

第5回地熱資源開発に 係る温泉・地下水への影響検討会

地熱資源の開発に係る地下の 流体モデル・指標の構築と再現性の検証

平成23年11月24日
地熱技術開発株式会社

内容

- 流体モデルとモデル構築のステージについて
- 国内3地域の地熱発電所における流体モデル概要と温泉モニタリング
- 地熱発電に伴う流体生産・還元が温泉帯水層に与え得る応答の特徴について(柳津西山地域対象とした数値シミュレーションモデルを用いた検証)
- まとめ(指標の検討)

流体モデルの種類について

流体モデルの種類については色々なものが考えられるが、ここでは以下の様に分類した。

- 地熱構造モデル
 - 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
 - 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各流体の生成機構、地熱貯留層温度、熱水系の分類、混合状態、流動状態などを加えたモデル。地熱系概念モデルと呼ばれる事もある。
- 数値シミュレーションモデル(地熱資源量評価)
 - 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。温泉影響予測への応用が期待されるが、現時点では観測データ(モニタリングデータ)の扱いやモデル化の方法など、温泉影響予測のための手法の構築が必要と考えられ、これら手法の提案が望まれる。

温泉と地熱貯留層との関係を検討する為には、**地熱構造モデル**や**地熱流体流動モデル**を参照するのが適切である。

一般的な地熱開発のステージと流動モデル

地熱調査の段階	・広域調査	・概査	・精査	・発電所建設	・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	主に地質(断裂含む)、 地下温度・圧力他	地質(断裂含む)、地下 温度・圧力、透水性他	地質(断裂含む)、地下 温度・圧力、透水性、地 熱流体性状他	地質(断裂含む)、地下 温度・圧力、透水性、 地熱流体性状他	地質(断裂含む)、地下 温度・圧力、透水性、 地熱流体性状他
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 掘削以外の調査項目 地表調査 物理探査による地質 構造推定 変質帯分布 地化学探査による地 熱徴候分布 地化学調査による温 泉の水質や起源に関する 情報 構造試錐により、地下 温度分布や地熱分布、 地下の地質構造が推定 される。	地下温度、地質の詳細 情報 掘削以外の調査項目 地表調査物理探査による 地質構造推定 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が 得られる。 地熱構造モデル が構築 される	地熱貯留層の評価 掘削以外の調査項目 精密地表調査 高密度物理探査による 詳細調査 地熱貯留層モニタリング 温泉変動モニタリング 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 地熱流体流動モデル が 構築される。	生産・還元井掘削に よる調査データ 掘削以外の調査項目 一斉噴出試験 地熱貯留層モニタリング 温泉変動モニタリング 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、 地 熱流体流動モデル が更 新される。地熱資源量 評価のための 数値シ ミュレーション 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。	補充、追加井掘削 による調査データ 掘削以外の調査項目 生産・還元履歴 地熱貯留層モニタリング 温泉変動モニタリング 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 数値シ ミュレーションモデル による追加井掘削計画 のための将来予測が行わ れる。

一般的な開発ステージとしてまとめたもので、実際には調査内容や得られる情報などは地域毎に異なる。

国内3地域の地熱発電所における 流体モデル概要と温泉モニタリング

- 国内の既設地熱発電地域の内、柳津西山地域(福島県)、澄川地域(秋田県)、大霧地域(鹿児島県)について調査
- 各地熱地域の蒸気供給会社より流動モデル(地熱構造モデル、地熱流体流動モデル、数値シミュレーションモデル)の概要および温泉モニタリングについて情報提供
- 発電所運転開始前の予測と実際の温泉モニタリングによる実績との差異についてコメント

柳津西山地熱発電所の開発経緯(その1)

1)所在地

福島県河沼郡柳津町大字黒沢

2)事業者

東北電力株式会社(発電部門)

奥会津地熱株式会社(蒸気生産部門)

3)出力

設備容量:65,000kw

認可出力:65,000kw

4)位置案内

• 位置

発電所は、福島県会津若松市の西南約20km、河沼郡柳津町西山地区の只見川沿い標高380mに位置する。最寄りの温泉地としては、柳津温泉と西山温泉がある。

• 自然公園との関係

発電所地点は、国土利用計画法に基づく森林地域および農業地域となっている。また、発電所蒸気生産設備の一部は、自然公園法に基づく只見柳津県立自然公園の普通地域に指定されている。

柳津西山地熱発電所の開発経緯(その2)

5) 開発経緯

概査期 : 1974年

三井金属鉱業(株)は奥会津地域の地熱資源量探査を目的とする予察調査を開始し、地質構造と地熱構造の調査を行った。

概査期 : 1976-1977年

通産省工業技術院地質調査所と日本地熱開発促進センター(現(財)新エネルギー財団)による「地熱開発基礎調査: 西山地域」が実施され、変質帯調査、放熱量調査、電気探査、温泉調査及び構造試錐掘削が行われた。この後、1978-1980年に調査中断期がある。

概査期 : 1981-1983年

柳津町及び町議会から地熱調査再開の要請を受け、三井金属鉱業(株)は、1m深地温調査、地化学調査、温泉調査を実施した。これらのデータを基に新エネルギー総合開発機構(現(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)による「地熱開発促進調査: 奥会津地域」が1982年度から2年間実施された。また、1983年11月12日に、三井金属鉱業(株)、三井建設(株)、(株)東芝の出資によって奥会津地熱(株)が設立された。

精査期 : 1984-1989年

奥会津地熱(株)は企業化・開発調査を実施し、22本の坑井掘削を行った。1989年に9坑井の同時噴出試験を行い、蒸気量509t/hを確認し、同年、東北電力(株)と推進協定を締結した。

建設期 : 1990-1994年

1990年に東北電力(株)と奥会津地熱(株)は基本協定を締結し、環境アセスメント(1990-1992年)を経て、第122回電調審(1992)にて建設計画が了承され、1993年に発電所の建設工事を着工した。この期間に新たに7本の坑井掘削を行った。また、柳津町・東北電力(株)・奥会津地熱(株)の3者で環境保全協定が締結され、運開準備が整った。

運転期 : 1995年以降

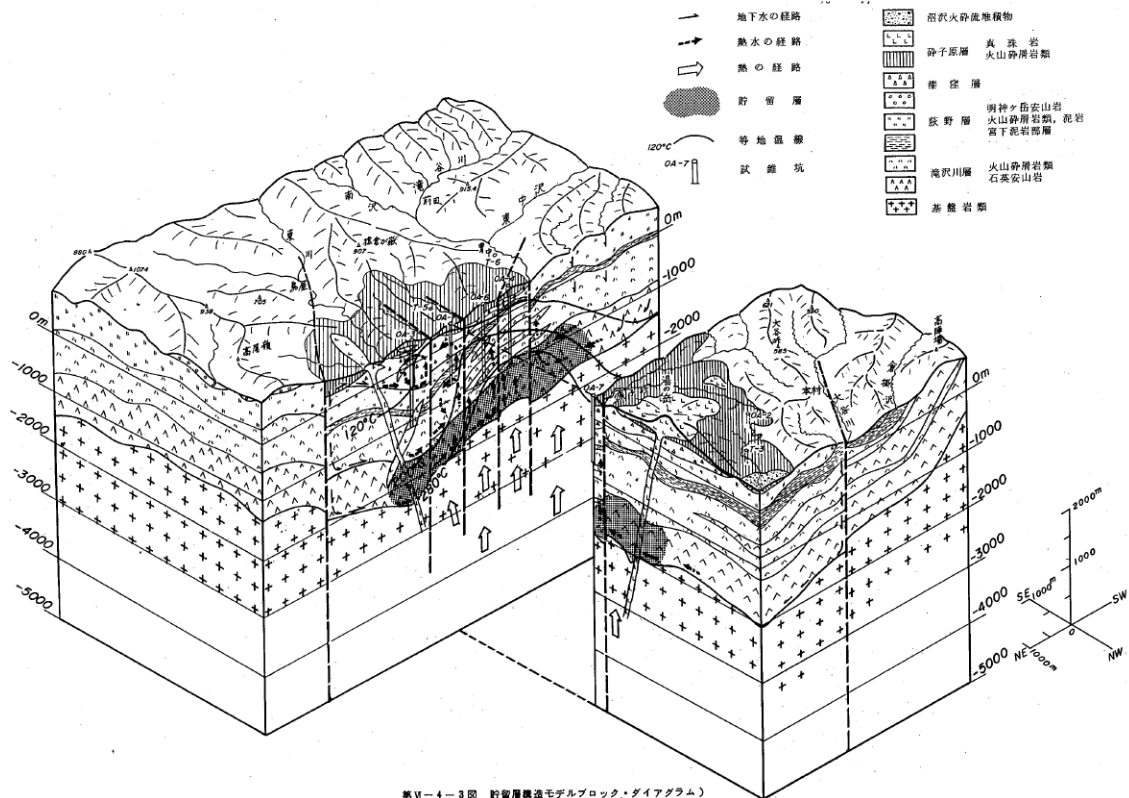
1995年5月25日、出力65,000kwの柳津西山地熱発電所が運開した。1998年7月、東北電力(株)は硫化水素除去装置を設置し、環境対策にも万全を期している。

柳津西山地熱発電所の開発経緯

		概査(1974-1983)	精査(1984-1989)	建設(1990-1994)	運転(1995以降)
企業調査	地表調査	地質、変質帯調査 温泉、地化学調査 1m深地温調査			
	坑井掘削		調査井/試験井掘削22本 ・生産井転用9本 ・還元井転用2本	生産井掘削6本 還元井掘削1本	補充井掘削
	資源量評価		噴出試験 確認蒸気量509t/h	噴出試験 確認蒸気量376t/h	地熱貯留層シミュレーション
	環境影響調査			環境アセスメント	
国の調査	地熱開発基礎調査	変質帯調査 地上物理探査 温泉調査 構造試錐1本			
	地熱開発促進調査	地化学調査 1m深地温調査 小口径調査井・試験井13本 経済性評価			

日本地熱調査会(2000): わが国の地熱発電所設備要覧 に加筆

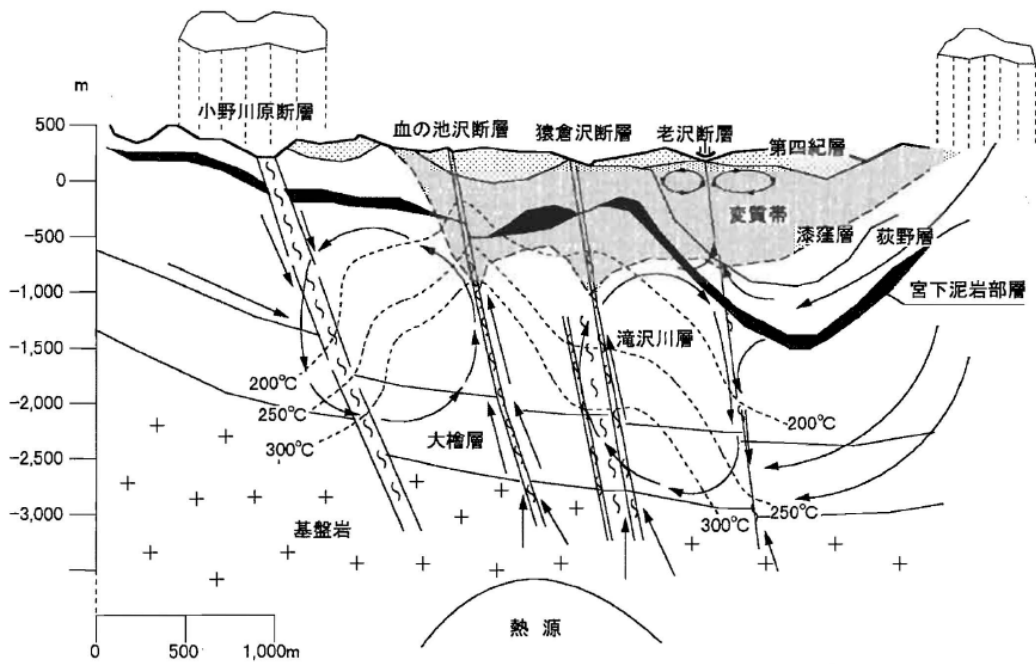
柳津西山地域の地熱構造モデル



第Ⅳ-4-3 図 貯留層構造モデルブロック・ダイアグラム

NEDO(1983): 地熱開発促進調査報告書(奥会津地域)

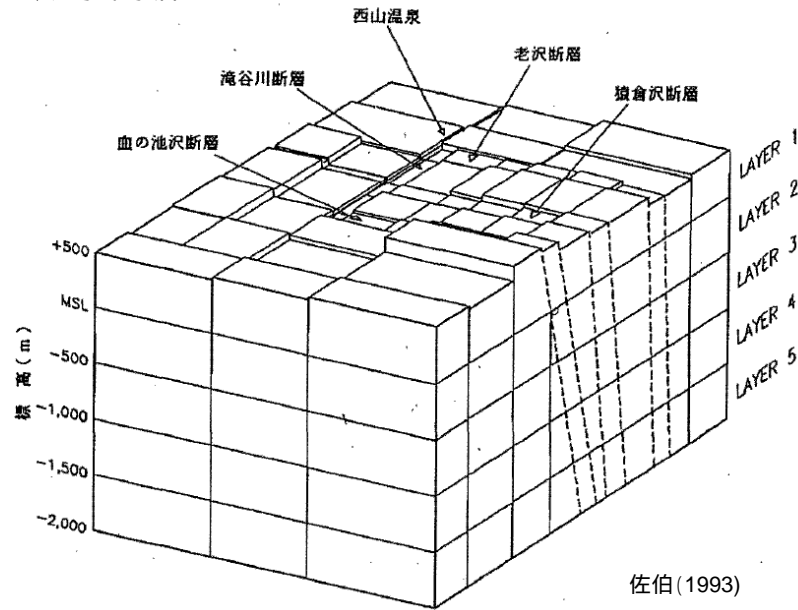
奥会津地域の地熱流体流動モデル



日本地熱調査会(2000): わが国の地熱発電所設備要覧

柳津西山地域の数値モデル

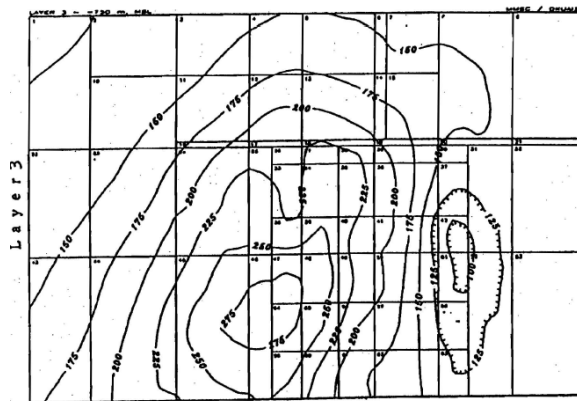
地熱貯留層のみを対象とし、温泉帯水層はモデル化されていない。



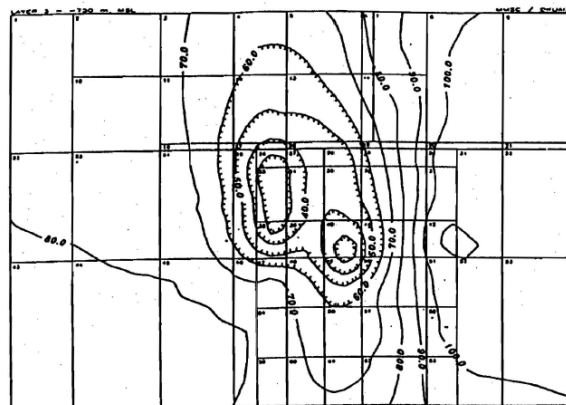
柳津西山地域の数値モデル計算例

想定した事業シナリオによる
生産・還元後の貯留層状態

温度



圧力

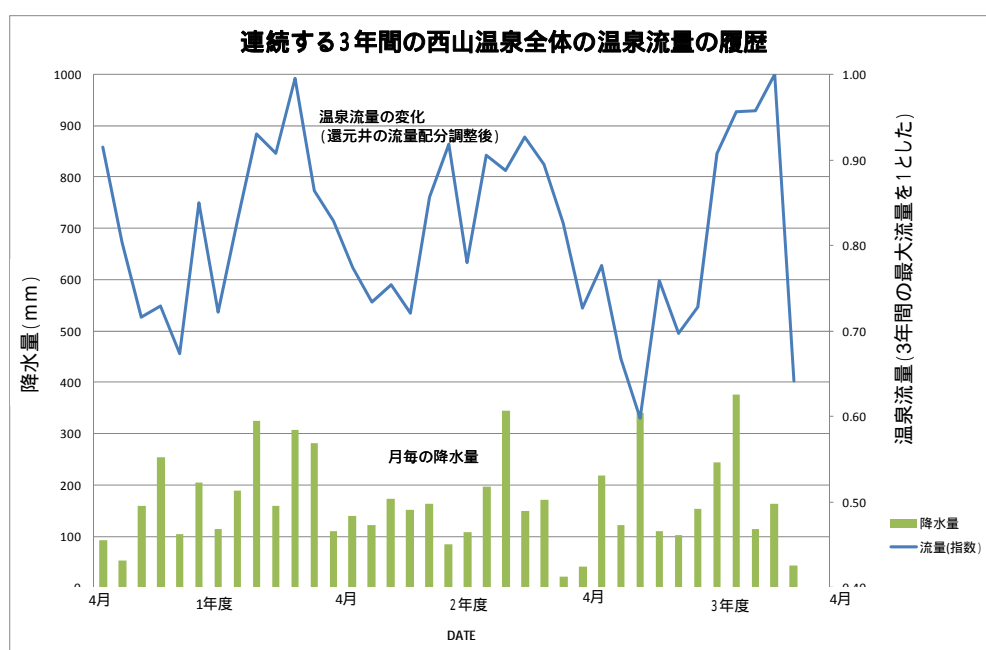


佐伯(1993)

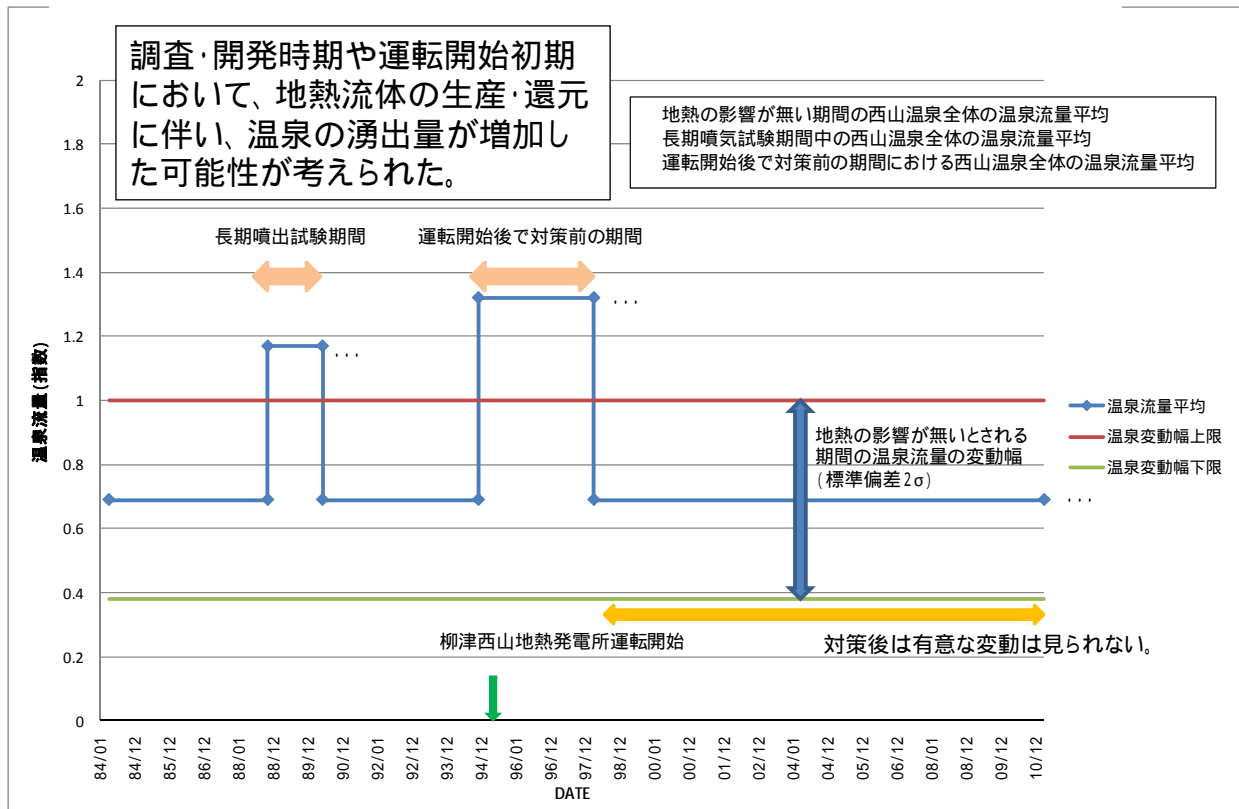
柳津西山地域の温泉モニタリング

- 地熱系概念モデル等の検討から、地熱貯留層と温泉帯水層の関係は弱いと考えられ、地熱貯留層の生産・還元が温泉に与える影響は殆ど無いと考えられた。
- 開発段階以降現在まで、柳津西山地域周辺の温泉において、湧出量および温泉成分の変動を定期的にモニタリング。
- 開発段階から発電所運転開始初期において、西山温泉で温泉湧出量が増加する現象が指摘された。
- 温泉モニタリングデータの検討等から、各還元井への還元流量配分の調整等を行い、上記現象を解消する事が出来た。
- モニタリングデータ等は地元関係者と事業者で共有され、定期的に検討されている。

温泉モニタリングの例(西山温泉)



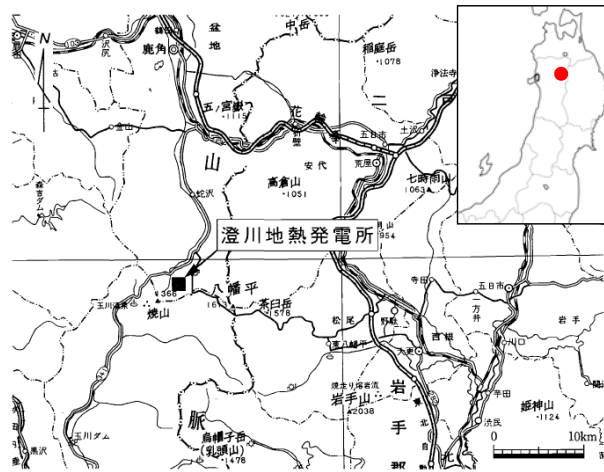
西山温泉の湧出量の履歴について



奥会津地熱㈱内部資料を参照

澄川地熱発電所開発経緯(その1)

- 1) 所在地
秋田県鹿角市八幡平字熊沢
- 2) 事業者
東北電力株式会社(発電部門)
八幡平地熱株式会社(蒸気部門)
- 3) 出力
設備容量 50,000kw
認可出力 50,000kw
- 4) 位置案内



(国土地理院発行の50万分の1地方図「東北」を使用)

- 位置
発電所は秋田県数の市南端の八幡平地区の表今日1,062mに位置し、周辺には南東約6kmに秋田・岩手両県にまたがる標高1,613mの八幡平がある。最寄の温泉地としては、八幡平温泉郷がある。
- 自然公園との関係
発電所は十和田八幡平国立公園に指定されていないが、国土利用計画法に基づく森林地域となっている。

澄川地熱発電所開発経緯(その2)

4)開発経緯

概査期 :1965-1973年

三菱金属(株)(現三菱マテリアル(株))は、広域調査を実施して、有望地区として大沼地区と併せて澄川地区を抽出した。

概査期 :1974-1980年

三菱マテリアル(株)は澄川地区に対し、追加地表調査と調査井の掘削を実施した。また、国の調査(地熱開発精密調査、全国地熱基盤調査、広域熱構造調査、発電用地熱開発環境調査)も導入された。試験井N52-SM-2で蒸気噴出を確認し、本格的調査の開始へと移行した。

精査期 :1981-1985年

三菱マテリアル(株)と三菱ガス化学(株)の共同開発が開始した。試験井を4坑掘削し、そのうちS-4坑で優勢な蒸気を確認した。また、東北電力(株)との共同調査委員会が設置され、50MW発電所建設の可能性について調査した。

精査期 :1986-1990年

三菱マテリアル(株)と三菱ガス化学(株)は50MW発電所建設を前提とした調査井(試験井)掘削計画を策定した。また、地熱探査技術等検証調査(仙岩地域)と地熱開発促進調査(地熱貯留層評価手法開発)が導入され、1990年に3カ月の一斉噴出試験を実施し、50MW相当の蒸気量が確認され、東北電力(株)と三菱マテリアル(株)とで開発基本協定が締結された。

建設・運転期:1991年以降

環境アセスメント(1990~1991年)を経て建設計画が了承され(1992年3月)、建設を開始し、1995年3月営業運転に入った。

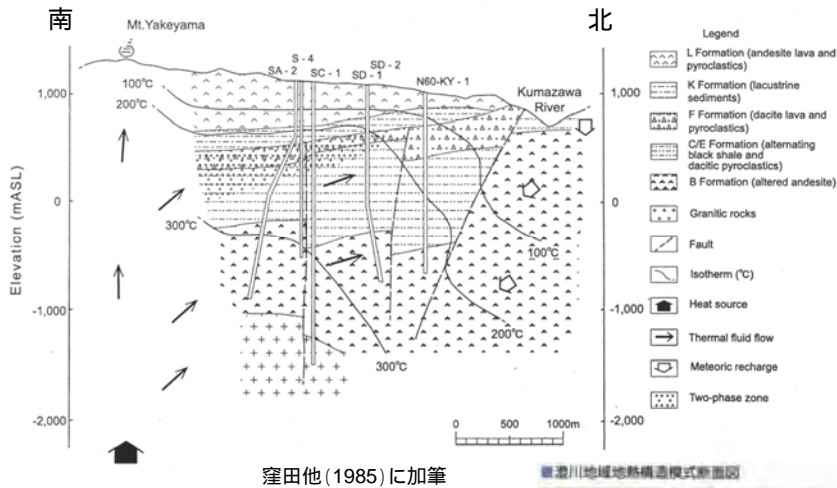
澄川地熱発電所の開発経緯

	概査期 (1965-1973)							概査期 (1974-1980)							精査期 (1981-1985)					精査期 (1986-1990)					建設・運転期 (1991以降)															
	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99					
企業による調査	地表調査	地質調査 重力探査							比抵抗探査 弾性波探査																															
	坑井掘削								Y-2T Y-3T O-5T							S-1 S-2 S-3 S-4					SA-1 SA-2 SB-1 SA-4 SB-2 SB-3 SD-2					SC-2 SB-4 SE-2 SE-1 SD-3 SE-3 SD-4														
	資源量評価																				資源量評価										SA-3									
	環境影響評価																														環境影響評価 建設工事開始 営業運転開始									
国による調査	地熱開発精密調査								50-HM-3																															
	発電用地熱開発環境調査								52E-SM-1 52E-SM-2																															
	地熱開発促進調査																				N60-KY-1 N61-KY-2																			
	地熱探査技術等検証調査															N59-SN-5					N61-SN-7D N62-SN-8R																			
																														電気探査(シュランベルジャー法)										
																														電気探査(チューベル法)										
																														電磁探査(MT法)										

凡例:

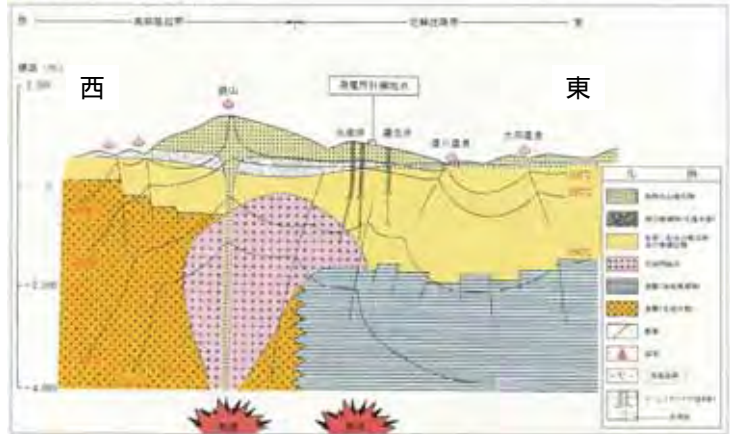
- 小口径井(構造試験、調査井、試験井、観測井)
- 大口径井(調査井、試験井、生産井、還元井、観測井;掘削深度2,000m未満)
- 大口径井(調査井、試験井、生産井、還元井、観測井;掘削深度2,000m以上)

日本地熱調査会(2000):わが国の地熱発電所設備要覧 に加筆



窪田他 (1985) に加筆

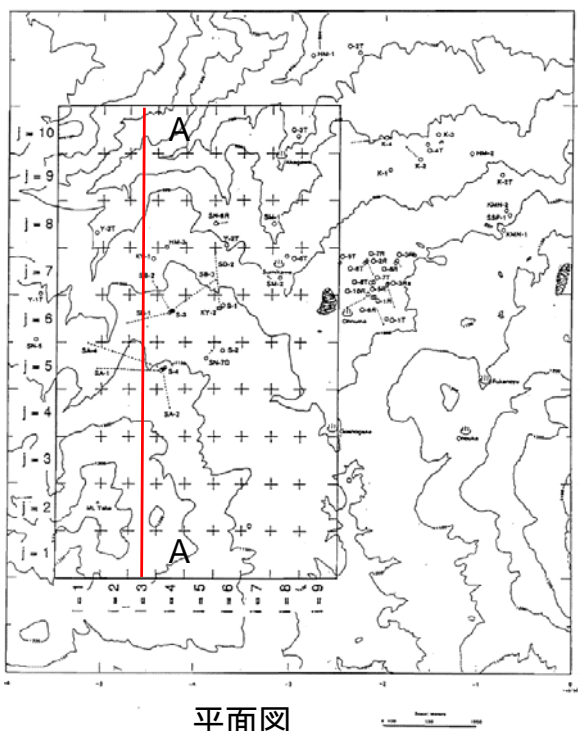
澄川地域地熱構造模式断面図



三菱マテリアル(株)内部資料

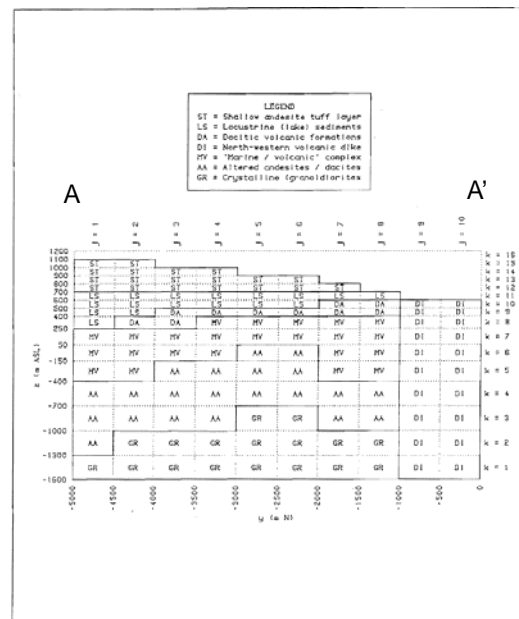
澄川地熱地域の地熱流体流動モデル

澄川地域の数値シミュレーションモデル



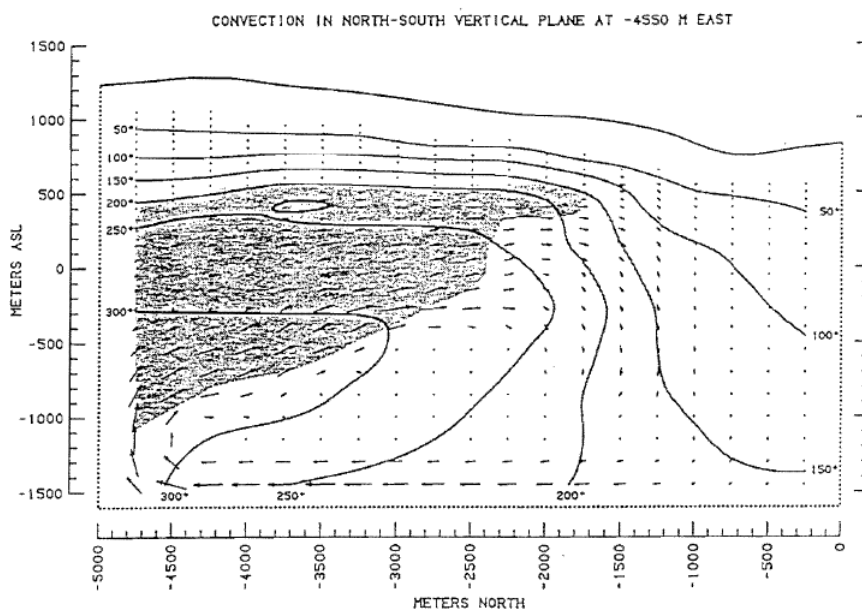
平面図

地熱貯留層のみを対象とし、温泉帯水層はモデル化されていない。



断面図

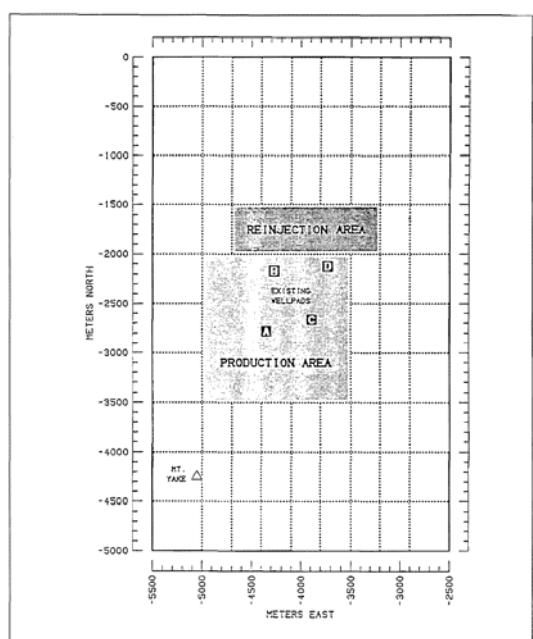
澄川地域の数値モデル計算例(1)



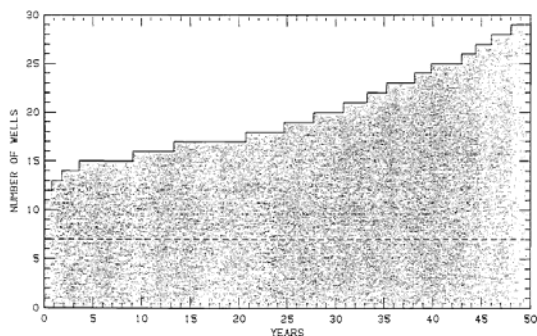
開発前(自然状態)の地下温度分布

NEDO(1993)地熱貯留層評価手法マニュアル

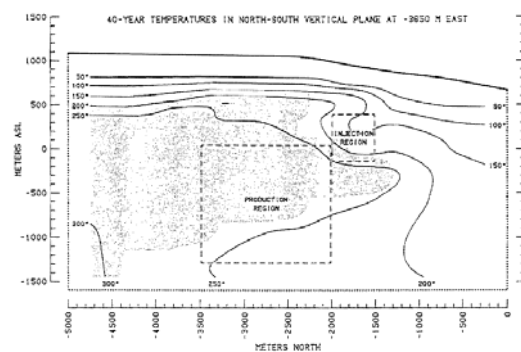
澄川地域の数値モデル計算例(2)



数値モデルに設定した生産域と還元域



想定した事業シナリオにおける追加生産井の設定例



想定した事業シナリオによる生産還元後の貯留層温度分布

NEDO(1993)地熱貯留層評価手法マニュアル

澄川地域の温泉モニタリング

- 地熱系概念モデル等の検討から、地熱貯留層と温泉帯水層の関係は弱いと考えられ、地熱貯留層の生産・還元が温泉に与える影響は殆ど無いと考えられた。
- 開発段階から発電所運転開始以降現在まで、澄川地域周辺の複数の温泉において、湧出量および泉温、pH・Na⁺・Ca²⁺・Cl⁻・SO₄²⁻・HCO₃⁻等の温泉成分の変動を定期的にモニタリングしているが、地熱発電に伴う変動は無いと報告されている(運転開始前の予測通り)。
- モニタリングデータ等は地元関係者と事業者で共有され、定期的に検討されている。

澄川地域周辺の温泉モニタリング例

