

## 地熱開発における行為の概要

### 1. 地表調査

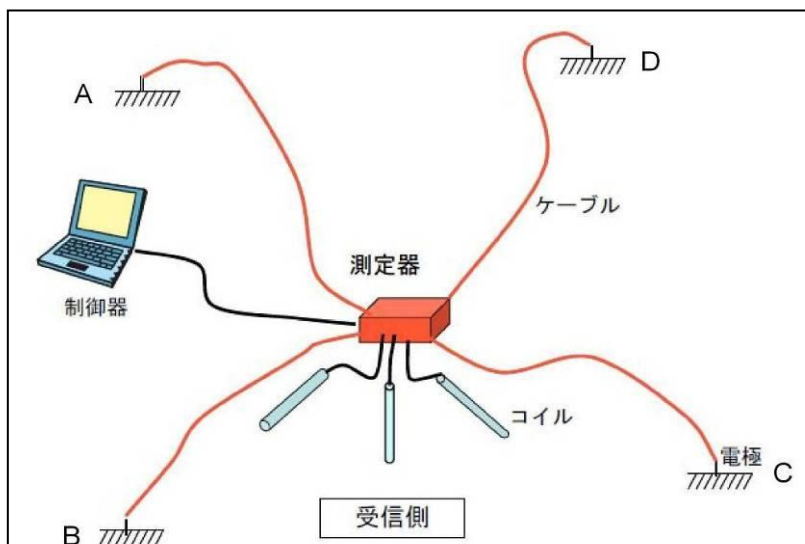
#### (1) MT 法電磁探査

自然界に存在する電磁波を測定し、地下の比抵抗値を取得することにより、地下の地質構造を推定する方法。

＜MT 法電磁探査の使用機器の一例＞

機器名	仕様等	使用数量	外観
受信器 (測定器)	寸法：35×35×15cm 機能：磁場 3 成分、電場 2 成分のデータ取得	1	
制御器	パーソナル・ コンピューター	1	
コイル	長さ：1.42m 直径：0.06m	3	
電極	長さ：0.08m 直径：0.09m	4	

※使用数量は各測点ごと  
※いずれも人の手で運搬可能



※人力で地表面に穴を掘り、小型測定器を設置し、電磁波を測定。  
※電線が風で揺れないための措置として下草等を刈り取る場合あり。(木竹の伐採なし)

電線の敷設状況



電線と受信機の設置状況



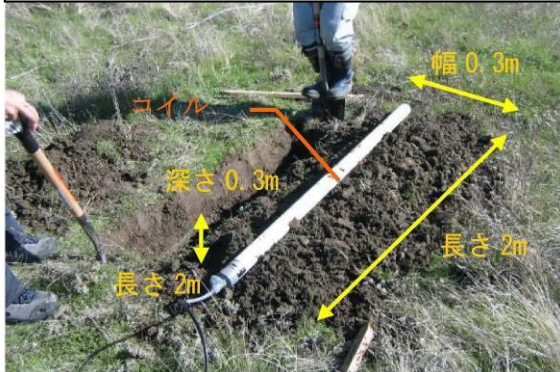
埋設前の状況



埋設後の状況



コイルの埋設状況



埋設後の状況



※測定期間は 1~2 晩程度。

コイル埋設場所の埋め戻し後



測定機器の撤去後



## (2) 重力探査

重力計を用いて、調査地点において重力を測定することにより、地下の密度分布を求め、地下構造を調べる調査方法。

<重力計>



重力計は 15cm×15cm×20cm 程度。

三脚を設置し、アンテナと本体を取り付けて GPS 測量を実施。アンテナ直下に専用台を設置し、その上に重力計を載せ測定。(40 分~1 時間程)

<GPS>



<重力探査測定状況>

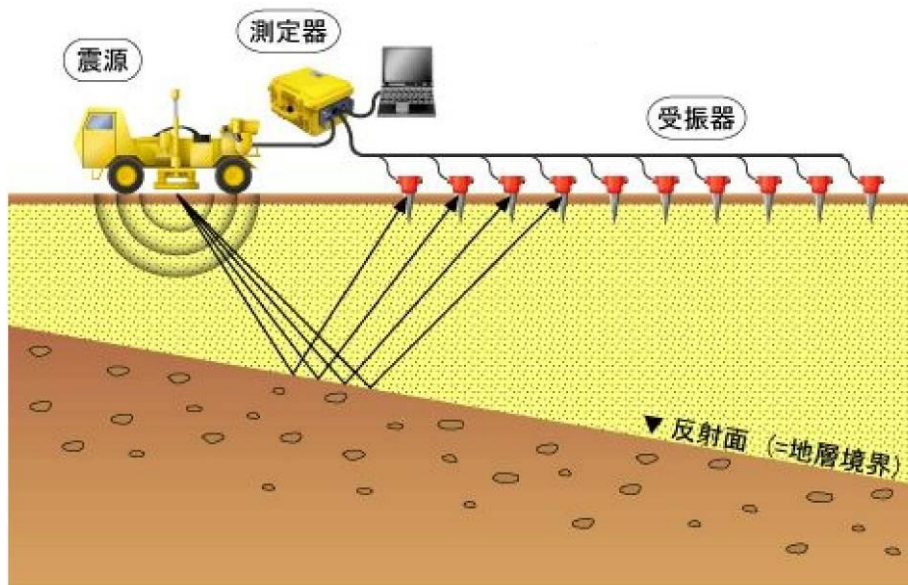


## (3) 反射法地震探査

起震車やダイナマイトなどの人工震源を用いて地表付近で発振を行い、速度や密度が変化する地層境界面からの反射波を計測・解析し、地下構造を探査する手法。

ダイナマイトを使用する場合、深度 1~数 10m の坑井を掘削して埋設する。

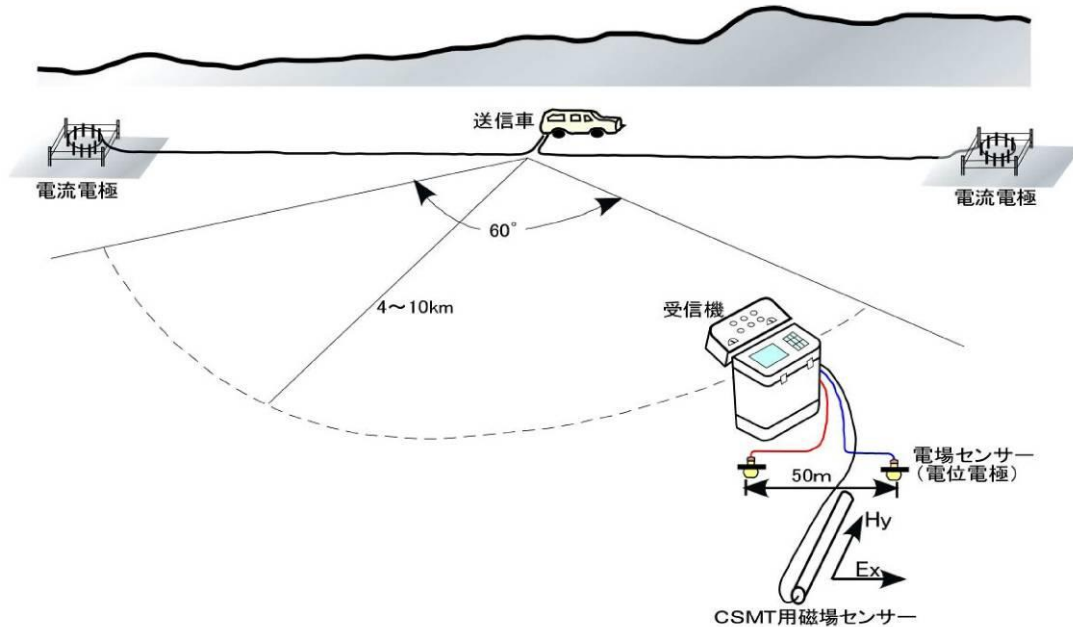
<調査の概念図>



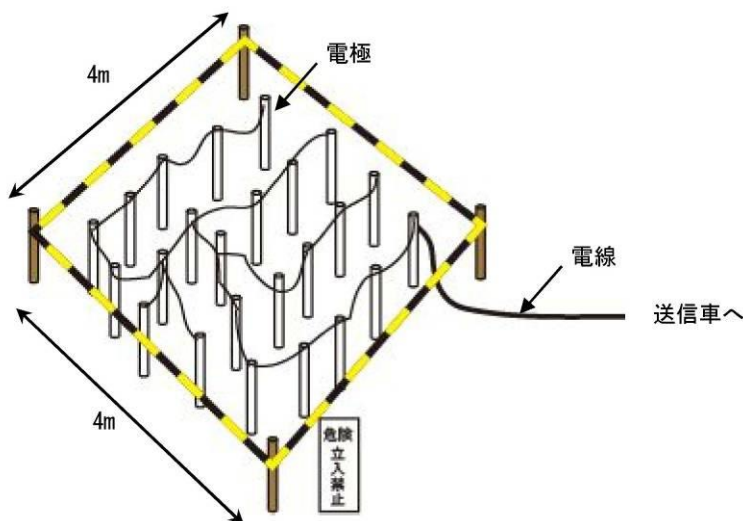
#### (4) CSMT 法電磁探査

調査地点から 4~10km 離れた地点に送信源を設け人工的に地面に電流を流し、それによって発生した電場と磁場を調査地点において測定する方法。

＜調査の概念図＞



＜電流電極の概念図＞



＜電流電極の設置例＞

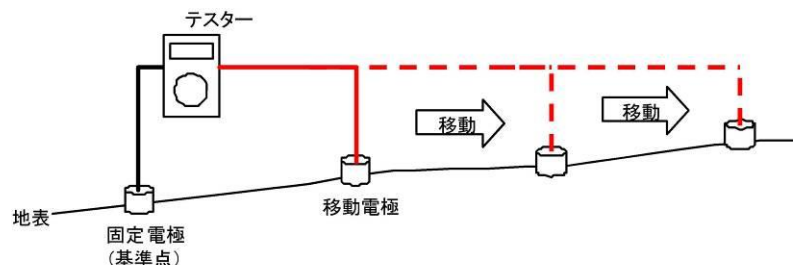


- ・電流電極は 4m×4m 程度の範囲の敷地に、長さ 1m、直径 1cm のステンレス製の棒（電極）を 50cm~1m 間隔で 30~40 本打ち込む。
- ・2ヶ所の電流電極からの電線を送信車まで道路沿いに敷設し、送信機に接続（電線敷設長は約 1km）。
- ・調査期間は約 20 日間。1 名送信車に待機。
- ・調査終了後、電流電極と電線を撤去し、電極の打ち込みで穴が生じた場合は埋め戻しを実施。
- ・立木の伐採は行わない。

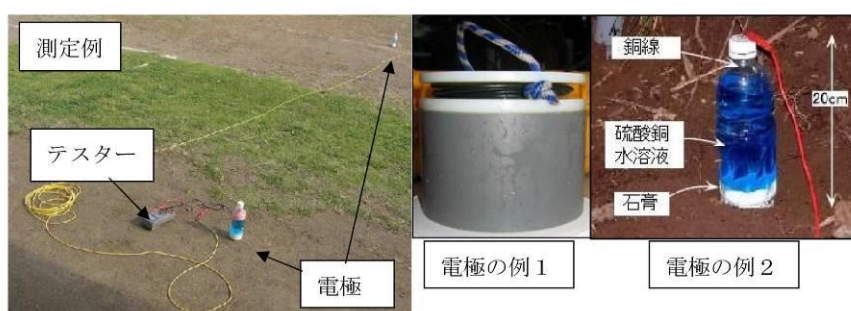
### (5) 自然電位探査

地下水流動を反映する自然電位を測定し、地下に熱源のある地熱地域などで、熱水流動を推定する方法。

#### <基準点との直流電位差を順次測定>



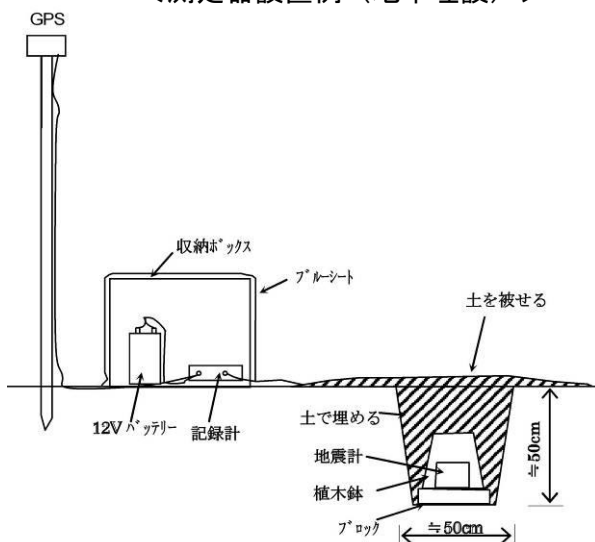
#### <測定例>



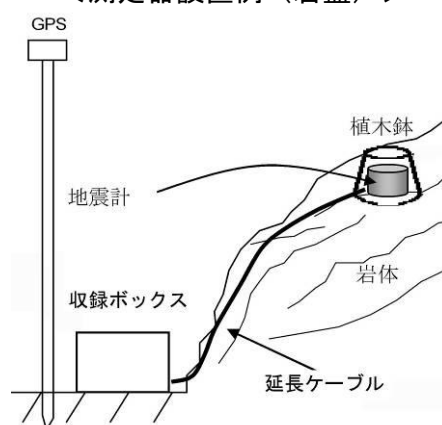
### (6) 微小地震観測

できるだけ小さな地震までを観測して、地震活動の監視のみならず地下構造や地熱資源を調べる方法。

#### <測定器設置例（地中埋設）>



#### <測定器設置例（岩盤）>



- 地震計は径 20cm、高さ 20cm 程度、防護用鉢は径 25cm、高さ 25cm 程度、収録器（収納ボックス）は 60cm×80cm×50cm 程度。いずれの機材も、人の手で運搬可能。
- 観測点の占有面積は 1m<sup>2</sup> に満たない程度。
- 地震計からの信号は数 mV 以下のため、感電の危険なし。
- 調査終了後は、現状復旧。

※「1. 地表調査」の記述内容や図、写真については中田委員作成資料（2011.9.9）を参考、抜粋。

## 2. 坑井掘削

### (1) 敷地の造成、道路の造成、淡水の使用

- ・ 基地 1 箇所あたり面積 2,500m<sup>2</sup> 程度の敷地、およびアクセス道路を造成。
- ・ 工事期間は、概ね半年以内。

・ 敷地・道路の造成工事	60～90日
・ 掘削機械の組み立て工事	20～30日
・ 掘削工事 2,000m 級深度	60～80日
・ 掘削機械の解体工事	約 20日
・ 敷地復旧工事	約 30日



- ・ 本写真の事例は、既に噴出試験が実施され、坑口のみ残置されている。
- ・ 周辺の地表部は橋建設のためにコンクリートで固められている。
- ・ 注水試験に使用するための淡水を得るため、貯水池が設置されている。

### (2) 櫓の建設

- ・ 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。しかし、小口径の試験井や構造試錘井、観測井の場合は一般的に高さ 30m 程度。

#### < 坑井掘削の状況 >

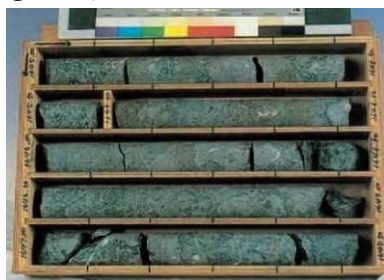
◎掘削機と櫓



◎ケーシングパイプ (坑壁を保護)



◎コアサンプル



※出典：「地熱開発の現状」2008.11 NEDO

<坑井掘削の行為の内容>

**<掘削の方法>**

**掘削**

掘り具(ドリルパイプ、ドリルカラー)の先にビットを取り付け、掘り具を吊り下げてケーリーを地上で回す。この時、泥水ポンプを使って泥水を循環し、掘り屑を地上に排出する。傾斜掘削の場合は、途中で目的の方向に井戸を曲げ(キックオフ)、ターゲットに向かって掘る。

3~4回 繰り返す

**ケーシング・セメンチング**

途中まで掘ったらケーシングパイプを挿入し、その回りをセメントで固める。

**最終段掘削**

割れ目(生産or還元ゾーンになる)に当てる。

**坑井仕上げ**

孔明管を挿入し坑口装置(主弁等)を取り付ける。

**<ケーシング・セメンチングの目的>**

- ★掘削中の逸泥・崩壊を防止。
- ★生産中の浅部冷水流入防止、還元中の浅部熱水流出防止。

※出典：三菱マテリアル（株）資料

<坑井掘削の機器全体配置>

**主要機器リスト**

1. ドローワークス
2. マスト
3. クラウンブロック
4. フックブロック
5. スイベル
6. ロータリ
7. ドライグループ
8. 同上用エンジン
9. サブストラクチャ
10. 主マッドポンプ
11. 同上用エンジン
12. 副マッドポンプ
13. ケリー
14. ケリードライブ
15. スタンドパイプおよびマニホールド
16. ロータリホース
17. パイプハンドリング機器 (エレベータ、トング、スリッパ等)
18. ウェイトラインシクター
19. テッドラインファン
20. エアコンプレッサ(制御用エア)
21. シェルシェーカー
22. シェーカータンク
23. スベアタンク
24. サクションタンク
25. テサタ
26. 同上用ポンプ
27. マッドクーリングタワー
28. 同上用ポンプ
29. 冷却水タンクユニット
30. パイプラック
31. センターラック
32. マッドリザーブタンク
33. ウォータータンクユニット
34. 燃料タンクユニット
35. 発電機セット

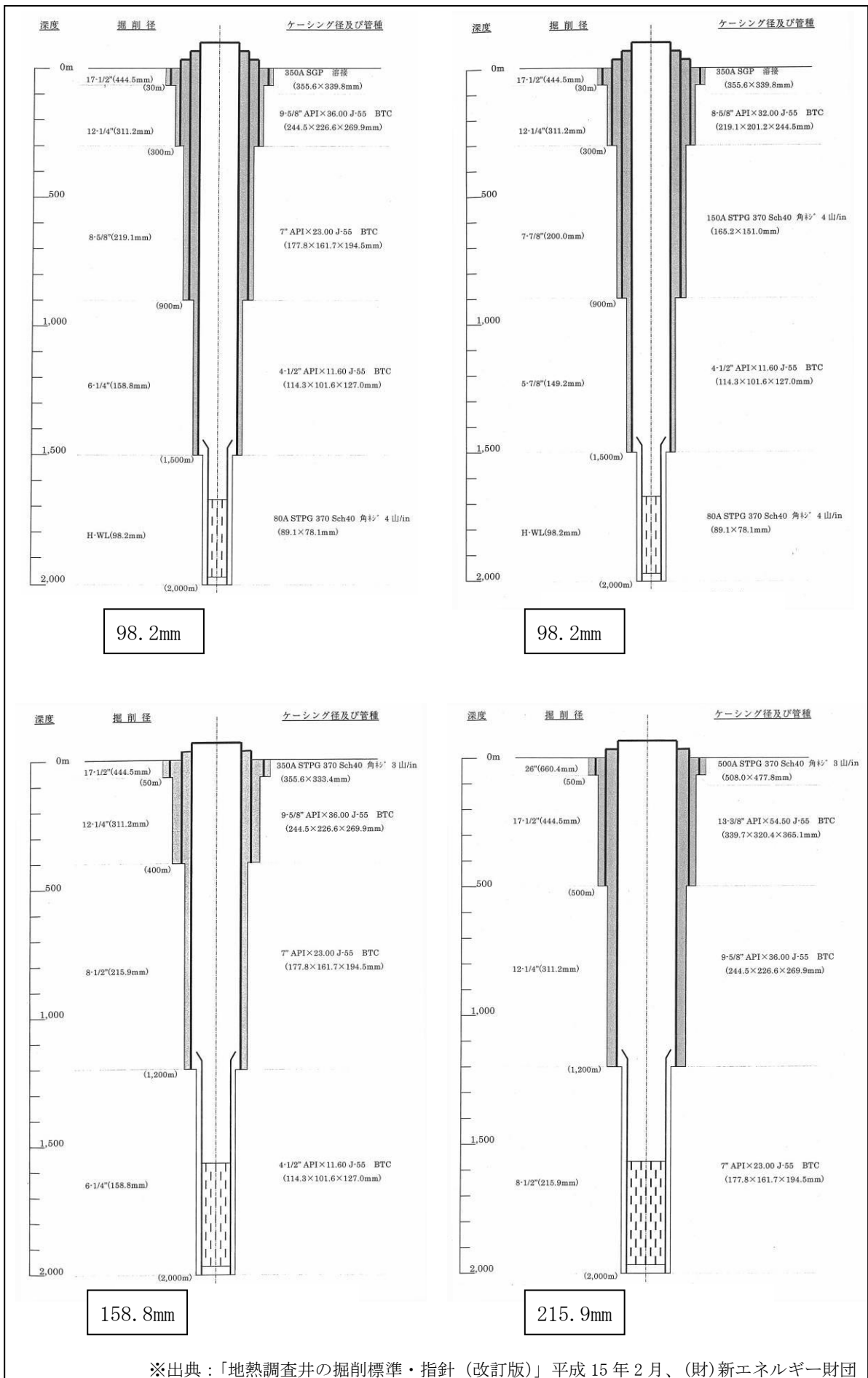
※ 照明機器  
※ 配管および配線 (配水、水、エア、燃料、電気)

※印の機器は空中に搭載されています

- ※ 過熱防止装置
- ※ ケリーコック
- ※ ケリースピナ
- ※ 電動ホイスト
- ※ エアコンプレッサ(リグサービス)
- 36. ワークラインおよびサンドライン
- 37. マッドアナライザ
- ※ デシタタ
- ※ マッドミキシングポンプ
- ※ マッドミキシングタンク
- 38. フローアウトアラーム(BOP)
- 39. 同上用クローリングユニット
- 40. ドリルパイプ
- 41. ドリルカラー
- ※ スタビライザ
- ※ スチールアッシング
- 42. ドッグハウス
- 43. ツールハウス
- 44. ケミカルハウス
- 45. ホットラック
- ※ 計測機器 (ポンププレッシャージャージ、フローレートメータ等)
- ※ フラッシングツール
- ※ 補助機の機器
- ※ セメンチング機器

※出典：(社) 全国ボーリング技術協会資料

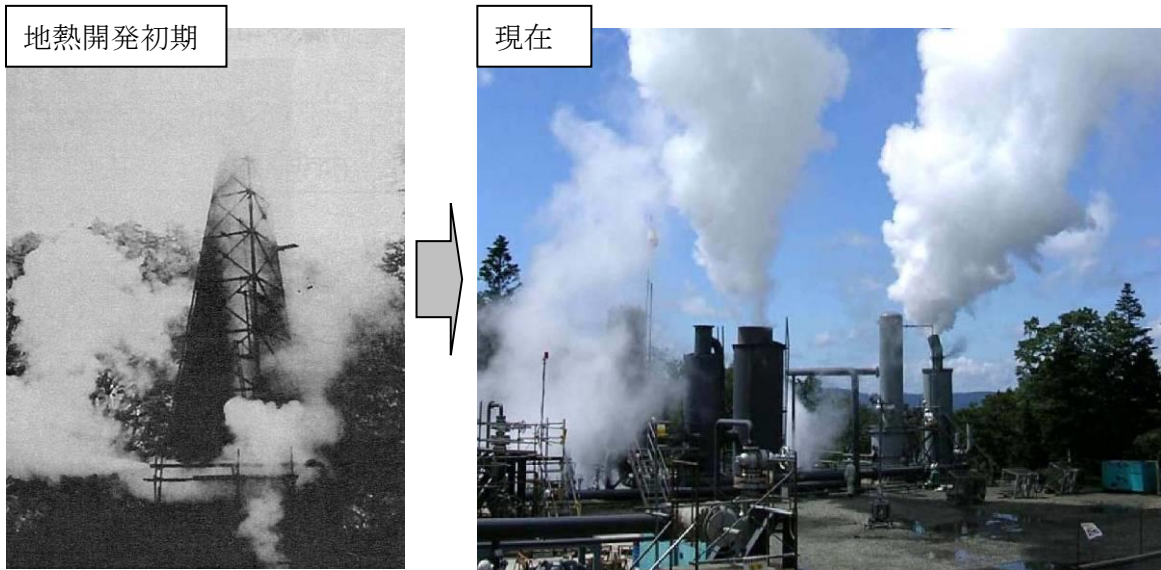
＜掘削坑径とケーシングサイズ（2,000m級の例）＞





### (3) 噴気試験の実施

- ・噴気試験により蒸気を大気開放。



写真の出典：「地上環境に配慮した開発技術等について」  
2009. 1. 30 第 2 回地熱発電に関する研究会 資料 5  
地熱技術開発(株)中田晴弥

※数日間で坑井特性を把握する短期噴気試験と、1～6 ヶ月かけて挙動を観測する長期噴気試験がある。長期の場合は、周辺坑井の挙動や近隣の温泉等へ影響がないかモニタリングを実施。  
※近年では、サイレンサーを通して乾いた蒸気のみ大気開放されるため、騒音および熱水飛散は軽減。このため、樹木への着氷被害もみられない。熱水は還元井で地下へ戻す。

#### <参考> 過去の噴気試験

- ・坑井の主弁から熱水混じりの蒸気を噴出させる「直上噴気」が行われていたため、流体性状によっては騒音、周辺植生域への熱水飛散、樹木への着氷被害などが発生。
- ・大沼地熱発電所の例では、噴井の風下側では 100m 以内のカラマツ植栽やチシマザサ等が枯死、100～150m の距離にあるブナ林はほとんど枯死、さらに 200m の距離までブナの枝の枯死等が確認されたという報告あり。





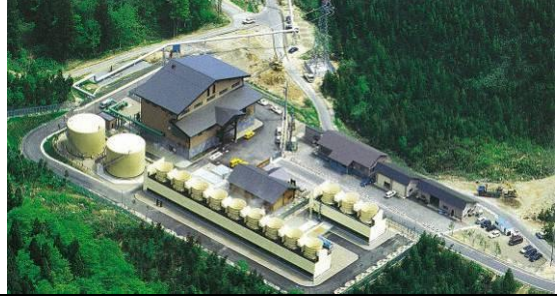



※影響を受けた樹木は伐採され事後カラマツを植栽

※出典：日本自然保護協会第 42 号「十和田八幡平国立公園 後生掛地区地熱発電所計画に伴う学術調査報告」1972 年 3 月、(財) 日本自然保護協会

### 3. 発電所施設

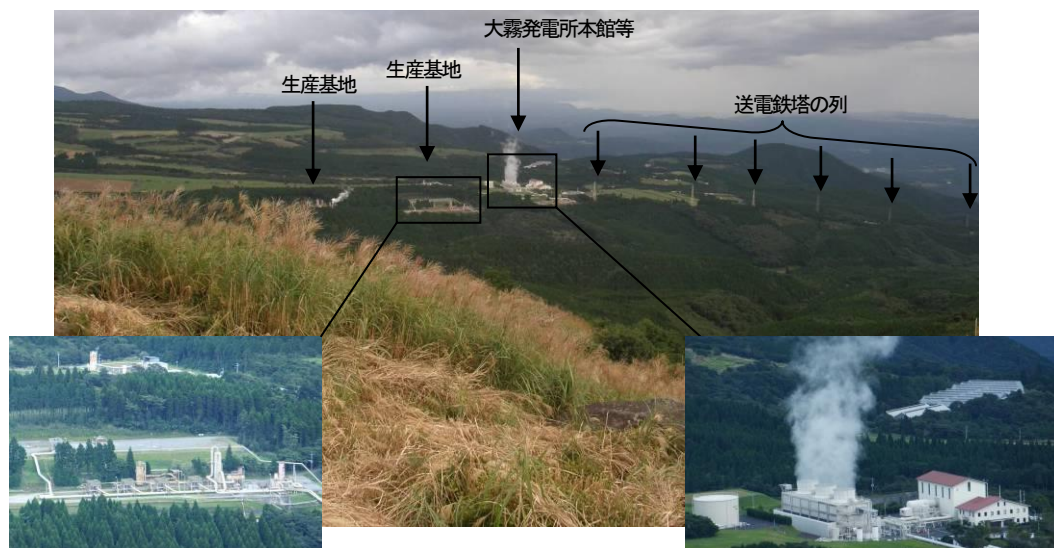
#### (1) 発電所全体（施設群）

比較的新しい主な発電所を以下に示す。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ている。

<p>澄川地熱発電所（認可出力 50,000kW）</p> 	<p>柳津西山地熱発電所（認可出力 65,000kW）</p> 
<p>上の岱地熱発電所（認可出力 28,800kW）</p> 	<p>滝上発電所（認可出力 27,500kW）</p> 
<p>大霧発電所（認可出力 30,000kW）</p> 	<p>山川発電所（認可出力 30,000kW）</p> 





※写真出典 澄川・柳津西山・上の岱：東北電力(株)パンフレット  
 大霧・山川：九州電力(株)パンフレット  
 滝上：NEDO「地熱開発の現状」

※参考：国立公園内の眺望地点から発電所全景が眺望される例



(2) 発電所の各施設について

<p>建屋 (山川)</p> 	<p>建屋 (内部) (大霧)</p> 
<p>冷却塔 (大霧)</p> 	<p>復水器 (大霧)</p> 
<p>原水タンク (山川)</p> 	<p>気水分離器 (滝上)</p> 
<p>サイレンサー (山川)</p> 	<p>配管 (大霧)</p> 

<p>送電鉄塔 (大霧)</p>	<p>変圧送電設備 (大沼)</p>
	
<p>調整池 (大霧)</p>	<p>道路 (大沼)</p>
	

(3) 坑井について

<p>生産井の坑口 (滝上)</p>	<p>生産井の坑口 (大沼)</p>
	
<p>還元井の坑口 (滝上)</p>	<p>還元井の坑口 (大霧)</p>
	

(※環境への影響軽減に係る地下還元の考え方)

- 地下への還元は、熱水中に含まれる様々な物質が地下に注入されることを意味しており、また人為的に特定の地点へ還元されることで、地下水脈に影響を与えることは避けられない。
- しかし、地下還元は、もともと地下に存在した熱水や物質について、一度地表部へ移動させてはいるが、もとの地下の層に戻す行為である。
- また、地下から汲み上げる地点（生産井の坑底）と地下へ戻す地点（還元井の坑底）は異なる場所であるが、地熱資源の循環利用の観点から、還元された熱水は、また生産井の坑底へ可能な限り導かれるように工夫されている。
- 一方で、還元をせずに地下から熱水を汲み上げ続けた場合、地熱資源を枯渇させてしまうのみならず、地表部の噴気現象の減少や地盤沈下などを招くことが考えられるほか、排水が周辺環境に及ぼす影響（砒素等の排出、水域の水温の変化等）は非常に大きなものが想定される。
- よって、地熱発電が地下の資源に頼った方法である以上、汲み上げた熱水は地下に還元する方法が、現時点では環境保全上最も望ましいものであると考えられる。

(4) 地熱発電所の属性

- 地熱発電所の標準的な属性について、以下に示す。平成 22 年度に各発電所へのヒアリングを行い、開発規模と主な属性の関係が把握されたものである。

<既設発電所の現状>

	発電所名	敷地面積 (ha)	認可出力 (kW)	最大電力 (kW)	蒸気量 (t/h)	生産井		還元井		備考
						本数	掘削深度(m)	本数	掘削深度(m)	
1	森	20.97	50,000	18,000	151	10	736 ~ 3,250	10	498 ~ 2,383	○
2	大沼	2.75	9,500	7,300	75	7	1,397 ~ 2,030	3	636 ~ 1,200	○
3	澄川	18.82	50,000	47,700	257	9	1,552 ~ 2,512	13	1,104 ~ 2,449	◎
4	松川	10.83	23,500	17,500	90	11	859 ~ 1,600	0	—	◎
5	葛根田 1 号	6.74	50,000	20,200	183	16	350 ~ 1,820	17	350 ~ 2,000	◎
6	葛根田 2 号	11.17	30,000	18,000	170	7	1,763 ~ 3,003	16	461 ~ 2,000	◎
7	上の岱	9.14	28,800	26,800	175	12	1,003 ~ 2,228	3	1,094 ~ 1,850	◎
8	鬼首	13.93	15,000	15,200	150	9	350 ~ 1,445	8	606 ~ 800	◎
9	柳津西山	24.77	65,000	54,100	382	20	1,560 ~ 2,699	2	1,459 ~ 2,506	◎
10	八丈島	1.15	3,300	2,491	24	1	1,650	1	82	◎
11	八丁原 1 号	37.29	55,000	54,860	357	9	759 ~ 2,308	6	1,350 ~ 1,903	○
12	八丁原 2 号	154.23	55,000	54,830	291	9	1,050 ~ 3,031	4	1,123 ~ 1,903	○
13	八丁原バィラー	—	2,000	2,020	15	1	1,700	—	—	○
14	大岳	15.32	12,500	11,980	106	4	372 ~ 1,562	5	565 ~ 1,501	○
15	滝上	41.84	27,500	24,850	266	6	1,104 ~ 2,707	8	1,339 ~ 2,811	○
16	大霧	29.76	30,000	29,600	253	12	987 ~ 3,097	4	808 ~ 1,598	○
17	山川	15.78	30,000	17,500	99	7	1,800 ~ 2,105	9	990 ~ 2,505	○

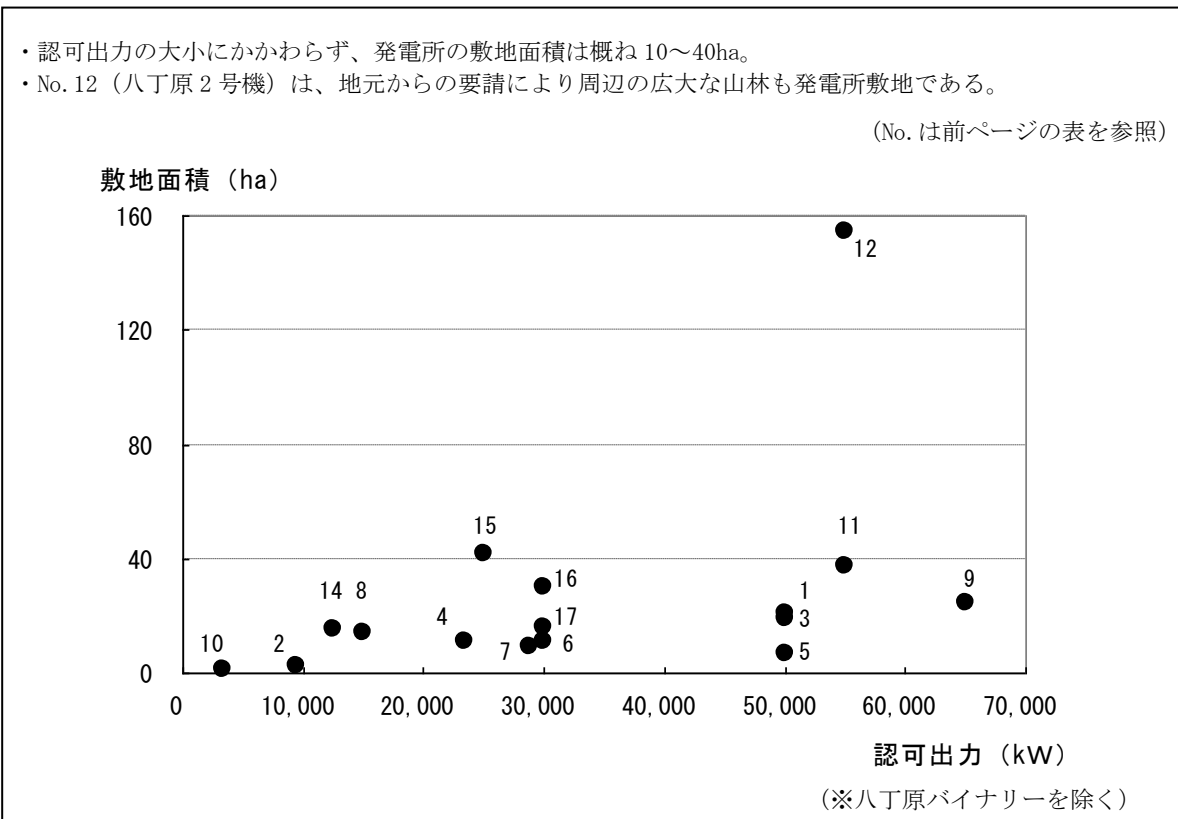
※すべての事業用発電所と大沼を対象とした。

※滝上では H22. 6. 16 に認可出力を 25,000kW から 27,500kW へ変更。

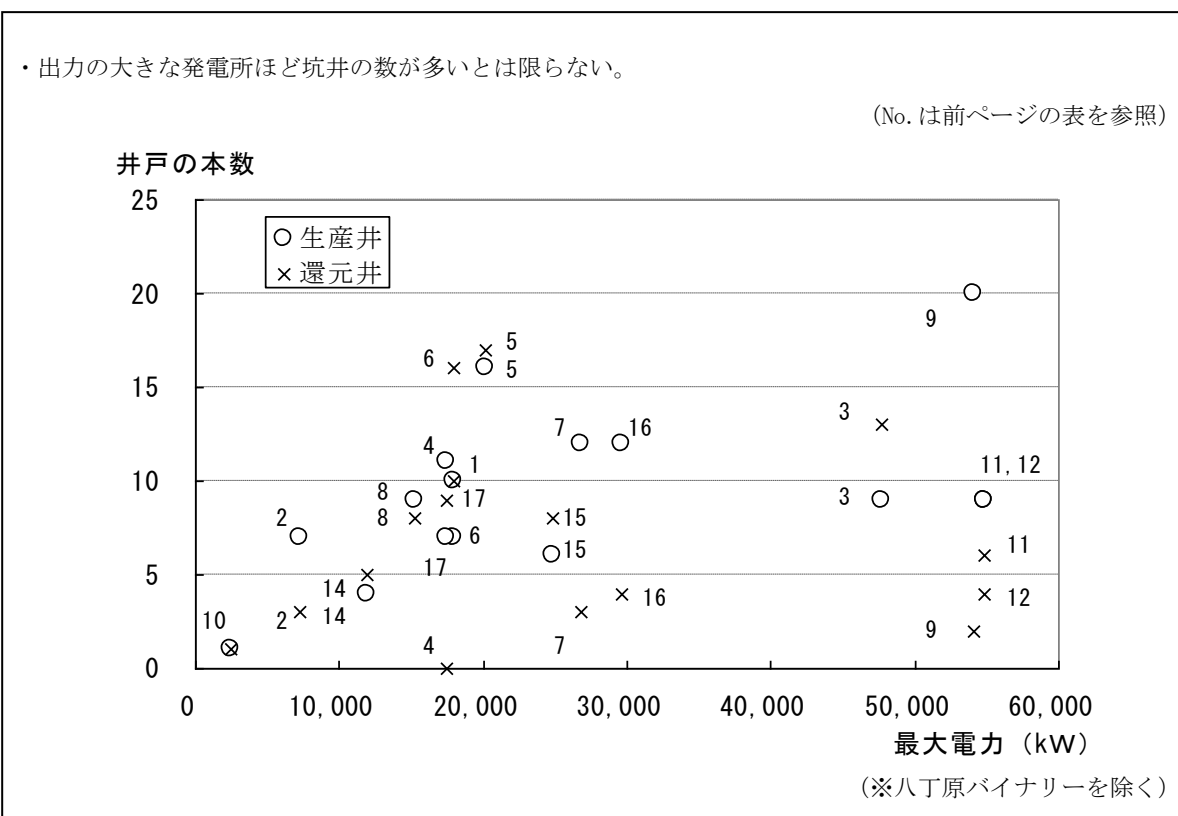
※ダブルフラッシュ方式（森、八丁原）の蒸気量は、一次蒸気のデータ。

※備考欄の○は 20 年度のデータ、◎は 21 年度以降のデータを用いたことを示す。

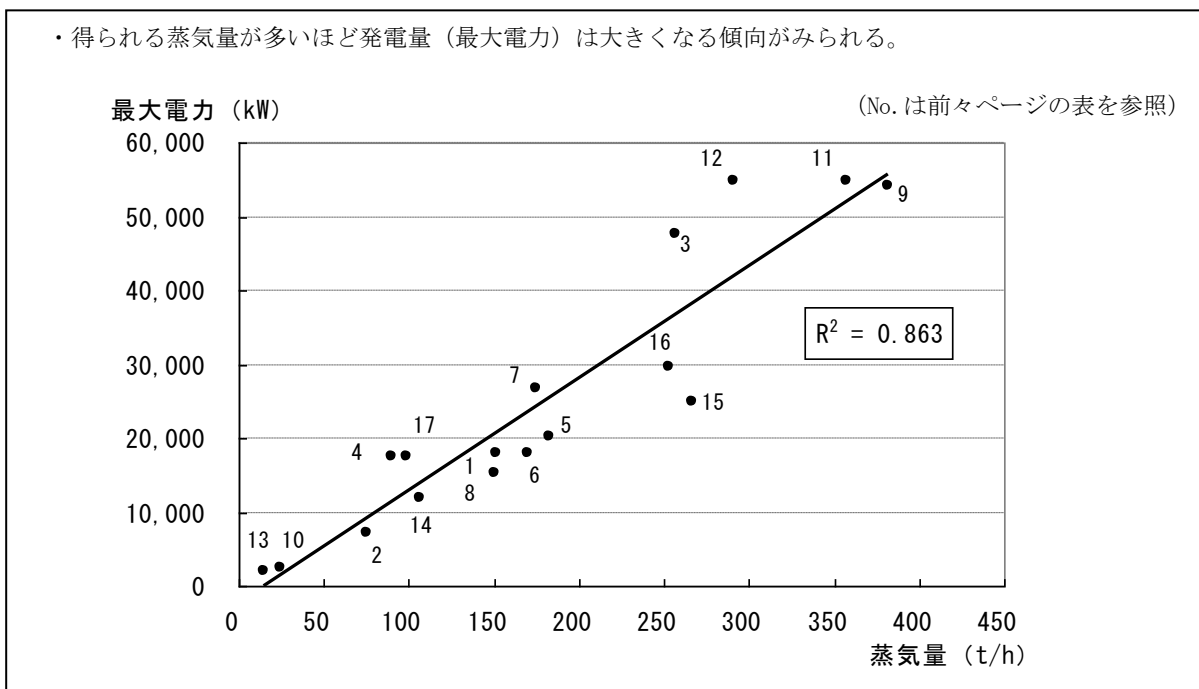
<発電規模と敷地面積の関係>



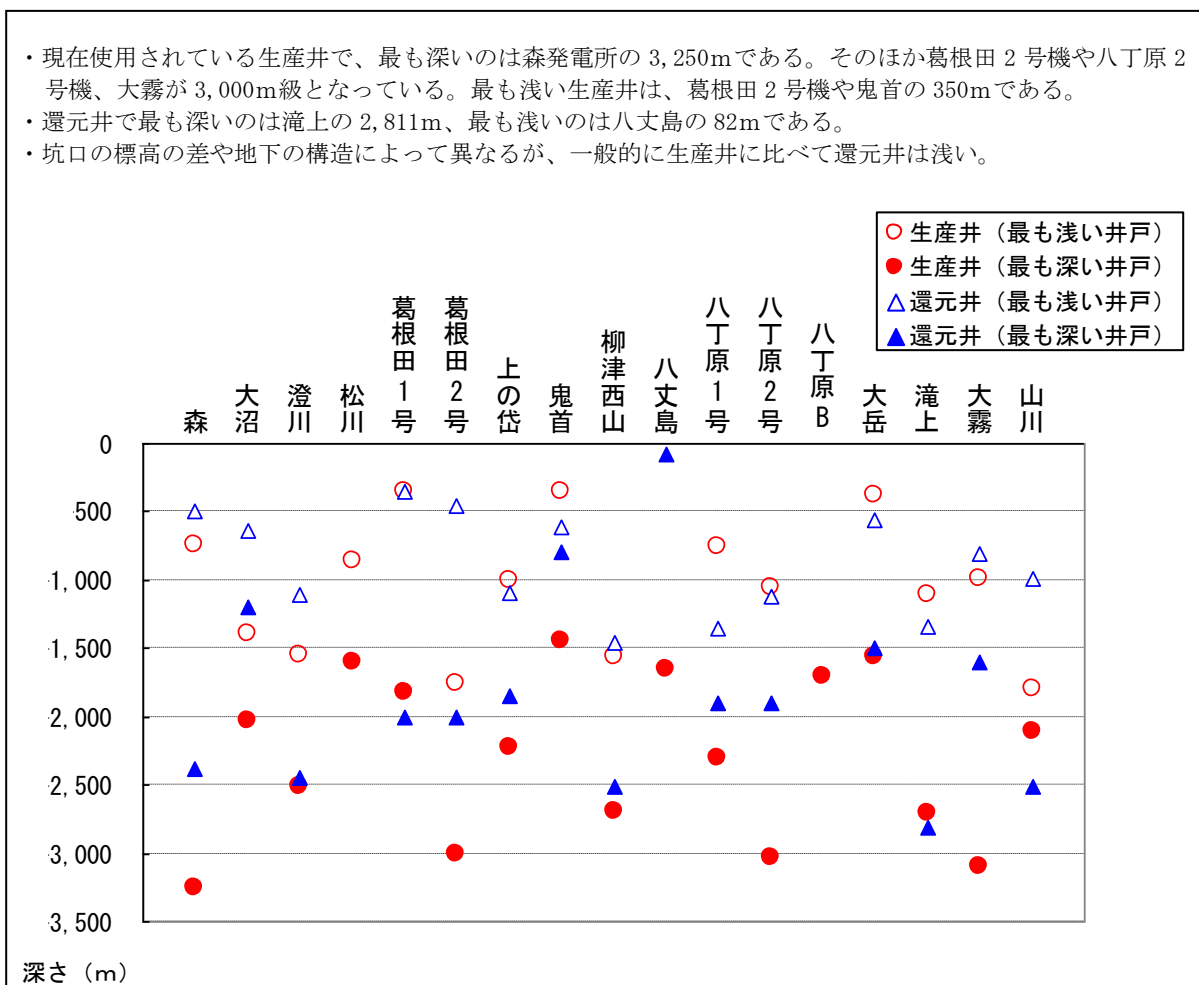
<発電所の規模と坑井の本数の関係>



<最大電力と蒸気量の関係>



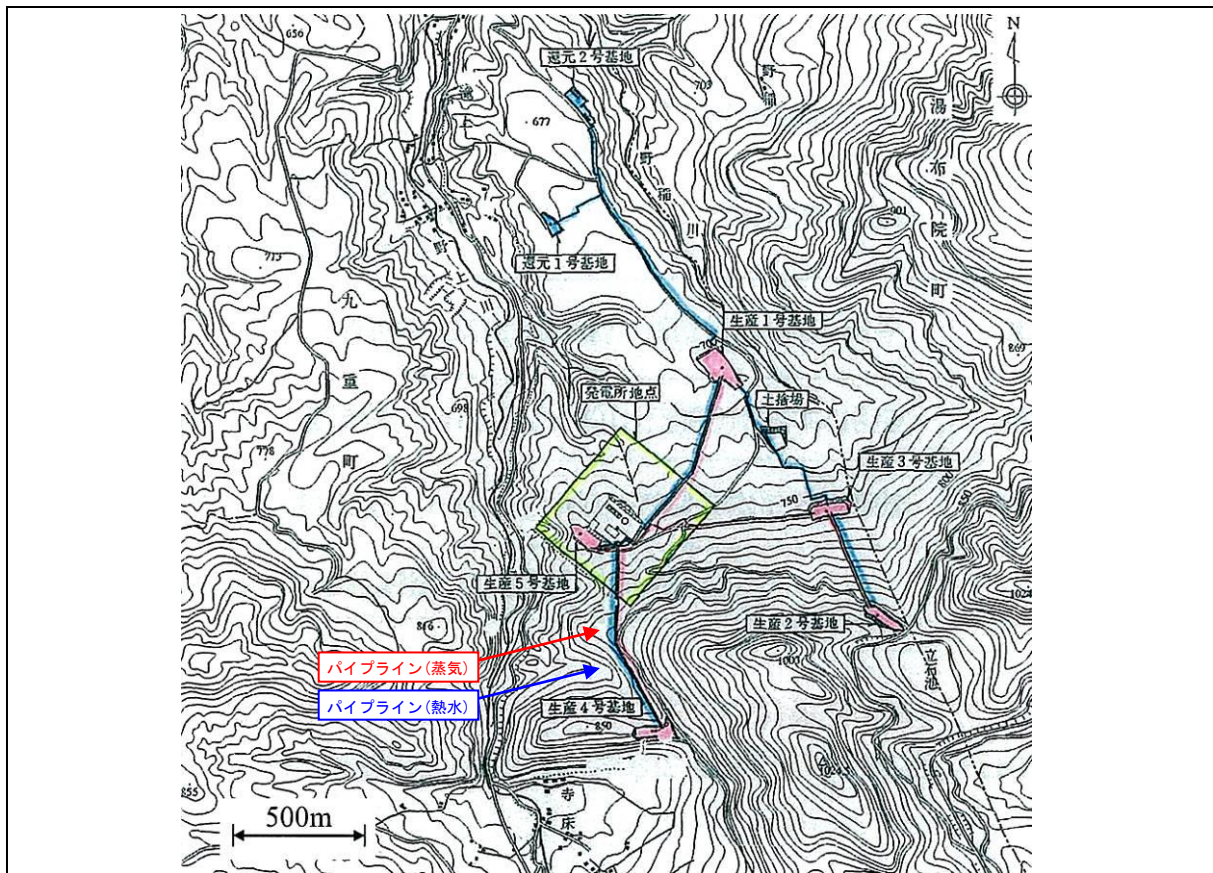
<坑井の深さ>



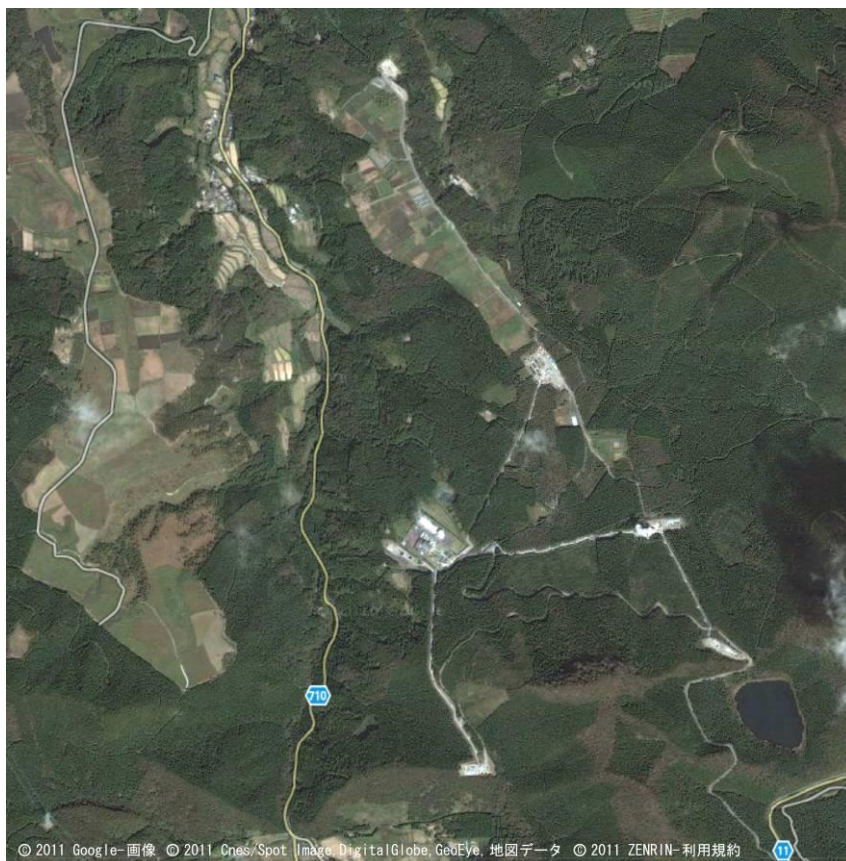
出典：環境省請負業務「平成 22 年度地熱発電に係る環境影響審査手法調査業務報告書」平成 23 年 3 月、株式会社ブレック研究所

(5) 平面配置と施設概念図

<平面配置（全体配置）の例>

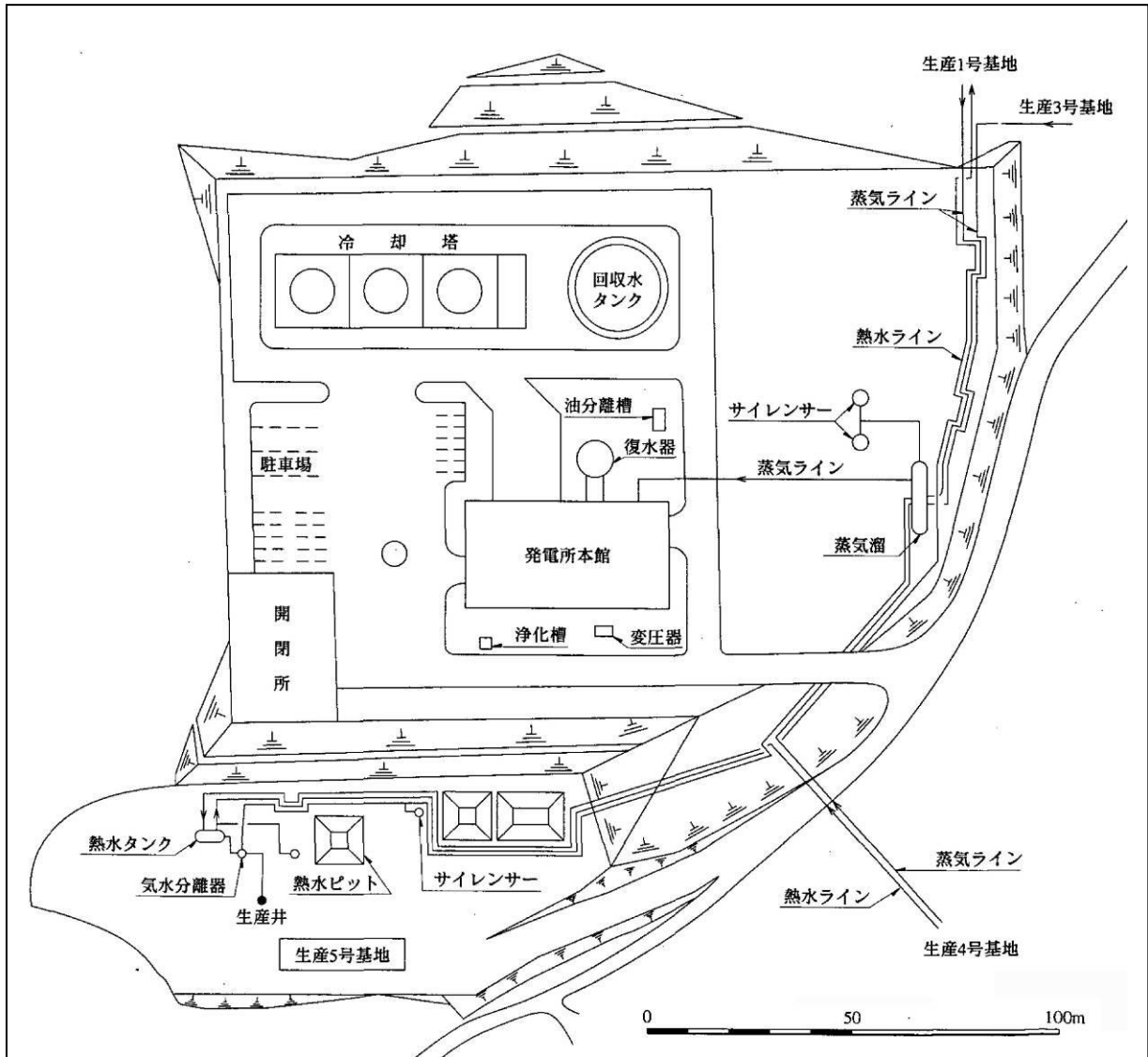


出典：出光大分地熱(株)「滝上発電所説明資料」2010.12 に一部追記



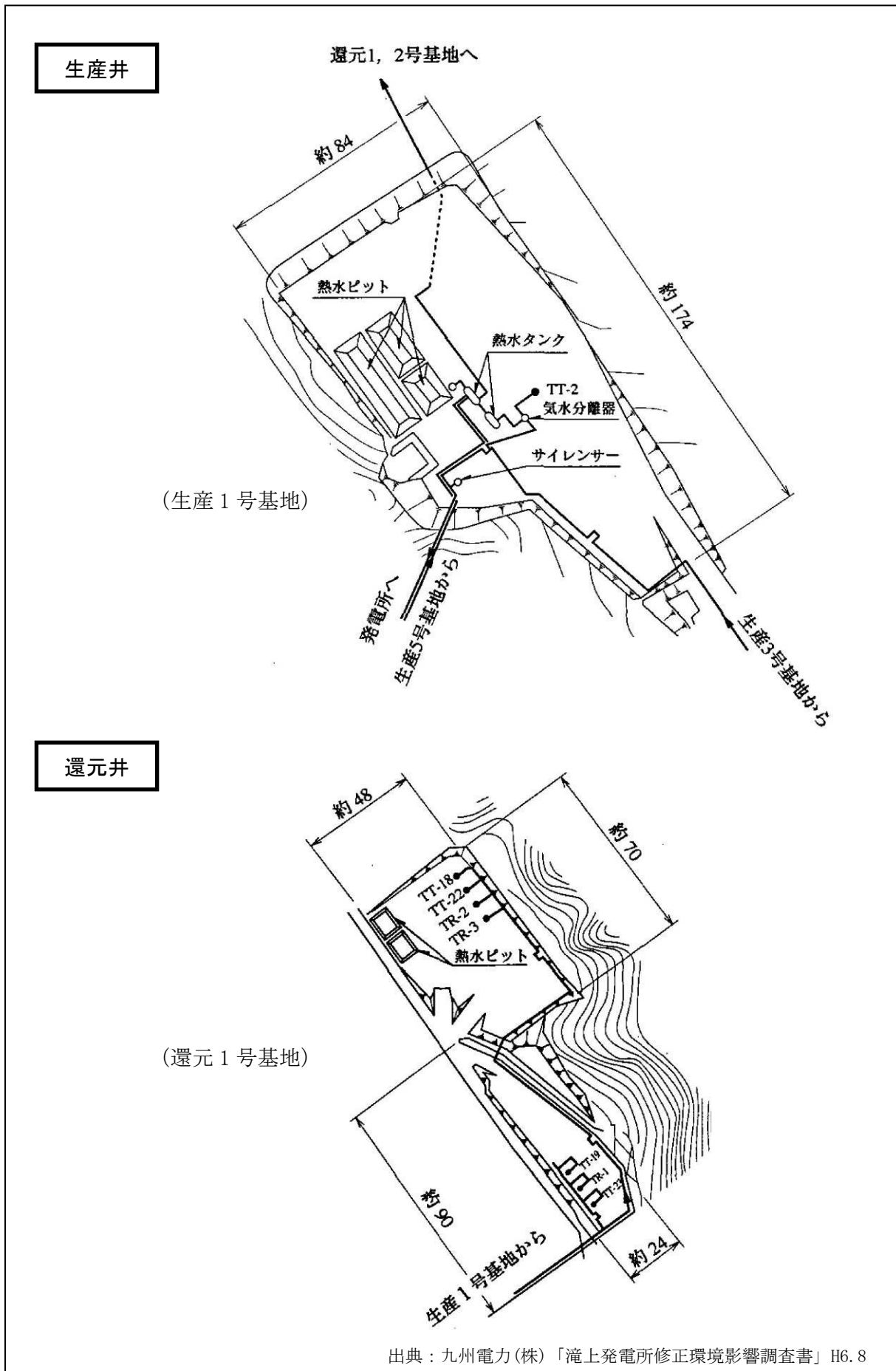


<平面配置（発電設備）の例>

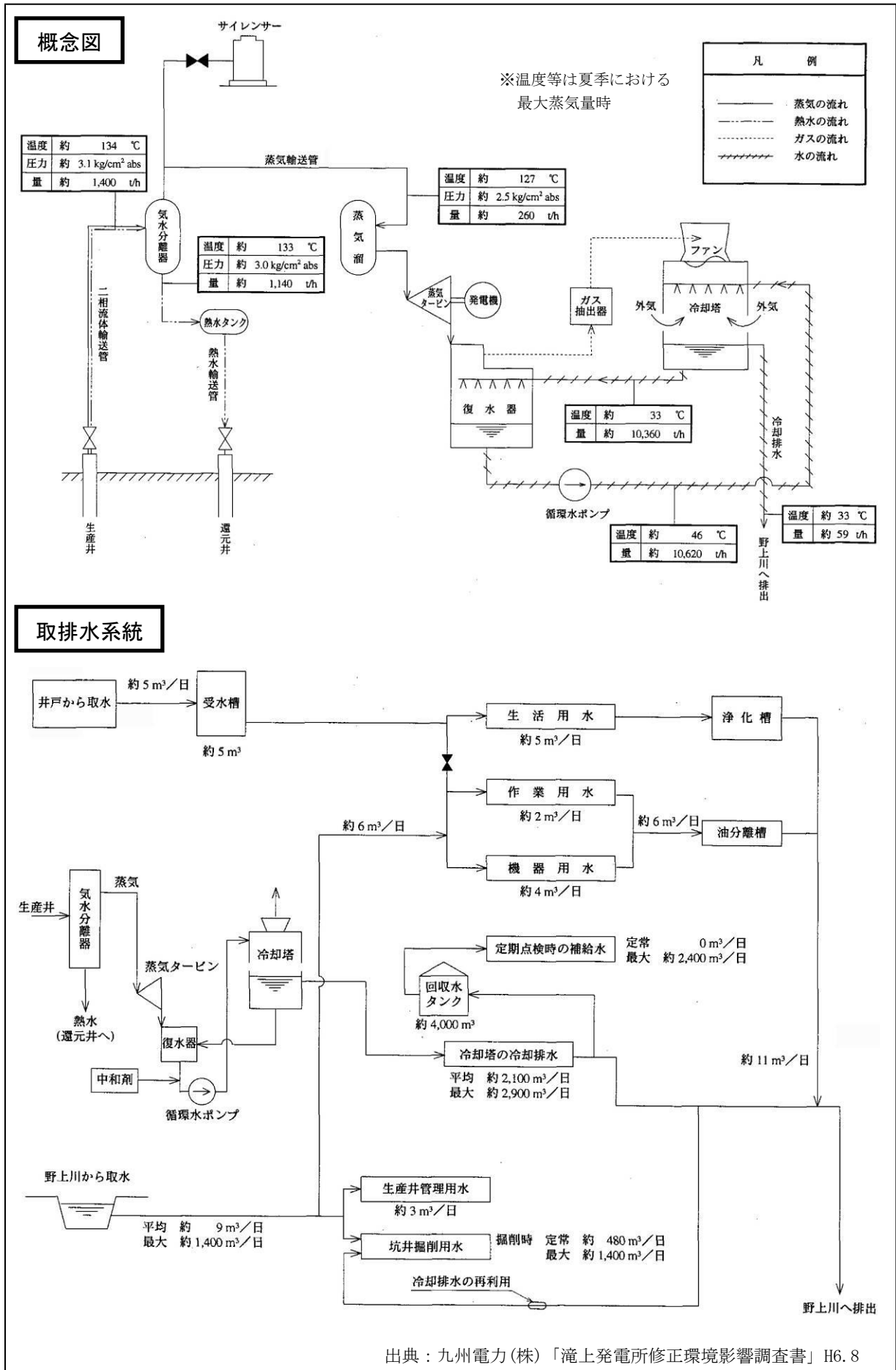


図の出典：九州電力(株)「滝上発電所修正環境影響調査書」H6.8  
写真の出典：NEDO「地熱開発の現状」2008.11

<平面配置 3 (蒸気設備の一例)>



<施設概念図と取排水系統の例>



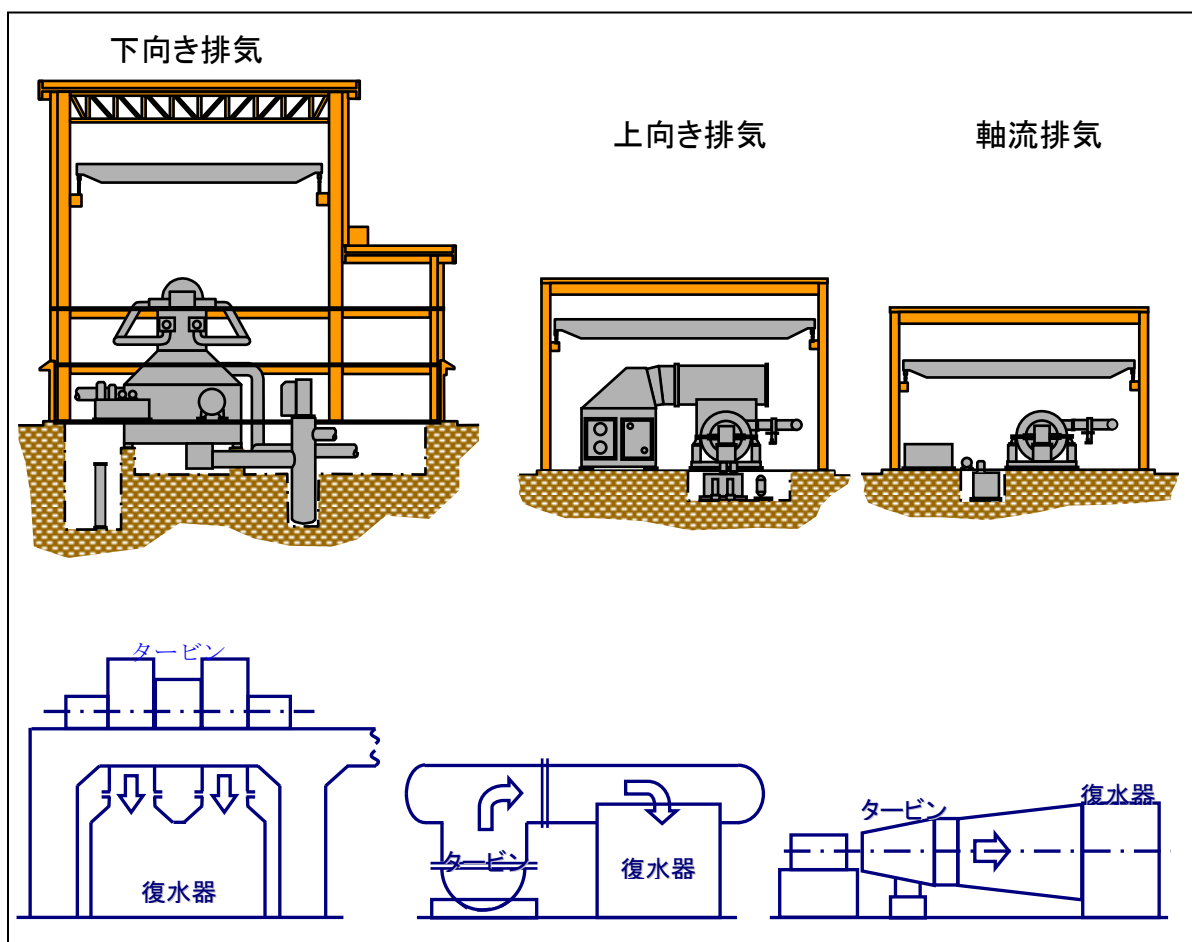
(6) 発電所本館の高さ抑制技術

- ・自然環境保全審議会の意見が出された昭和 54 年までに完成した地熱発電所は、松川、葛根田 1 号、鬼首、大岳、八丁原 1 号、大沼の 6 箇所である。
- ・これら地熱発電所では、比較的小型の大沼を除いては下向き排気式が採用されているが、その後の地熱発電所では上向き排気式が採用されている。葛根田では 1 号機が下向き排気であるのに対し、2 号機では上向き排気式が採用されている。
- ・またアイスランドの地熱発電所では、軸流排気式が採用されている。上向き排気式より更に建屋高さを抑えることが可能である。

<発電所本館の高さ抑制技術>

タービン排気方向	下向き排気	上向き排気	軸流排気
タービン基礎	高い	低い	低い
本館建屋 (建屋容積比)	高い (100%)	低い (50%程度)	低い (35%程度)
クレーン高さ(参考)	16 m 程度	14 m 程度	10 m 程度
実例	八丁原など	大霧など	アイスランドの Hellisheidi 等

<タービンのイメージ図>



出典：富士電機株式会社作成資料

#### (7) 地熱発電に係る脱硫装置について

- ・火力発電所では、亜硫酸ガスを対象として、炭酸カルシウムや石灰等と反応させ、酸化により石膏を生成する方法がとられている。その他、吸収剤として水酸化マグネシウムや苛性ソーダを用いられる方法等がある。
- ・地熱発電所では、大気に放出される地熱蒸気に含まれるガスには硫化水素ガスが含まれるが、日本には硫化水素ガスの放出規制が無く、必要に応じて排出量軽減のための装置が設置される。柳津西山と八丈島には硫化水素ガス除去装置が設置されており、設置理由は悪臭防止である。
- ・柳津西山では触媒により硫化水素ガスを分解、反応させ、生成物の溶融硫黄を産廃処理しているとのことである。八丈島では硫化水素ガスを燃焼させ、生成した亜硫酸ガスを水酸化マグネシウムで反応させ、硫酸マグネシウムを生成させている。
- ・海外では、米国カリフォルニア州において硫化水素ガスの排出規制があるため、カリフォルニア州に設置されている全ての地熱発電所に硫化水素ガス除去設備が設置されている。方式は様々である。フィリピン、インドネシアにも硫化水素ガスの放出規制または悪臭防止の規則があるようであるが、全ての地熱発電所に硫化水素ガス除去の設備が設置されているわけではなく、必要に応じ設置または考慮されている。
- ・フィリピンのマリトボグでは触媒式の設備を設置し、硫化水素ガスを分解し、固体硫黄を生成している。フィリピンの北ネグロスでは、冷却塔上部の適切な高さから適切な風速で排出すれば大気中の濃度は規制値以内に収まるとの解析結果から、特に除去設備を設置していない。

(8) 小規模な地熱発電所について

- ・我が国で既に稼働している小規模な地熱発電施設の例を以下に示す。資料収集等により得られた情報を示した。

(1) 霧島国際ホテル (蒸気発電)

場所	鹿児島県霧島市牧園町
出力	認可出力 100kW。 設備容量 100kW。
坑井	生産井は深さ 70~250m の 3 本。 還元井なし。

参考：「新版わが国の地熱発電所設備要覧」2000 年、  
(社)日本地熱調査会  
写真：霧島国際ホテル提供



(2) 九重観光ホテル (蒸気発電)

場所	大分県玖珠郡九重町
出力	認可出力 990kW。 設備容量 2,000kW。
坑井	生産井は深さ 305m、405m の 2 本。 還元井なし。

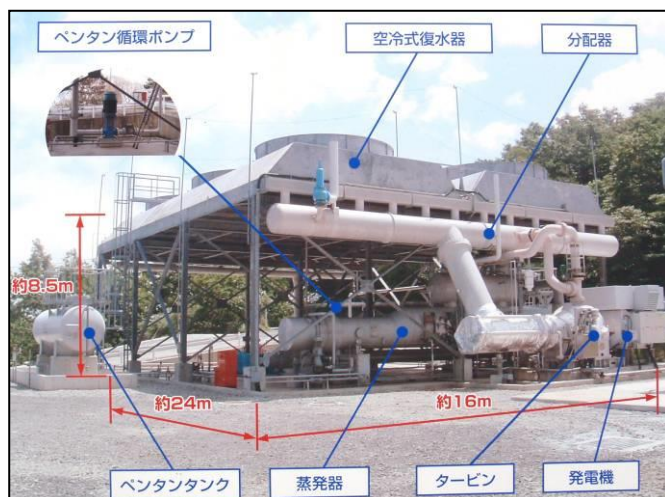
参考：「九重地熱発電所」地熱エネルギーvol28、No. 4  
写真：(株)ブレック研究所



(3) 八丁原発電所・バイナリー発電施設

場所	大分県玖珠郡九重町
出力	認可出力 2,000kW。設備容量 2,000kW。
坑井	生産井は深さ 1,700m の 1 本。
使用媒体	ノルマルペンタン

参考：「地熱発電の現状と動向」2009 年、(社)火力原子力発電技術協会



写真：八丁原発電所内の解説板より

#### 4. 減衰について

##### (1) 補充井の掘削頻度（生産井）

- ・各発電所ともに所定の出力を維持するために、補充井の掘削を実施。平均して3.1年に1本の頻度で掘削。（大岳、大沼を除く）
- ・補充井を掘削したとしても、ほとんどの発電所が所定の出力を維持できていない。
- ・出力の維持が比較的良好な地熱発電所では、滝上で6年に1本（年0.17本）、大霧発電所と八丁原2号が2.6年に1本（年0.38本）の掘削頻度である。

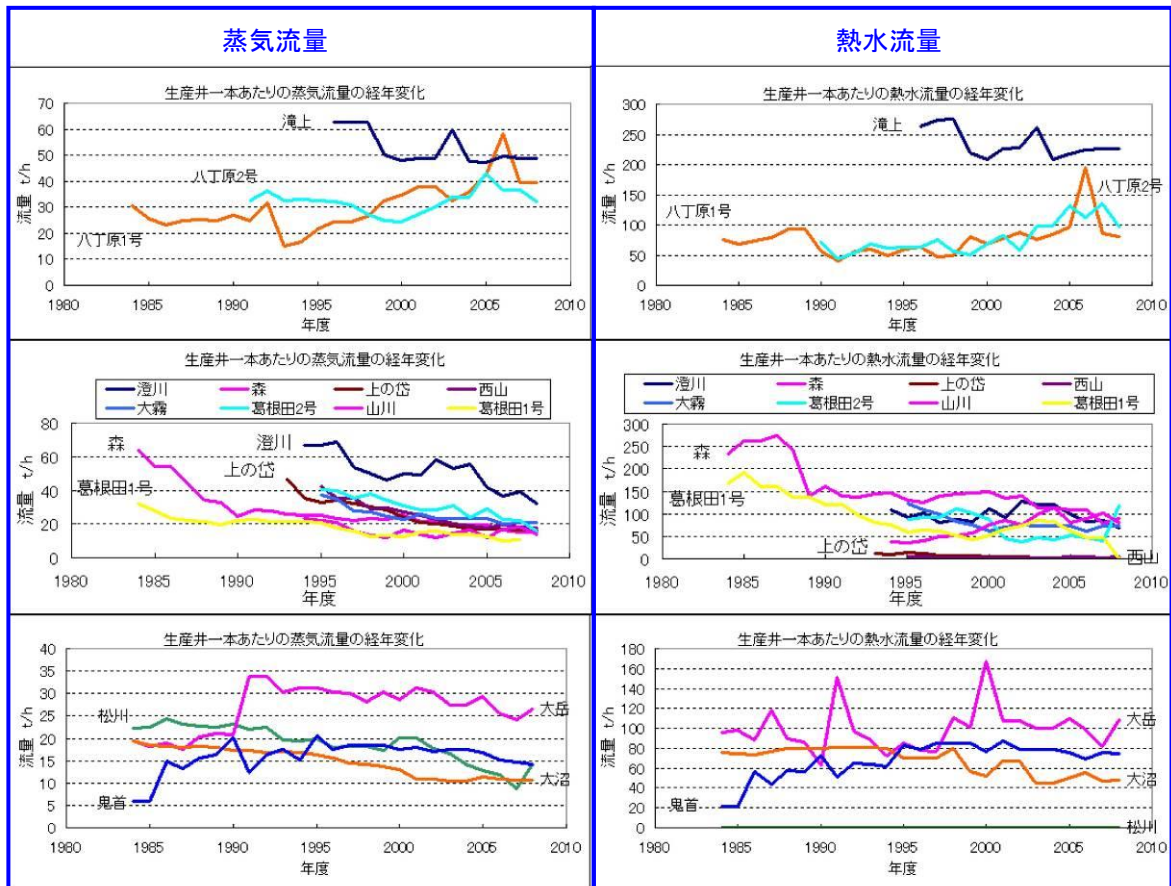
<補充井の掘削頻度（生産井）>

	発電ユニット名	認可出力 MW	統計 年数	補充 掘削 本数	頻度 年/本	頻度 本/年	当初 準備 本数	出力 (MW) /本
1	柳津西山	65.0	13	7	1.9	0.54	14	4.6
2	八丁原1号	55.0	24	16	1.5	0.67	13	4.2
3	八丁原2号	55.0	18	7	2.6	0.38	9	6.1
4	森	50.0	24	6	4.0	0.25	6	8.3
5	葛根田1号	50.0	24	16	1.5	0.67	13	3.8
6	澄川	50.0	14	5	2.8	0.36	7	7.1
7	葛根田2号	30.0	13	4	3.3	0.31	7	4.3
8	大霧	30.0	13	5	2.6	0.38	10	3.0
9	山川	30.0	14	5	2.8	0.36	11	2.7
10	上の岱	28.8	15	3	5.0	0.20	9	3.2
11	滝上	27.5	12	2	6.0	0.17	6	4.6
12	松川	23.5	24	7	3.4	0.29	9	2.6
13	鬼首	12.5	24	7	3.4	0.29	12	1.0
14	大岳	12.5	24	1	24.0	0.04	5	2.5
15	大沼	9.5	24	2	12.0	0.08	5	1.9
16	八丈島							
17	八丁原バイナリー							
18	杉乃井							
19	九重							
20	霧島地熱							
	平均	35.3	19	6.9	3.1	0.37	9.1	4.0

出典：「地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討会」第2回検討会ヒアリング回答  
2011年8月4日、日本地熱開発企業協議会 会長 安達正敏

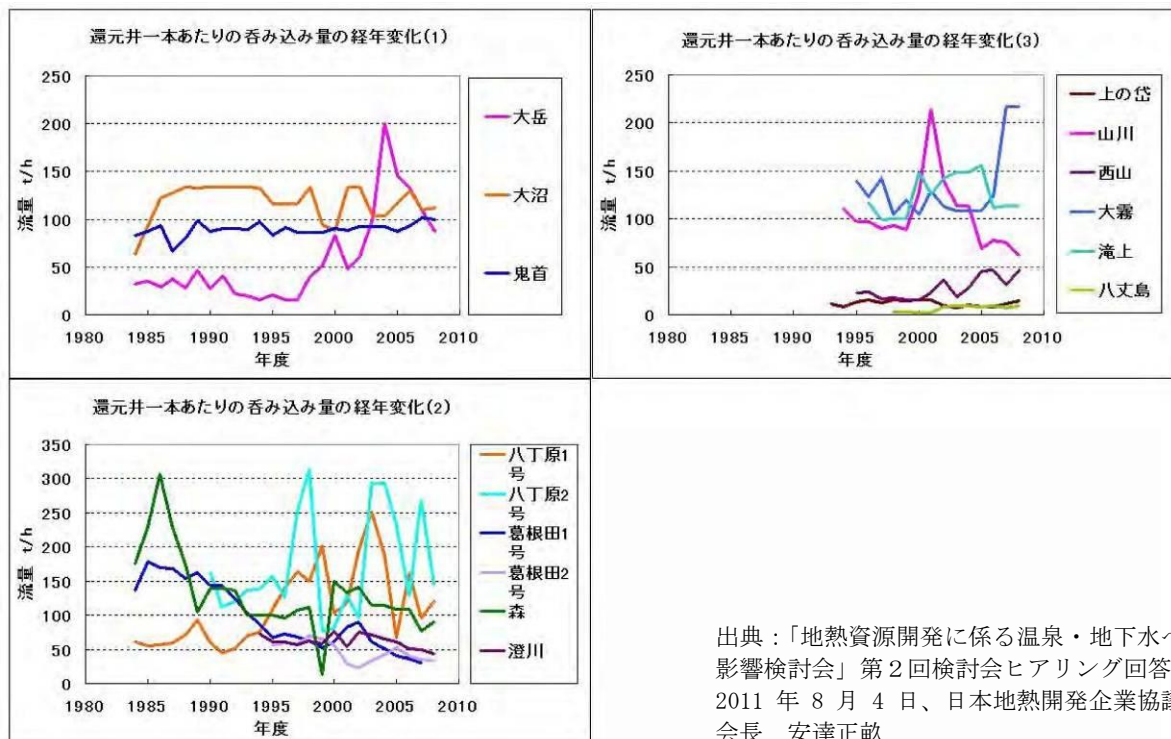
(2) 蒸気・熱水の産出量の経年変化

- ・生産井1本当たりの蒸気流量について、運転開始後、経年的に著しく減少する発電所（グラフ中段）とあまり変わらない発電所（グラフ上下段）があり、地点による個性がある。



(3) 熱水還元能力の経年変化

- ・還元井1本当たりの熱水呑み込み能力にも、地点による個性がある。



出典：「地熱資源開発に係る温泉・地下水への影響検討会」第2回検討会ヒアリング回答  
2011年8月4日、日本地熱開発企業協議会  
会長 安達正敏

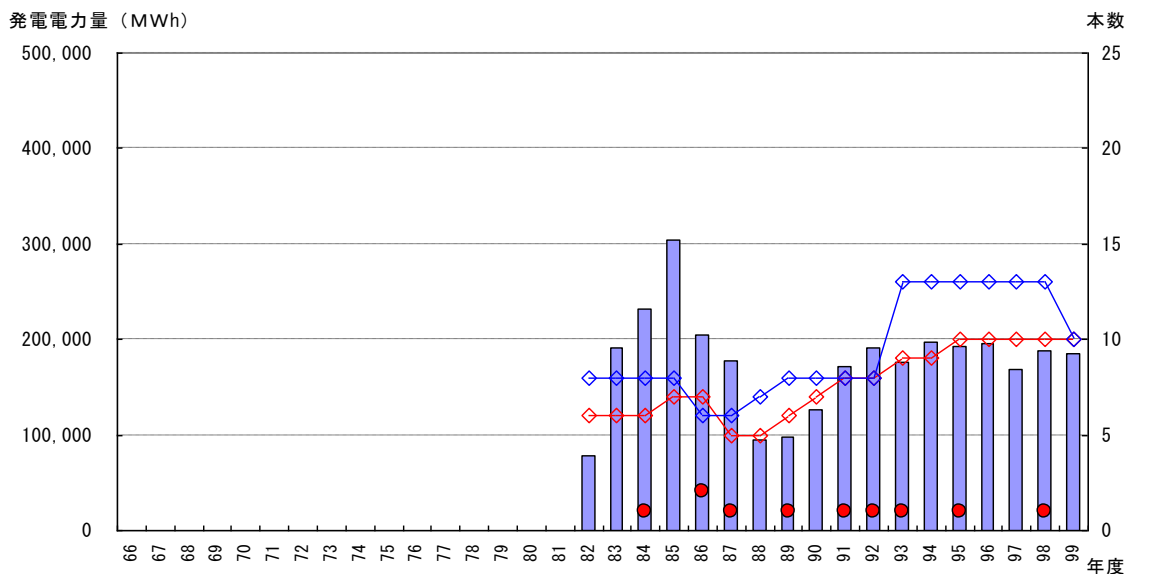


(4) 地熱発電所の出力の経年変化と坑井本数の関係

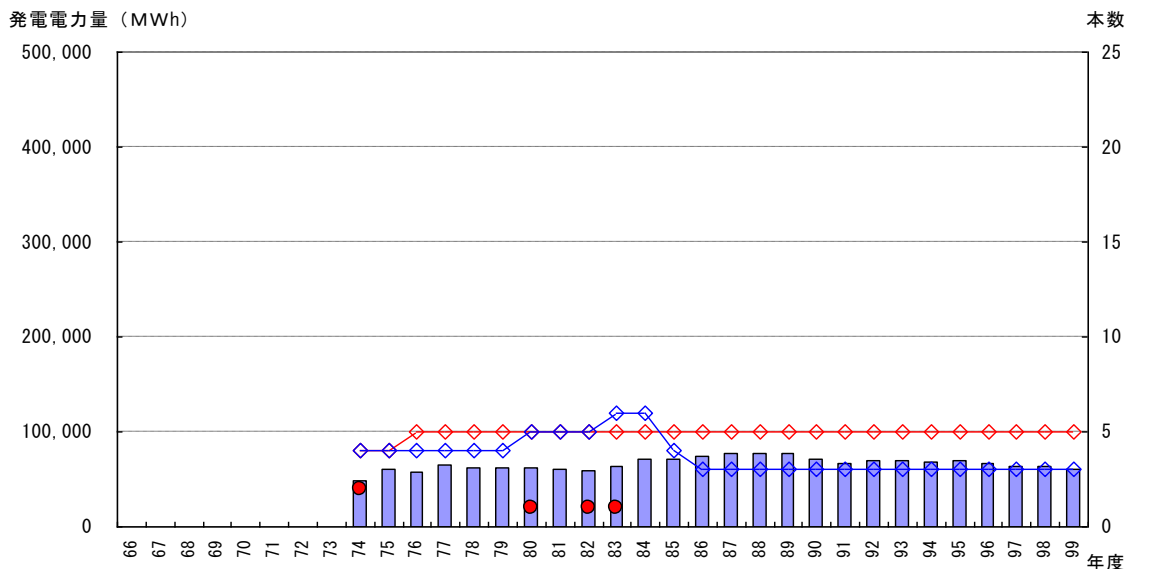
- ・各発電所ごとに運転開始後から 1999 年までの発電電力量と坑井掘削本数の経年データを以下に示した。(10 年以上のデータが得られた発電所を対象)
- ・ほとんどの発電所では、発電電力量に経年的な増減がみられる。
- ・使用中の坑井本数にも増減がみられ、徐々に本数が増加する傾向が認められる。

データの出典：「新版わが国の地熱発電所設備要覧 2000 年」平成 12 年、(社)日本地熱調査会  
 注) 坑井掘削本数は、掘削開始月の年度を基準とした。

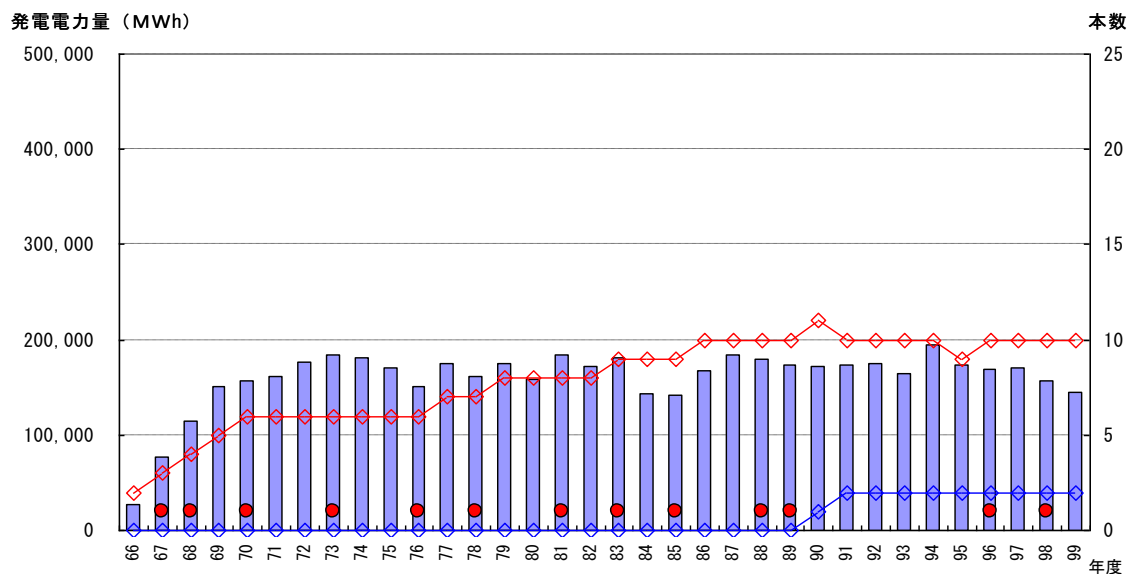
■ 森発電所 (認可出力 50,000kW)



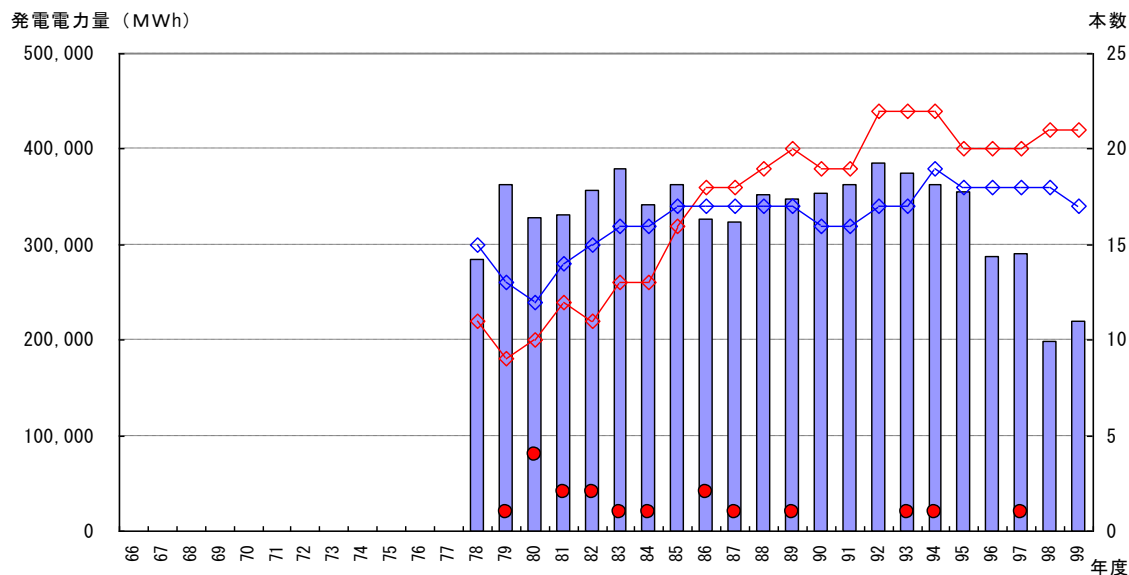
■ 大沼地熱発電所 (認可出力 9,500kW)



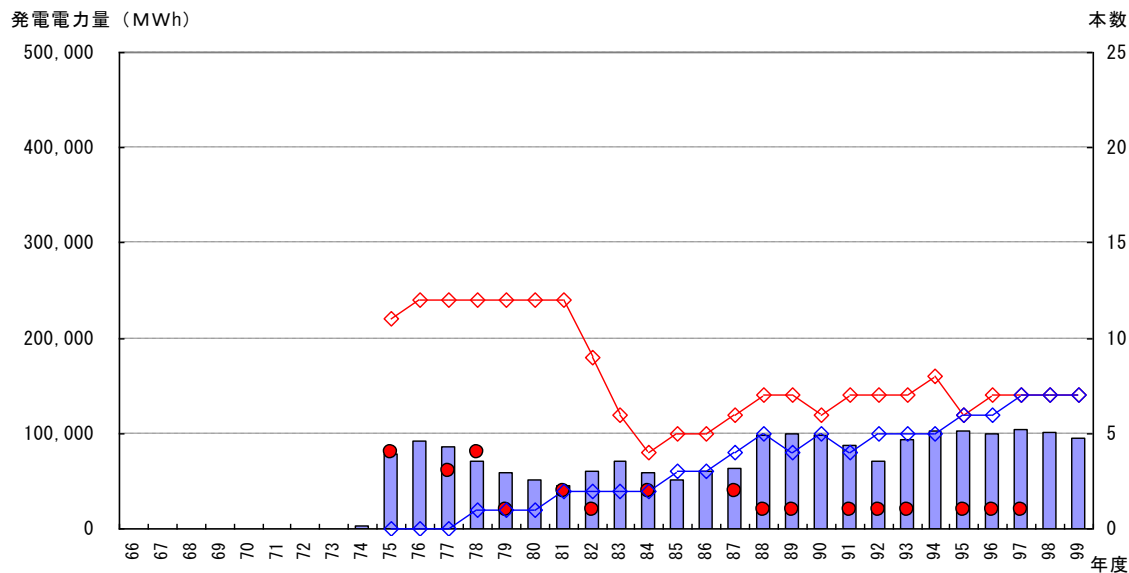
■松川地熱発電所（認可出力 23,500kW）



■葛根田地熱発電所 1号機（認可出力 50,000kW）



■鬼首地熱発電所（認可出力 15,000kW）

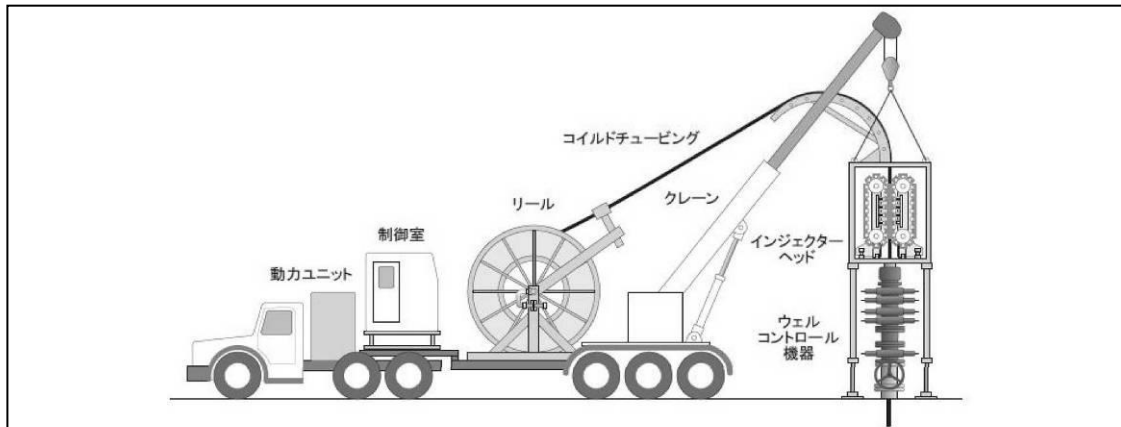


(5) 減衰対策技術の例

<コイルドチュービング>

- ・スケール付着除去用の新技術として、状況に応じて用いられるコイルドチュービング装置の例を以下に示す。(高さは 10m 程度)
- ・使用にあたっては、坑井内に損傷がないこと等、制約がある。

<トレーラーマウント型コイルドチュービング装置の例>

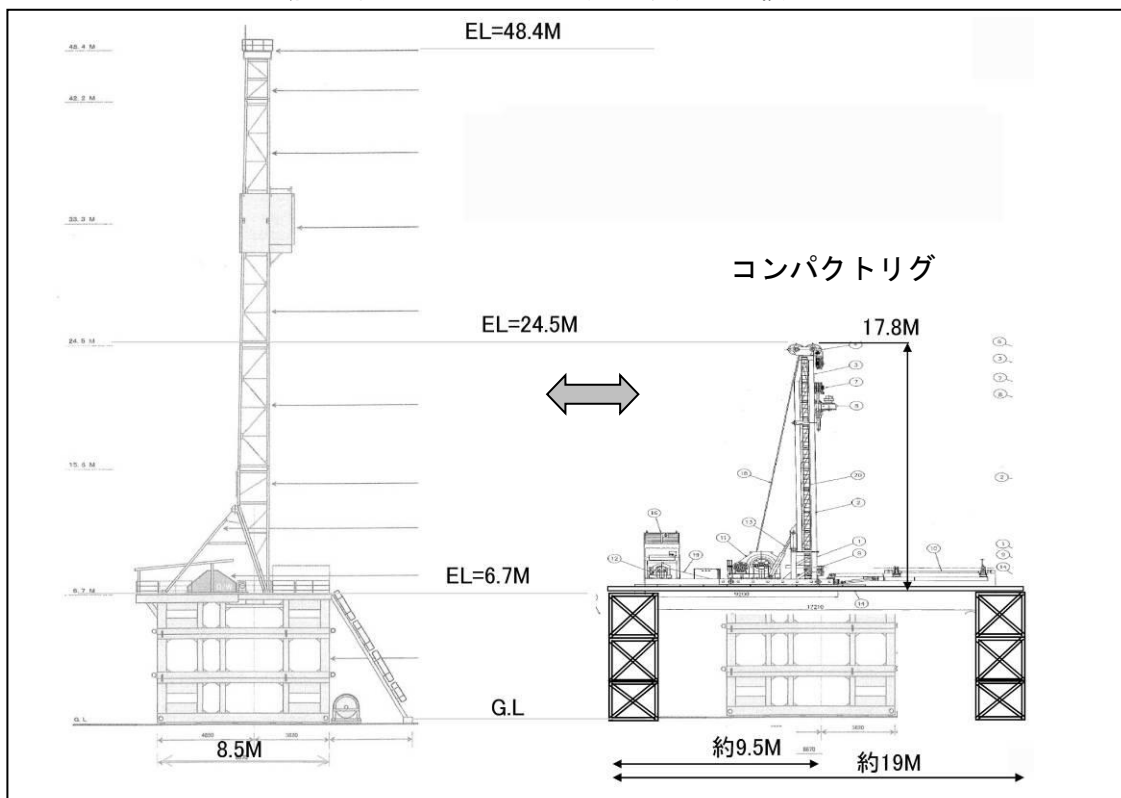


出典：長縄成実，2008：最新の坑井掘削技術（その 10）  
石油開発時報，No. 157（2008.5），pp. 14- 21.

<コンパクトリグ>

- ・スケール付着除去用の新技術として、コンパクトリグの例を以下に示す。使用にあたっては制約があるが、一般的な槽に比べて高さが半分以下である。
- ・スケール浚渫の標準的な工程は約 40 日間であり、一般的なタイプより約 30 日縮減。

<一般的なタイプとコンパクトリグの比較>



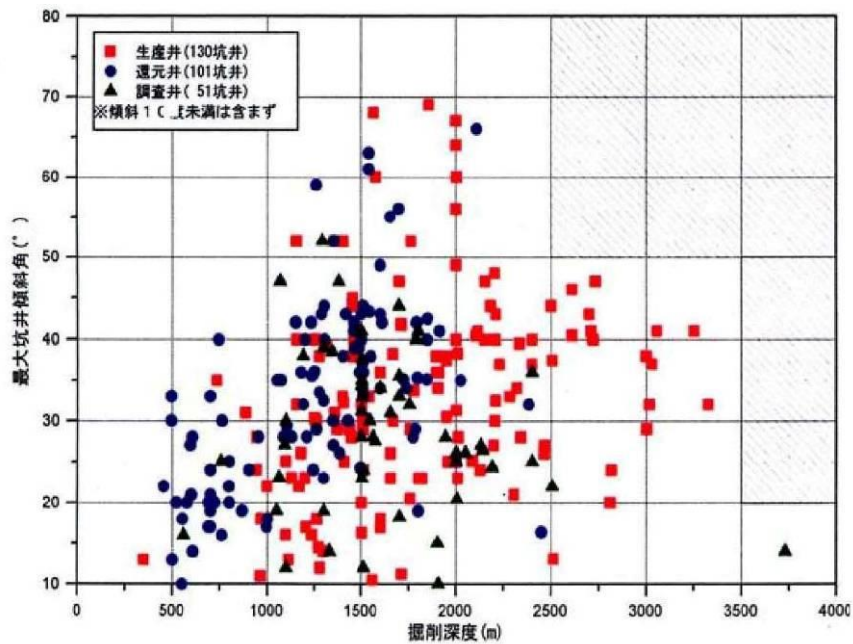
出典：「YBM の地熱井用コンパクトリグ HC-2000R について」  
株式会社ワイビーエム

## 5. 傾斜掘削の現状

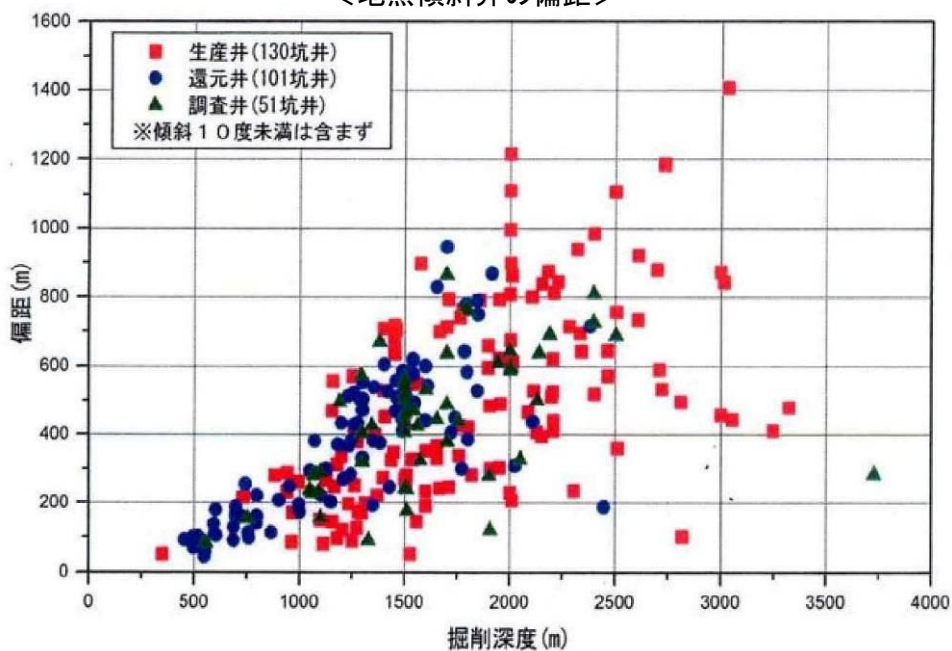
### (1) コントロール掘削技術

- ・ 計画坑跡に沿って坑井をコントロールして掘削する技術のこと。  
(用途：傾斜井、水平井、高精度垂直井の掘削)
- ・ 我が国の地熱井では、偏距（水平距離）で最大 1,400m 程度、傾斜角で最大 70° の実績がある。
- ・ 一方、計画坑跡に沿った掘削をできなかった事例もある（過去の技術の限界）。

＜地熱傾斜井の最大傾斜角＞



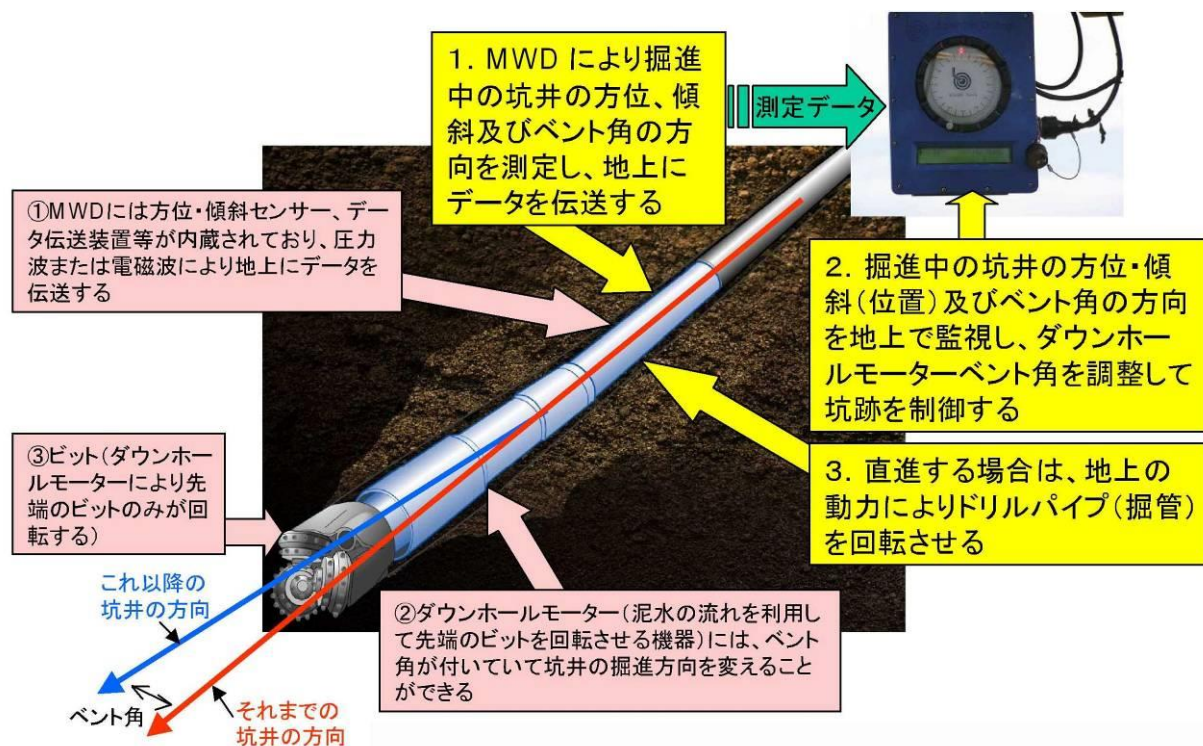
＜地熱傾斜井の偏距＞



出典：「地上環境に配慮した開発技術等について」  
2009. 1. 30 第 2 回地熱発電に関する研究会 資料 5  
地熱技術開発(株) 中田晴弥

## (2) 最新のコントロール掘削技術

- ・ MWD (Measurement While Drilling) とダウンホールモーターを使用することにより、計画坑跡に沿った坑井掘削を行うことが可能である。
- ・ 現在の技術では、2,000m級の掘削で±1%の誤差で目標に到達させることができる。
- ・ 石油井では、地層データを併せて取得するLWD (Logging While Drilling) も使用されている。



出典：「地上環境に配慮した開発技術等について」  
 2009. 1. 30 第 2 回地熱発電に関する研究会 資料 5  
 地熱技術開発(株)中田晴弥

(3) 偏距と垂直深度・傾斜角の関係

・掘削深度（掘進長）を 3,000mとした場合、計算上可能な最大偏距は以下のとおりである（掘進深度 3,000m、KOP200m、増角率 2° /30mの場合）。

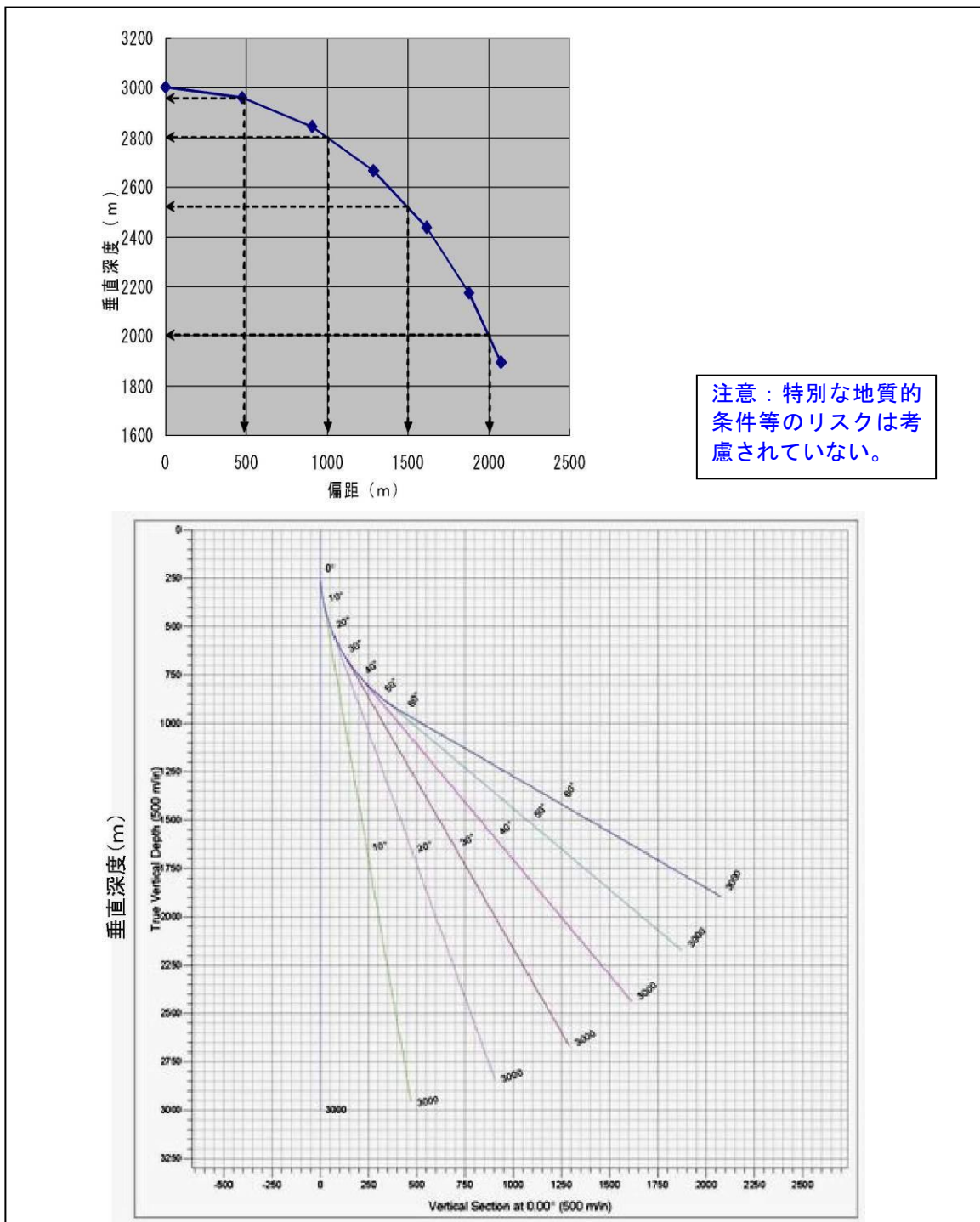
◎垂直深度 2,800mで約 1,000m

◎垂直深度 2,500mで約 1,500m

◎垂直深度 2,000mで約 2,000m

・特別な地質的条件等のリスクは考慮されていない。

・これ以上の大偏距の場合は、4,000m級以上の掘削リグが必要。

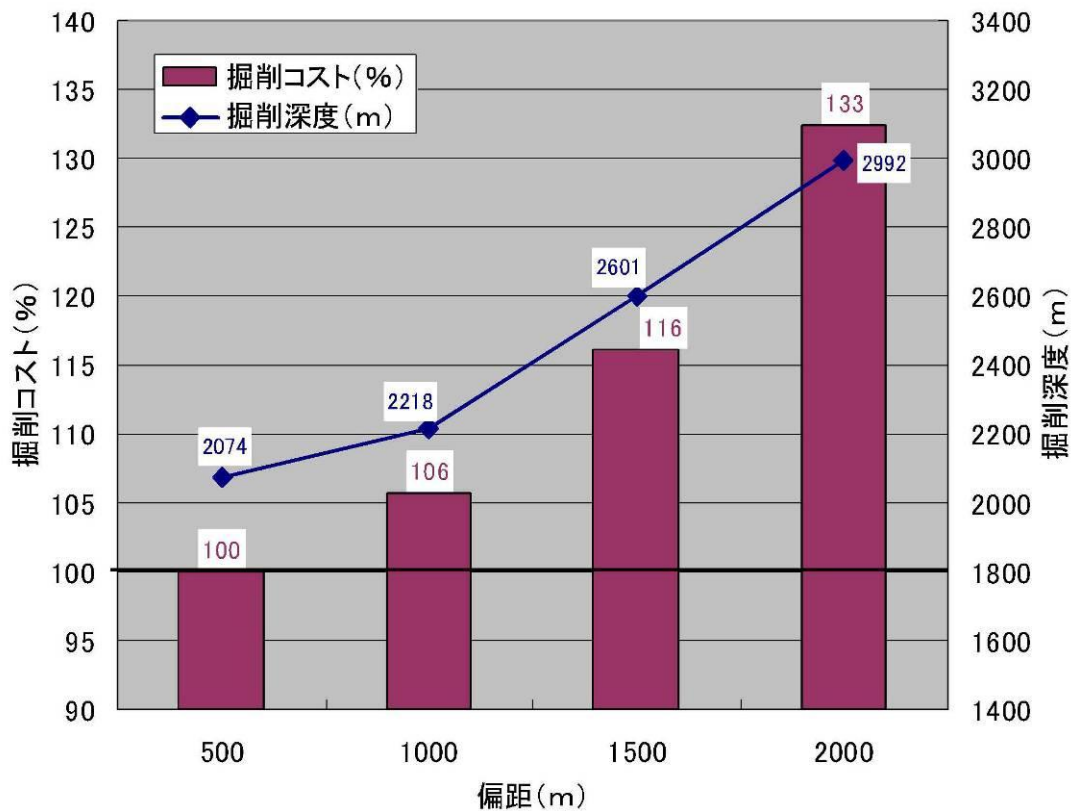


出典：「地上環境に配慮した開発技術等について」  
 2009.1.30 第2回地熱発電に関する研究会 資料5  
 地熱技術開発(株)中田晴弥

(4) 大偏距坑井のコスト比較

- ・ 3,000m級リグ使用、垂直深度 2,000mの場合のコスト比較は、以下のとおり。  
 (偏距 500mのケース (図中ケース 1) を 100%として比較)
- ・ この結果、偏距 2,000mの掘削コストは、偏距 500mの場合に比べて 30%増加。

<大偏距坑井のコスト比較 (試算) >



出典：「地上環境に配慮した開発技術等について」  
 2009. 1. 30 第 2 回地熱発電に関する研究会 資料 5  
 地熱技術開発 (株) 中田晴弥

## 6. 蒸気と熱水の成分について

- 各地熱発電所における蒸気と熱水中の主な成分を示す。

(蒸気単位：vol%)  
(熱水中のSiO<sub>2</sub>：mg/l)

		森	大沼	澄川	松川	
蒸気	蒸気	98.6~99.0	99.93~99.96	99.84~99.99	99.34~99.52	
	非凝縮性ガス	1.0~1.4	0.04~0.07	0.01~0.15	0.48~0.66	
	(内訳)	CO <sub>2</sub>	96.0~97.8	35.03~53.95	64.9~76.1	86.6~90.6
		H <sub>2</sub> S	0.8~2.1	2.17~11.68	12.2~26.9	6.4~10.6
その他		1.4~1.9	43.88~59.01	3.6~8.2	2.5~3.0	
熱水	pH	7.5~8.0	7.3~7.8	6.6~8.0	5.73	
	SiO <sub>2</sub>	406~942	380~525	499~1020	0.4	

		葛根田1号機	葛根田2号機	上の岱	鬼首	
蒸気	蒸気	99.98	99.97~99.98	99.54~99.84	99.73~99.92	
	非凝縮性ガス	0.02	0.02~0.03	0.16~0.46	0.08~0.27	
	(内訳)	CO <sub>2</sub>	57.6~62.6	49.1~67.8	83.68~90.00	53.8~67.8
		H <sub>2</sub> S	24.5~30.9	19.2~31.5	4.31~8.99	14.6~39.8
その他		9.0~13.4	10.8~19.4	3.27~9.61	6.4~29.4	
熱水	pH	4.8~8.5	6.3~8.6	7.3~8.0	2.8~5.0 6.7~7.8	
	SiO <sub>2</sub>	332~1110	366~1370	530~773	527~725 613~695	

		柳津西山	八丈島	滝上	大岳	
蒸気	蒸気	96.77~97.31	98.65~99.47	99.89~99.93	99.84~99.89	
	非凝縮性ガス	2.69~3.23	0.53~1.35	0.07~0.11	0.11~0.16	
	(内訳)	CO <sub>2</sub>	95.3~96.8	73.5~85.6	82.1~94.1	92.4~95.2
		H <sub>2</sub> S	2.5~4.0	10.7~19.4	2.2~4.5	3.7~5.4
その他		0.6~0.7	3.6~7.1	3.7~13.9	—	
熱水	pH	3.58~7.85	6.2	9.3~9.4	7.5~7.7	
	SiO <sub>2</sub>	2.65~984	918	391~654	612~627.8	

		八丁原1号機	八丁原2号機	大霧	山川	
蒸気	蒸気	99.70~99.72	99.72~99.76	99.97~99.99	99.50~99.94	
	非凝縮性ガス	0.28~0.30	0.24~0.28	0.01~0.03	0.06~0.50	
	(内訳)	CO <sub>2</sub>	91.7~92.7	92.8~93.1	86.1~95.2	77.4~95.1
		H <sub>2</sub> S	4.8~5.2	4.4~4.7	4.8~13.3	1.5~15.5
その他		—	—	0.1未満	2.2~17.4	
熱水	pH	4.5~4.6	4.6~4.8	8.5~8.7	3.9~7.6	
	SiO <sub>2</sub>	0.07~0.12	0.07~0.10	586~594	581~1110	

※鬼首の貯留層内の熱水は、酸性と中性の両者が別々に分布。

※八丁原発電所のデータは、一次蒸気を示す。

出典：「新版わが国の地熱発電所設備要覧」2000年、(社)日本地熱調査会