

温泉資源保護に関するガイドライン（地熱発電関係）（素案）

2011年11月 日

目次

第一 基本的考え方	1
1. 背景	1
2. 本ガイドラインのねらい	2
第二 地熱資源の一般的概念等	3
1. 地熱貯留層の構造と地熱資源の分類	3
2. 地熱発電の仕組み	4
3. 関連用語について	5
4. 我が国の地熱資源の状況	8
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	11
1. 掘削許可に係る判断基準の考え方	11
2. 地熱開発のための調査について	12
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	12
4. 各段階における掘削許可の判断に係る情報及び方法等	15
4-1. 広域調査段階	15
4-2. 概査段階	17
4-3. 精査段階	18
4-4. 発電所建設段階	20
4-5. 発電所運転開始後段階	21
第四 関係者に求められる取り組み等	23
備考	26
別紙1	27

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、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（環境大臣試案）が公表され、その後中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会において、対策・施策の具体的な姿について検討し、その内容を同年 12 月に中長期ロードマップ（中間整理）としてまとめた。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段構えの経済対策」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、本ガイドラインは、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3月の東日本大震災を契機として、また、同年8月には電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法が国会で成立する等、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の考え方を示すこのガイドラインは、一層重要なものとなっている。

2. 本ガイドラインのねらい

本ガイドラインのねらいは、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試行し、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、各都道府県において、本ガイドラインを参考に、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、参考にするに当たっ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。本ガイドラインは、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、本ガイドラインで示す資料に加えて更に資料を収集する、あるいは本ガイドライン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、本ガイドラインは、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。

本ガイドライン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 地熱資源の一般的概念等

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、地熱貯留層の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利用形態についても示すこととする。

1. 地熱貯留層の構造と地熱資源の分類

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、地表面付近に高温域のあるところであり、全体として火山地域に多い。そこには地下にマグマ溜まりやその痕跡があって地熱貯留層の熱源になっている。

多くの場合、高温域を形成する原因は、断層・裂っかに沿って地熱流体が地下深部から上昇することによっている。一方で、上昇する地熱流体の起源はそのほとんどが天水であることが判っている。一般的な地熱貯留層の形成にあたっては、地熱流体が流動する断層・裂っか構造の形成と、天水が地下深部へ浸透する下降流域、地熱流体と浅部の温泉・地下水とを隔てる帽岩等の地質構造が重要となる。

帽岩は、浅部にある低温の温泉・地下水帯水層と、深部の地熱貯留層における地熱流体の循環系を隔てている。多くの地熱流体の循環系において帽岩となっているのは、透水性が極めて低い地層である。そうした地層には、地層生成時からあるものと、熱水的作用によって水を通しにくく変質した二次的なものと考えられ、その性質、厚さ及び範囲によって、深部の地熱貯留層と浅部の温泉・地下水との水理的な関連性を定める1つの要素となっている。

なお、温泉・地下水の賦存状態にも上下を不透水層によって挟まれた帯水層がある。帯水層は透水性の高い地層、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、大量の温泉・地下水が湧出することになる。

古来の高温泉は、地熱地帯にあることが多い。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。

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く、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多く存在する。

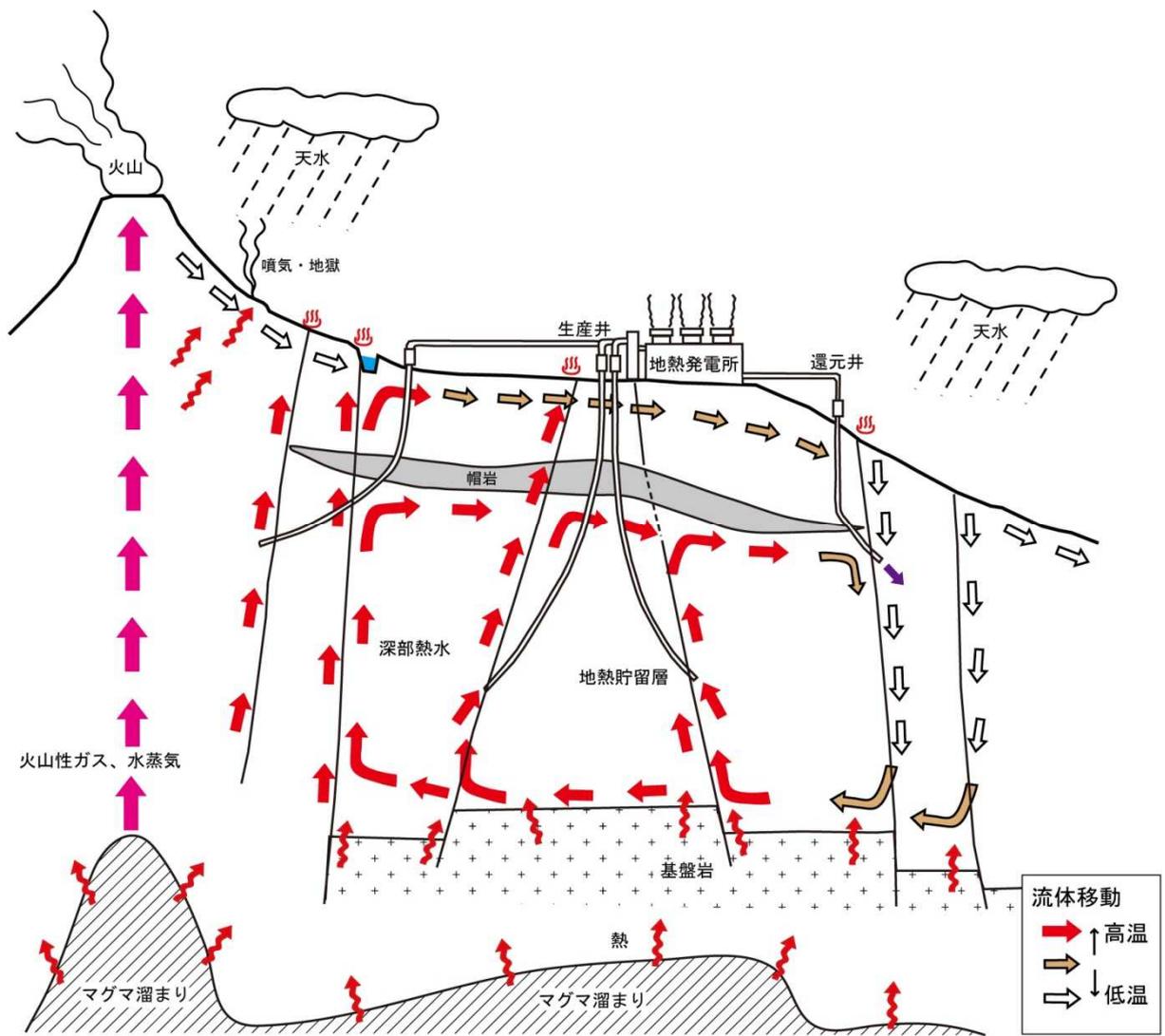


図1 地熱貯留層概念図

2. 地熱発電の仕組み

一般的な地熱発電の仕組みは、概ね図2に示したとおりである。

地上に取り出した地熱流体のうち、発電に用いるのは蒸気であるため、地熱流体から蒸気と熱水を分離した蒸気のみをタービンに送り発電に用いる。

地熱発電所において、生産井から採取された地熱流体を使用後地下に返送するための坑井。地熱流体による熱汚染防止、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地質・地熱構造解明を目的として掘削される坑井。地質サンプルの採取や地温勾配の確認を目的とした掘削が該当する。一般に地下水や地熱流体の採取や湧出は意図せず、調査終了後埋め戻される。

・ 試験井（しけんせい）

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、噴出試験を行う坑井とする。実際に地熱流体を噴出させ、水位や圧力のほか、温度、成分組成の測定を行う。

・ 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等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坑井に替わって、同じ目的で掘削される坑井。

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。噴気試験と呼ばれることもある。バルブ操作等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噴出試験と周辺の坑井に対しての圧力干渉等を調査する長期噴出試験がある。複数の生産井や試験井を同時に噴出させて状況を確認する試験は一斉噴出試験と呼ばれる。

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、坑井間、温泉との繋がり、熱水の流動状況を明らかにするため、生産井の熱水や温泉水を採取して、その物質が検出されるかどうかを測定する試験。

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（ちねつちよりゅうそう）

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）

高温の熱水及び蒸気を貯留する透水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、浅部から低温の温泉・地下水が浸透するのを防ぐ不透水層。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質及び地熱構造の観点から、地層や断層等の分布、地下温度分布、地熱貯留層と温泉帯水層の分布、地熱流体の生成機構、地熱流体流動と地質構造の関係、熱源等を総合的に説明したモデル。

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)

地熱構造モデルを発展させ、温泉水や地熱流体の地化学情報を基に、温泉及び地熱流体の生成機構、地熱貯留層温度、熱水系の分類、混合状態、流動状態を説明したモデル。地熱系概念モデルと呼ばれることもある。

数値シミュレーションモデル(すうちしみゅれーしょんもでる)

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、地熱構造モデルや地熱流体流動モデルを反映して構築されるモデル。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、温度分布等)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。

4. 我が国の地熱資源の状況

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。

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。

再生可能な自然エネルギーであること。

火山国である我が国にあっては、数少ない国産のエネルギー源のひとつであること。

我が国の地熱資源量は豊富であること。

表 1-1 各国の地熱資源量

国名	活火山数(個)	地熱資源量(万 kW)
アメリカ合衆国	160	3000
インドネシア	146	2779
日本	119	2347
フィリピン	47	600
メキシコ	39	600
アイスランド	33	580
ニュージーランド	20	365
イタリア	13	327

村岡（2011）資料より引用

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（理論的に算出することができるエネルギー資源量であり、現在の技術水準では利用することが困難なものを除き、種々の制約要因（法規制、土地利用、居住地からの距離等）を考慮しないもの）と導入ポテンシャル（エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量）開発可能割合（賦存量に対する導入ポテンシャルの割合）は次表のようにまとめられている。

表 1-2 温度区分別の導入ポテンシャル（全国）

温度区分	賦存量(万 kW) A	導入ポテンシャル(万 kW) B	割合(%) B/A
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、発電電力量の推移は以下の図のようになっており、平成 11 年の八丈島の地熱発電所立地以来、新規の立地はない。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 1 割未満、賦存量に対して 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。また、我が国における地熱発電の発電設備構成比は、全発電施設の0.2%となっている。

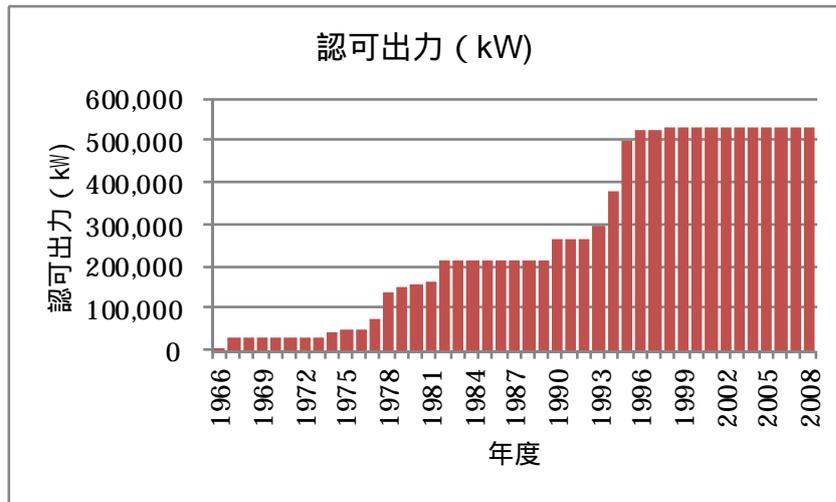


図 3-1 国内地熱発電所許可出力の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版)より引用

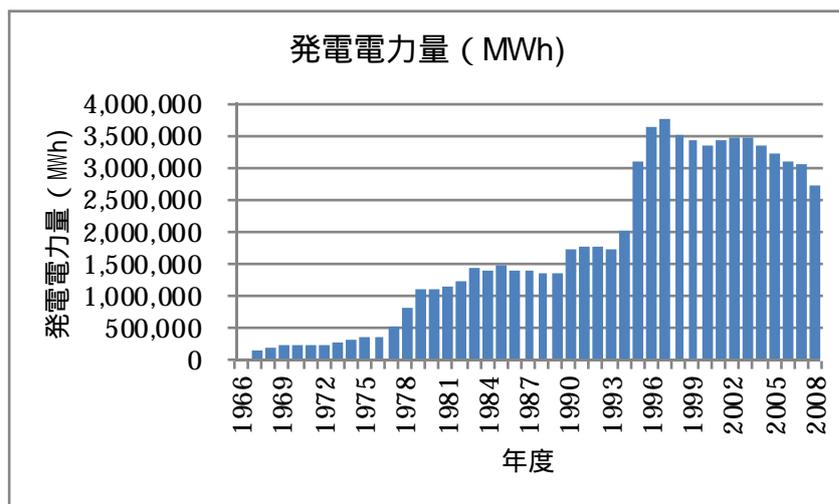


図 3-2 国内地熱発電所発電電力量の推移

地熱発電の現状と動向 (2009年版)より引用

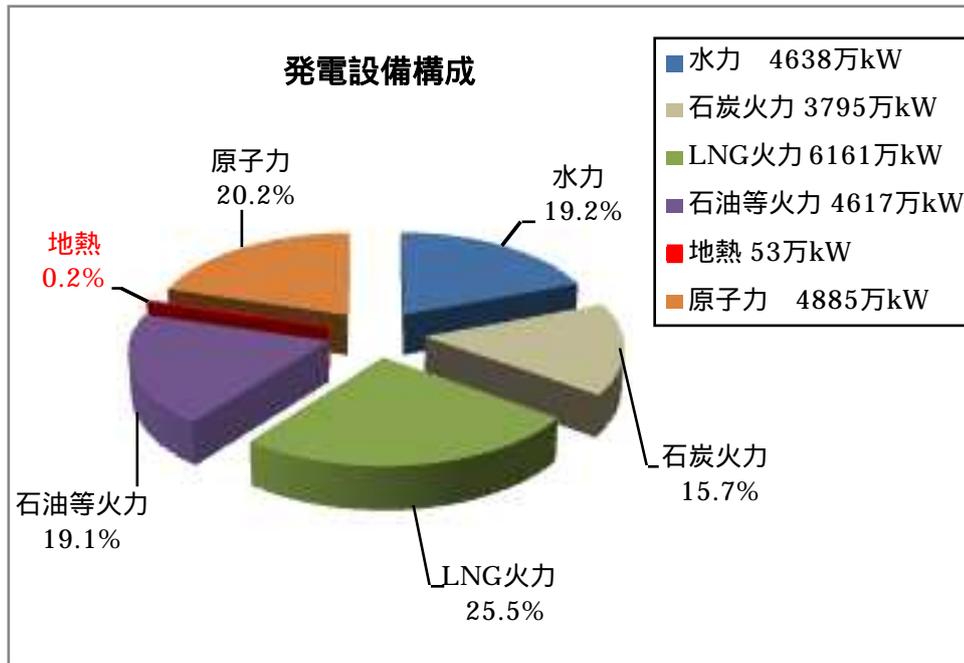


図 3-3 発電設備構成 (2009 年度末推定実績)

自家発電設備は除き、水力発電は一般水力発電と揚水水力発電を合計している。

平成 22 年度電力供給計画の概要より引用

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おり、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、資源量を検討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、過去の源泉間の影響発生事例等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が可能となる。また、現在、地熱分野においては数値シミュレーションを用いた地熱資源量評価手法があるが、将来的に数値シミュレーションによる温泉影響評価手法が構築されれば、温泉影響評価のためのモニタリング結果をもとにした影響予測へと高度化することが可能となる。

なお、既存温泉への影響としては湧出量の減少、温度の低下もしくは成分の変化等が考えられるが、これらは公益を害するおそれがある場合の例示であり、公益を害するおそれがある場合は、温泉源を保護し、その利用の適正化を図るという見地から特に掘削を制限する必要があると認められる場合を指すとの考え方は従来と同じである。したがって、地熱開発の掘削許可申請であっても、当該掘削が公益を害するか否かについて判断を行うこととなる。

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¹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、申請者及び関係者の利害に関するところが大きいため、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期すために、既存温泉への影響等を技術的・科学的見地から判断できる専門家の参画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、もしくは、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。

¹ 処分とは、許可処分・不許可処分・採取制限命令を含む。

一方で、掘削中に既存温泉への影響等が見られた場合への対処としては、掘削許可に当たり必要に応じて温泉法第4条第3項の規定に基づく条件（影響が見られた場合における調査の実施等）を付し、個別の状況によっては当該条件の変更を行うことにより既存温泉への影響等を回避することが考えられる。

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2に示すように段階的に調査範囲を絞りながら進行される。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等がある。

既存資料調査は、既存の学術文献や温泉分析結果、温泉や鉱床等の各種資源調査の結果等を収集し、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、温泉や地熱流体を対象にした各種化学分析等がある。

坑井掘削による調査には、構造試錐井による地下の地質分布状況、地質構造及び地温分布の状況等を知るための調査、試験井による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を行うことを主な目的とする調査、観測井による地熱貯留層の状況や既存温泉や地下水位等を監視することが目的の調査等がある。

ただし、表2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十分に留意する必要がある。

各調査の中で、坑井掘削による調査は重要であり、それによって得られる情報は多岐にわたる。さらに、複数行われる坑井掘削による調査の結果を相互に繋げるとともに、資料調査や地表調査結果を集約していくことで、より詳細な情報となっていく。

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

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。表3には温泉と地熱貯留層の関係を5つのパターンに分け、それぞれの影響の可能性について記した。これらの関係を把握するには、各種の探査情報やモニタリング調査結果を加味して総合的に考える必要がある。なお、実際にはこの5つに明確に分類されるわけではなく、これらが複合した形態が多々存在する。

温泉の生成には、貯留構造と起源となる水、熱源、それに加え成分の供給源となるガスや岩石が必要である。温泉の起源や熱源が深部の地熱貯留層と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ため、まずは温泉の生成機構や開発対象とされる地熱貯留層との関係の解明が必要とされる。

表3における、深部熱水混入型、蒸気過熱型の温泉、海水混入型温泉において、これらの温泉と地熱貯留層が関係し、その地熱貯留層が開発対象となっている場合には注意が必要である。このような温泉の生成機構と温泉と地熱貯留層の関係については、表2における概査までの調査により、おおよその推定が行われ、精査以降の試験井、生産井掘削時の噴出試験やトレーサー試験、モニタリング調査により実際に確認が行われる。その後も調査の進展に伴い開発規模も決定され、より正確な影響の可能性を判断することとなる。

表2 地熱調査の一般的段階と掘削内容の関係例

	・広域調査段階	・概査段階	・精査段階	・発電所建設段階	・発電所運転開始後段階
主な掘削と内容	構造試錐井の掘削 ¹	構造試錐井の掘削 ¹ 観測井の掘削 ¹	試験井の掘削 観測井の掘削 ¹ 構造試錐井の掘削 ¹	生産井の掘削 試験井の掘削 還元井の掘削 ¹ 構造試錐井の掘削 ¹ 観測井の掘削 ¹	生産井の掘削 試験井の掘削 還元井の掘削 ¹ 構造試錐井の掘削 ¹ 観測井の掘削 ¹
掘削で取得し得る情報	地質（断裂含む）、地下温度・圧力等	地質（断裂含む）、地下温度・圧力、透水性等	地質（断裂含む）、地下温度・圧力、透水性、地熱流体性状等	地質（断裂含む）、地下温度・圧力、透水性、地熱流体性状等	地質（断裂含む）、地下温度・圧力、透水性、地熱流体性状等
地熱調査内容とそれにより得られる情報	<p>地熱地帯の広がり</p> <ul style="list-style-type: none"> 資料調査 地質、地熱、温泉に関する資料 地表調査 地質・変質帯調査結果 物理探査 重力探査、電磁探査、電気探査、弾性波探査等の結果 地化学探査 水質、ガス、地温探査等の結果 地化学調査 温泉の水質や起源に関する情報 周辺温泉・噴気・地下水等の調査 温泉湧出状況情報等 	<p>地下温度や地質の詳細情報</p> <ul style="list-style-type: none"> 地表調査 地質・変質帯調査結果 物理探査 重力探査、電磁探査、電気探査、弾性波探査等の結果 周辺温泉・噴気の状態調査やモニタリング調査 温泉湧出状況情報等 <p>地熱構造モデルが構築される。</p>	<p>地熱貯留層の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 精密地表調査 地質・変質帯調査結果 高密度物理探査 重力探査、電磁探査、電気探査、弾性波探査等の結果 地熱貯留層モニタリング調査 地熱貯留層の状況情報 温泉変動モニタリング調査 温泉湧出状況情報 噴出試験 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 圧力干渉試験結果 トレーサー試験結果 坑井間、温泉との直接的な繋がりの有無を確認 <p>地熱流動流体モデルが構築される。</p>	<p>生産・還元井掘削による調査データ</p> <ul style="list-style-type: none"> 一斉噴出試験 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 圧力干渉試験結果 トレーサー試験結果 坑井間、温泉との直接的な繋がりの有無を確認 地熱貯留層モニタリング調査 生産井・還元井のモニタリング等による地熱貯留層の状況情報 温泉変動モニタリング調査 温泉湧出状況情報 <p>地熱構造モデルや地熱流体流動モデルが更新される。 熱資源評価のための数値シミュレーション²が行われ、想定した発電事業に対する将来予測が行われる。</p>	<p>補充井掘削による調査データ</p> <ul style="list-style-type: none"> 生産・還元履歴 生産量や還元量の状況 地熱貯留層モニタリング調査 生産井・還元井のモニタリング等による地熱貯留層の状況情報 温泉変動モニタリング調査 温泉湧出状況情報 噴出試験 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 圧力干渉試験結果 トレーサー試験結果 坑井間、温泉との直接的な繋がりの有無を確認 <p>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、修正した数値シミュレーションモデル²による補充井掘削計画のための将来予測が行われる。</p>
温泉影響検討資料として利用できるもの	<ul style="list-style-type: none"> 温泉の位置分布関係 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（掘削柱状図等） 温泉の検層記録 等 	<ul style="list-style-type: none"> 観測井、温泉モニタリング結果 各種物理探査結果等による地質構造、温泉と深部貯留層の関係をとりまとめた地熱構造モデル 等 	<ul style="list-style-type: none"> 温泉影響モニタリングデータ（試験井に対する応答） 予測結果とモニタリング結果の比較 地熱構造モデルや地熱流体流動モデル 等 	<ul style="list-style-type: none"> 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 更新された地熱構造モデルや地熱流体流動モデル 等 	<ul style="list-style-type: none"> 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 更新された地熱構造モデルや地熱流体流動モデルや数値シミュレーションモデル²による評価 等

1 温泉の湧出が見込まれる場合

2 地熱調査で行われるシミュレーションについては、離れた地域にある温泉地が対象外となり、十分に取り込まれていない場合があるので留意する必要がある。

また、数値シミュレーションモデルは、現時点では資源量評価を目的とした手法で作成される。将来的に同様な技術による温泉影響評価のための手法が構築される事で、温泉変動予測に利用する事が期待される。

表3 温泉の成因と深部地熱流体の関係

温泉の分類	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
温泉と地熱貯留層の関係	地熱貯留層の深部地熱を起源とし、直接繋がっている場合	地熱貯留層から蒸気の供給を受けている場合	地熱貯留層から熱のみの供給を受けている場合	マグマから派生した高温蒸気の供給を受けている場合	温泉に地下水、深部熱水だけでなく、海水も関係しているケース
概念図					
温泉生成機構とその特徴	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を指す。温泉帯水層と地熱貯留層を隔てる不透水層が存在しないか、もしくは、断層等による構造を熱水が深部から浅部まで流動し直接繋がっているケースが考えられる。 温泉の特徴 温泉水は深部熱水に類似した水質を示すことが多い。温泉の温度は、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。深部熱水の割合が多い場合は、高温を示す。	地熱貯留層からの蒸気によって加熱されて形成された温泉帯水層を指す。 温泉の特徴 温泉水の形成に關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。	温泉帯水層と地熱貯留層は、不透水層により隔てられているが、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を指す。 温泉の特徴 日本の温泉にはこのタイプに属するものが多い。地下水が伝導熱で加熱された温泉のため泉温は一般に低く、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やガスによって地下水が加熱されて形成された温泉帯水層を指す。高温ガスには、SO ₂ やHCl等を含むため、酸性のCl-SO ₄ 型の水質の温泉が多い。 温泉の特徴 蒸気加熱型温泉の特殊なケースであり、マグマから不透水層を介さず、直接加熱されている。比較的高温を示す特徴があるが、地下水の混合割合によってかなり幅がある。	前述の温泉分類1~3のケースにおいて地下水に加えて、海水も混入しているケースを指す。温泉の水質における影響の現れ方が異なる。 温泉の特徴 海水が混入していることから元々溶存成分濃度が高い。
温泉影響の可能性	温泉へ影響する可能性が他に比べ高く、地熱貯留層の圧力低下に伴い深部熱水の供給量が減少し影響が現れることが考えられる。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。	地熱開発域が非常に近い場合、開発域で生じた圧力減少の影響によって加熱源である蒸気量や体積に変化が現れる可能性がある。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。	地熱貯留層との直接的な繋がりはない。このため、原理的には地熱開発の影響は及びにくいと考えられるが、地熱開発域が非常に近くて開発規模が大きい場合には、間接的に影響が現れる可能性がある。	温泉帯水層の加熱源である蒸気がマグマから派生し、地熱貯留層との関係がない場合は、影響は発生しない。	地熱開発地域が近い場合には、間接的に影響が現れる可能性がある。
想定される温泉への影響の現れ方	温泉帯水層に供給される深部熱水の一部が地熱発電に利用される場合 温泉水位・自噴圧力が低下する。 温泉の水位が低下することで、周辺から浅部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。 100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が蒸気化した場合、温泉帯水層の蒸気割合が増加する。 還元熱水が温泉帯水層に及んだ場合 温泉水位・圧力が上昇する。 温度や成分濃度が上昇する。	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。 温泉帯水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。 温泉水位が低下することで、周辺からの浅部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。 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。	地熱貯留層の圧力を大きく低下させてしまった場合 周辺への圧力伝播によって間接的に温泉の水位低下に連鎖する。	地熱貯留層にもマグマ蒸気が混入している場合 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、蒸気加熱型温泉と同様の影響が懸念される。	1~3の生成機構での温泉における影響が地下水で希釈されるのではなく、海水混入により高濃度化する可能性があると考えられる。
影響防止における注意点	開発対象とする地熱貯留層の周辺、もしくは、温泉帯水層周辺に観測井を配置し、地熱開発による影響圏の拡大防止、影響の早期発見に努めることなどが考えられる。	開発対象とする地熱貯留層の周辺、もしくは、温泉帯水層周辺に観測井を配置し、開発による影響圏の拡大防止、影響の早期発見に努めることなどが考えられる。	地熱貯留層の圧力監視に注意が必要。地熱貯留層からの熱水採取量が多く、圧力に大きく低下が予想される場合には、開発対象とする地熱貯留層の周辺、もしくは、温泉帯水層周辺に観測井を配置し、開発による影響圏の拡大防止、影響の早期発見に努める。	火山活動との関連性が大きいと考えられる。火山観測記録等も合わせて影響評価を行う必要がある。	成分濃度や温度変化に注意が必要である。

4 . 各段階における掘削許可の判断に係る情報及び方法等

地熱開発を目的として実施された各段階の調査結果から掘削許可の判断に関わる情報が得られる。それらの情報をもとに温泉と地熱貯留層、両者の地質構造・地熱流体流動上の関係を論じる。温泉掘削許可の判断を行うこととなる。なお、地熱開発における各段階で得られる情報は大きく異なるため、表 4-1~5 に分けて記載する。また、下記の温泉・地熱徴候には噴気帯等も含まれる。

4-1 . 広域調査段階

対象地域における資源開発の可能性を検討し、広域の範囲からより地熱資源開発の可能性が高い地域が抽出される。その抽出された地域において坑井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）が立てられる。この段階では広域の地質分布及び地質構造の概要、地熱貯留層の平面的な賦存状況、温泉の水質や起源等の特性に関する情報が得られる。

表 4-1 広域調査段階における掘削の場合（例）

調査段階	広域調査段階
想定される坑井掘削の内容	構造試錐井（温泉の湧出が見込まれる場合）
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
地熱資源調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 資料調査 ・ 地表調査 ・ 地化学探査 ・ 坑井掘削による調査 ・ 温泉・噴気・地下水等の実態調査 等
掘削許可の判断に係る情報	<p>掘削概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削位置 ・ 掘削口径 ・ 掘削深度 ・ 流体・ガス採取深度 ・ 既存温泉からの距離 等 <p>掘削目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流体・ガス採取見込量 <p>掘削計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削、調査スケジュール ・ 温泉湧出時の対策 等 <p>その他、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以下の資料があれば参考にする。</p> <p>地質情報</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地質平面図 ・ 地質断面図 <p>既存調査資料</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 学術論文等 <p>可燃性天然ガスの状況 等</p>
<p>温泉資源への影響を判断する方法</p>	<p>従来の温泉資料に加え、上記の探査資料等をもとに水平距離、垂直距離、掘削深度、採取深度等の位置関係を指標として、温泉と掘削井、温泉と地熱貯留層間の地質及び地質構造、温泉帯水層と地熱貯留層との関係等を判断する等が考えられる。</p>

4-2 . 概査段階

地熱貯留層の概略的な資源量を把握し、地熱開発の可能性が高い精査対象地域を絞り込むことを目的とした調査が行われる。各種調査結果から、温泉の湧出機構や地熱徴候の生成機構を検討し、地熱構造モデルが作成される。開発対象となる地熱貯留層と温泉・地熱徴候との関連性についての予測・検証が可能となる。

表 4-2 概査段階における掘削の場合（例）

調査段階	.概査段階
想定される坑井掘削の内容	構造試錐井（温泉の湧出が見込まれる場合） 観測井（温泉の湧出が見込まれる場合）
掘削目的	構造試錐井、観測井掘削による地下温度、地質情報の取得 観測井による地域の温泉、地下水特性把握
地熱資源調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表調査 ・ 坑井掘削による調査 ・ 周辺温泉・噴気の状態調査やモニタリング調査 等
掘削許可の判断に係る情報	<p>掘削概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 等 <p>掘削目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流体・ガス採取見込量 <p>掘削計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削、調査スケジュール ・ 温泉湧出時の対策 等 <p>その他、申請時点で得られる掘削判断の役に立つと思われる以下の資料があれば参考にする。</p> <p>温泉や地熱徴候を対象としたモニタリング結果 温泉や地熱徴候に対する地質学的・化学的考察 等</p> <p>地熱構造モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱貯留層と温泉や地熱徴候との地質構造的な関係等 <p>可燃性天然ガスの状況 等</p>
温泉資源への影響を判断する方法	調査 における判断に加えて、温泉の生成機構、広域的な地熱構造モデルによる地熱貯留層と温泉帯水層との関係、掘削期間中の既存温泉に対するモニタリング実施計画の有無等を参考に温泉資源への影響について判断する等が考えられる。

4-3 . 精査段階

地熱発電所の事業化に向けた調査段階で、試験井掘削により、実際に地熱流体の採取が行われる。これら各種調査から得られた情報により地熱資源量の評価が行われる。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、地熱流体流動モデルの予測・検討が可能となる。試験井は生産井、還元井、観測井へ転用される可能性を含んでいる。

表 4-3 精査段階における掘削の場合（例）

調査段階	. 精査段階
想定される坑井掘削の内容	<p>試験井の掘削</p> <p>観測井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p> <p>構造試錐井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p>
掘削目的	地熱発電の事業化に向けた地熱資源量の把握と温泉への影響評価
地熱資源調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 精密地表調査 ・ 坑井掘削による調査 ・ 噴出試験による調査 ・ 温泉や地熱徴候のモニタリング調査 等
掘削許可の判断に係る情報	<p>掘削概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 等 <p>掘削目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流体・ガス採取見込量 <p>掘削計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削、調査スケジュール ・ 温泉湧出時の対策 等 <p>その他、申請時点で得られる掘削判断の役に立つと思われる以下の資料があれば参考にする。</p> <p>温泉や深部熱水の地質学的・化学的考察</p> <p>温泉モニタリングによる影響監視結果</p> <p>掘削計画時までに得られた地熱流体流動モデル</p> <p>既存温泉地への影響発生に関する考察</p> <p>可燃性天然ガスの状況 等</p>
温泉資源への影響を判断する方法	調査、における判断に加えて地熱流体流動モデルにより温泉帯水層と地熱貯留層の地質構造・地熱流体流動における関係について検討し、影響

	<p>の有無を推定する。また、噴気試験の前後における温泉モニタリング結果に自然変動を逸脱するような有意な差が生じていないかを確認する。温泉資源に影響が考えられる場合には、地熱流体の採取制限等を含めた対応策を検討する必要がある。</p>
--	---

4-4 . 発電所建設段階

既存温泉や地熱徴候への影響回避を含めた地熱資源の持続可能な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既存温泉への影響評価が行われる。開発調査の進展に伴い地熱構造モデルと地熱流体流動モデルの更新、資源量評価のための数値シミュレーションの実施、モニタリングを基にした温泉や地熱徴候への影響確認が可能となる。

表 4-4 発電所建設段階における掘削の場合（例）

調査段階	. 発電所建設段階
想定される坑井掘削の内容	<p>生産井の掘削</p> <p>試験井の掘削</p> <p>還元井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p> <p>構造試験井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p> <p>観測井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p>
掘削目的	地熱流体の生産・還元と地熱資源量の把握
地熱資源調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 坑井掘削による調査 ・ 噴出試験による調査 ・ 生産井や還元井、観測井モニタリング調査 ・ 温泉や地熱徴候のモニタリング調査 等
掘削許可の判断に係る情報	<p>掘削概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 等 <p>掘削目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流体・ガス採取見込量 <p>掘削計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削、調査スケジュール ・ 温泉湧出時の対策 等 <p>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以下の資料があれば参考にする。</p> <p>掘削計画時までに更新された地熱構造モデルや地熱流体流動モデル</p> <p>既存温泉や地熱徴候を対象とした地質学的・化学的考察</p> <p>既存温泉や地熱徴候を対象とするモニタリング結果</p> <p>既存温泉への影響発生に関する考察</p> <p>可燃性天然ガスの状況 等</p>

<p>温泉資源への影響を判断する方法</p>	<p>調査、 、 における判断に加えて、新たなモニタリング結果を含む各種の情報をもとに更新された地熱構造モデルや地熱流体流動モデルから地熱貯留層と温泉帯水層の関係について検討する。また、これまでのモニタリング結果から地熱流体採取による地熱貯留層の圧力変化や地熱流体の生産・還元が与える温泉への影響を予測し、今後のモニタリング計画について精査する。</p> <p>温泉資源への影響が予測される場合には、地熱流体の生産・還元に伴う地熱貯留層に与える圧力・温度変化を検討し、その採取量や採取位置の変更に伴う温泉帯水層への影響を予測し、地熱流体採取制限等の対応策を含めた判断が必要となる。</p>

4-5 . 発電所運転開始後段階

発電所の出力維持や出力増強のための生産井や還元井の掘削が行われる。生産井や還元井以外にも追加調査のための試験井、観測井、構造試錐井が掘削される場合がある。運転開始後の生産・還元履歴や補充掘削により地熱貯留層に関する情報がさらに蓄積され、資源量評価のため数値シミュレーションが精緻化される。長期間のモニタリングデータを基にした温泉や地熱徴候への影響確認が行われ、運転開始後のモニタリング結果に基づいた上記シミュレーションの更新による影響評価が可能となる場合もある。

表 4-5 発電所運転開始後における掘削の場合（例）

調査段階	. 発電所運転開始後段階
想定される坑井掘削の内容	<p>各種坑井の補充井掘削</p> <p>生産井の掘削</p> <p>試験井の掘削</p> <p>還元井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p> <p>構造試錐井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p> <p>観測井の掘削（温泉の湧出が見込まれる場合）</p>
掘削の目的	発電所の出力維持や出力増のため
地熱資源調査の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 坑井掘削による調査 ・ 噴出試験による調査 ・ 生産井、還元井モニタリング調査 ・ 温泉や地熱徴候のモニタリングの結果 等
掘削許可の判断に係る情報	<p>掘削概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削位置 ・ 掘削口径 ・ 掘削深度 ・ 流体採取深度

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存温泉からの距離 等 <p>掘削目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 流体・ガス採取見込量 <p>掘削計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削、調査スケジュール ・ 温泉湧出時の対策 等 <p>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以下の資料があれば参考にする。</p> <p>掘削計画時までに更新された地熱構造モデルや地熱流体流動モデル</p> <p>既存温泉や地熱徴候を対象とするモニタリング結果</p> <p>既存温泉や地熱徴候を対象とする地質学的・化学的考察</p> <p>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>地熱貯留層の動態に関するシミュレーション結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉資源や噴気を含めたシミュレーション結果 <p>可燃性天然ガスの状況 等</p>
<p>温泉資源への影響を判断する方法</p>	<p>調査、 、 、 における判断に加えて、蓄積されてきたモニタリング結果を含む各種の情報をもとに更新されたモデル、シミュレーション結果から地熱貯留層と温泉帯水層の関係を検討する。また、各種モニタリング結果から、地熱流体の生産・還元が与える温泉への影響を予測する。温泉や噴気を含めた数値シミュレーションが必要とされる場合にはこれまでの各種モニタリング結果が十分再現できているか、将来的にどの程度の変動が予想されるか等その結果も考慮する。</p> <p>温泉資源への影響が予測される場合には、地熱流体採取制限等の対応策を含めた判断が必要となる。</p>

第四 関係者に求められる取り組み等

本ガイドラインは、地熱開発のための温泉の掘削等について、今後、都道府県が本ガイドラインを参考に温泉法における許可制度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発電事業者等の関係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ことが予想されるが、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、関係者間の参考となることを期待する。

温泉事業者、地熱発電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に対する影響については、それらのモニタリングばかりでなく、影響要因となる地熱流体採取に伴う地熱貯留層の温度、圧力、採取量の変化や地震等についてのモニタリング、地表水や地下水、降水等のモニタリング、温泉地や噴気帯、地熱開発地域周辺における状況把握、モニタリングも重要である。これらのうち、温泉や噴気、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将来的に構築されと考えられる温泉影響予測のための数値シミュレーション手法等の基礎データとしても活用される重要なデータとなり、また、双方の周辺域における状況把握、モニタリング等は影響の拡大を早期に発見し、周辺地域の土木工事や環境変化が及ぼす影響を確認するうえでも重要なデータとなりうる。

温泉についてのモニタリングは、自噴源泉では圧力、動力源泉では水位が最も重要な監視項目である。地熱貯留層の適正管理にとって、重要な指標は地熱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。

温泉のモニタリング手法については、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。

情報の共有・公開

地熱開発による温泉への影響を判断する前提として、温泉相互間の影響についてモニタリング等により把握しておくことが重要である。その上で、地熱開発による温泉への影響を判断するには、温泉や噴気についての湧出量、化学組成等のモニタリングデータ、観測井等から得られる地下水水位の季節変動等のモニタリングデータ、地熱貯留層について生産井等から得られる地熱流体の温度や圧力のモニタリングデータ、土木工事の状況等の様々な情報を総合し、温泉や噴気に何らかの影響があった場合に地熱発電施設の運転状況と関連するのか、自然現象や工事等の他の要因によるものであるのかを、モニタリングデータにより検証することが必要である。また、あらかじめ地熱井からの採取量を増加させた場合、又は減じた場合において、温泉や噴気にど

のような影響が生じるかを検討することも有効である。

温泉事業者と地熱発電事業者による各種調査結果については、情報の共有化と情報公開を進めていくことが重要である。また、必要に応じてモニタリングをはじめとする調査結果について、信頼性向上のため第三者機関等による検証を行うことも考えられる。

こうした情報の共有等を行うために地熱発電事業者、温泉事業者及び関係する市町村等の第三者を加えた場(以下、本ガイドラインでは「協議会等」という。)を設置し、定期的を開催することが考えられる。

関係者間の合意形成（協議会等の設置）

地熱開発と温泉事業が共存・共栄するためには、協議会等において地熱開発に伴う温泉や噴気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等の説明・報告等を通じて、関係者間の合意形成を図っていくことが重要である。協議会等は、地熱資源開発の過程のなるべく早い段階から設置することが望ましい。

例えば、掘削を伴わない広域調査の段階であっても、調査目的と調査内容、今後の坑井掘削等の調査スケジュール等の情報を事前に関係者と共有し、調査結果に基づく地熱開発の続行、断念等の対処方針についても示すことで、関係者間相互の信頼醸成に役立つことが考えられる。

また、関係者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、地域の地熱資源のカスケード利用をはじめとする有効活用や保護対策(観測井設置等)温泉資源への影響が生じた場合の対応についての事前の合意形成等に係る協議を行うこと等が考えられる。また、相互理解を進めるため、温泉と地熱の科学的関係を内容とするセミナーの開催等を行うことも考えられる。

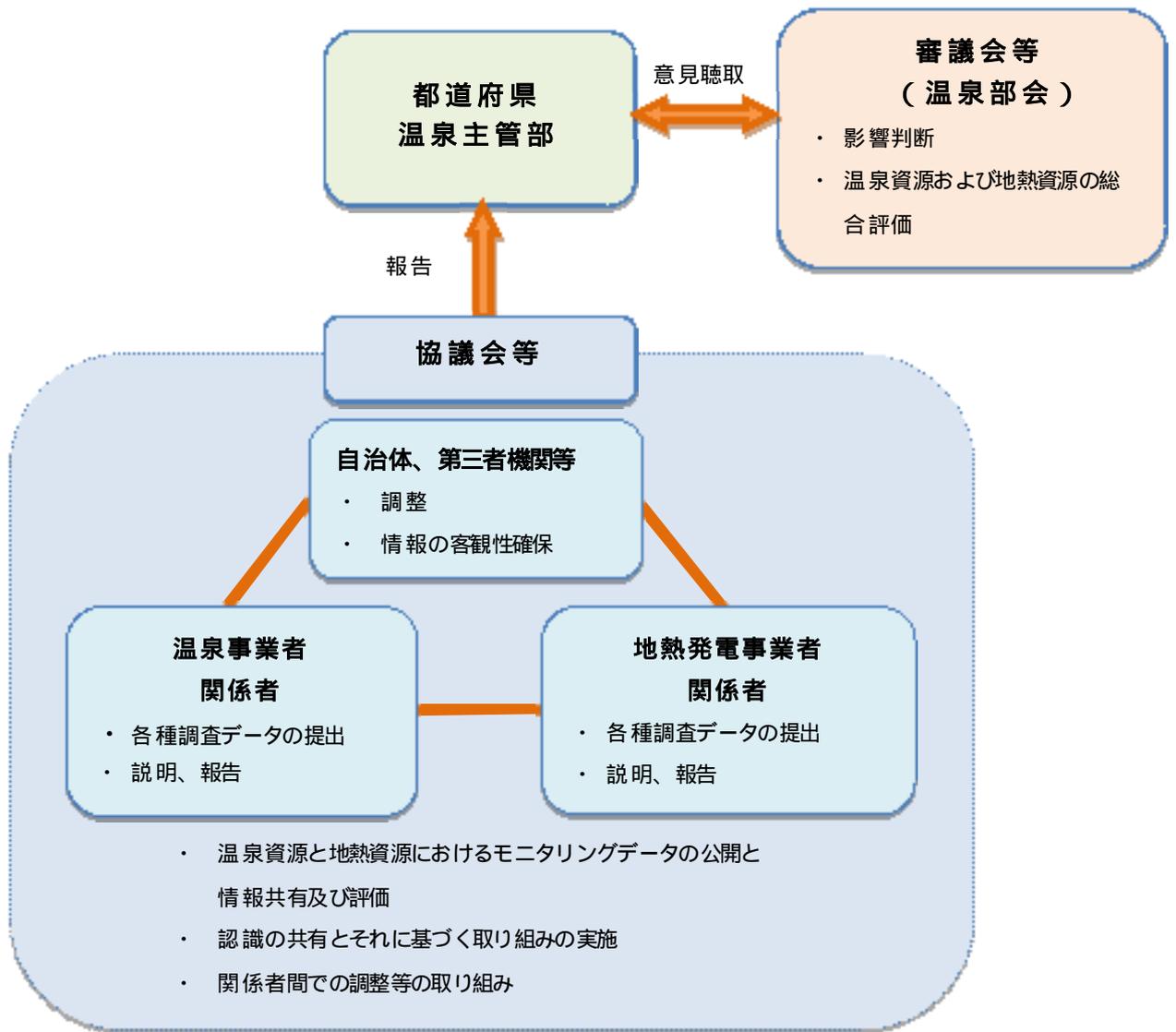


図 4 協議会体制の構築例

備考

- 平成 23 年度地熱発電施設における自然公園の風致景観上の支障並びに温泉資源・地下水に及ぼす影響の検討事業委託業務請負：株式会社プレック研究所
地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討業務：財団法人中央温泉研究所
(共同事業実施)
地熱技術開発株式会社
(協力会社)
- 同請負業務における検討会 (地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討会) 委員
秋田藤夫 地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所環境資源部部長
板寺一洋 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員
江原幸雄 国立大学法人九州大学大学院工学研究院 教授
交告尚史 国立大学法人東京大学大学院公共政策学連携研究部 教授
小林哲夫 国立大学法人鹿児島大学大学院理工学研究科 教授
座長 田中 正 国立大学法人筑波大学 名誉教授
野田徹郎 独立行政法人産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門 顧問
(役職は平成 23 年度当時のもの)
- 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，1443p .
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
との共生を目指して，日本地熱学会，62p .
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，94p .
犬山文孝・島田寛一・鴫田洋行・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, 25～61.
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，287p .
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，99p .
公益社団法人日本地下水学会編 (2011) : 地下水用語集，理工図書，143p .
経済産業省 資源エネルギー庁 (2010) : 平成 22 年度電力供給計画の概要，38p .

別紙 1

- ・ 地熱資源開発に係る地下の流体モデル・指標の構築と再現性の検証結果