気・ガスがどのように反応したかを検討することも必要である。

こうしたした観点から、それぞれの観測時は信頼できる形で行い、モニタリング結果を解りやすく整理することが必要と考えられる。また、地熱側、温泉側双方の情報提供と共有化が必要であり、第三者による確認が行えるような情報公開方法や次に記す「協議会」の場で定期的に情報を公開する方法等が考えられる。

なお、この情報提供と情報公開にあたっては、情報を得た第三者が利益を生じ、当事者に不利益が生じるようなことがおきない対策が必要となる。情報提供と情報公開の方法については、③に述べる合意形成に基づいて行うのはスムーズなやり方である。

③ 関係者間の合意形成（協議会の設置）

地熱開発と温泉事業が共存・共栄するためには、地熱開発事業者による各種調査の説明・報告（公開）、地熱開発事業者や温泉事業者に第三者（関係する市町村等）を加えた場での地熱開発に伴う温泉や噴気・ガスへの影響に関する検証結果、地熱発電の現状報告と将来計画などの説明・報告（公開）などを通じて、関係者間の合意形成を図っていくことが重要である。このような場合は、地熱資源開発の過程のなるべく早い段階で計画段階から設置されると有効である。

例えば、地熱開発事業者は掘削を伴わない初期段階の調査であっても、調査目的と調査内容、調査のスケジュール（特に坑井掘削）等の情報を事前に地元関係者に報告し、意見を聴取するとともに、調査結果に基づくその後の対処方針（地熱開発の続行、断念など）についても説明することで、関係者相互の信頼醸成に役立つことが考えられる。

また、地熱関係者が地域関係者との間で親密なパートナーシップを構築することで、地熱開発に関する協議がスムーズに進展することが期待される。具体的には、地域の地熱資源の有効活用や保護対策などが考えられる。

以上のような、関係者間での情報共有、公開の場として第三者（関係する市町村等）を含めた「協議会」を設置することが、関係者間の合意形成を図る有効な方法である（次ページ図3の協議会設置事例参照）。

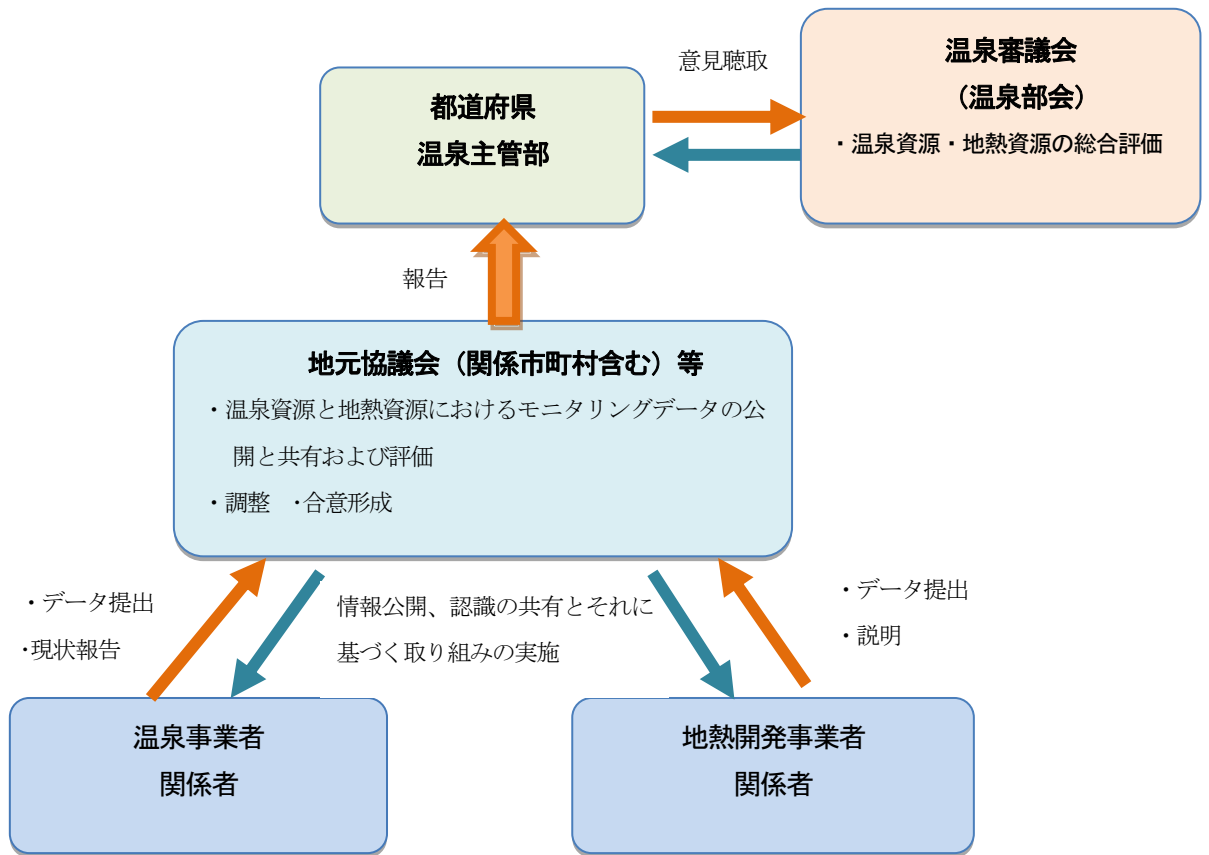


図3 協議会体制の構築例