

## 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について

## (1) 地下の流体モデル・指標の検討の方向性と手順

本調査ではまず、国内の地熱資源に関する情報が豊富な地域から調査地域を抽出し、利用可能な情報により流体モデル（地熱貯留層と温泉滞水層を含むモデル）を作成する。

次に、ここで作成する流体モデルは現在考えられる範囲では適切に地下の流体流動系を再現しているものと考え、地熱発電事業実施前の各段階のうち（第1表、第1図）、「2)坑井調査」（または坑井調査＋浅部構造解析）のステージ、「4)資源量評価」（地熱資源量評価＋温泉影響予測）のステージで実施されるべき評価を、作成した流動モデルを用いた計算により行う。

この際、2)および4)のステージで、温泉のみの生産ケースと、温泉＋地熱井生産・還元のケースの温泉滞水層の変動（温泉滞水層の温度・圧力変化など）を比較すれば、その差は温泉・地下水の動態を評価するための指標になると考えられる。

過去に NEDO が実施した温泉影響予測手法導入調査では、「A. 広域地熱構造モデルの作成及び長期噴出試験時の温泉影響予測」、「B. 長期噴出試験に伴う温泉影響調査と評価」が地熱発電事業実施前の地熱資源調査段階での温泉影響評価の指標として提示されているが、これらは前述の2つのステージでの評価に相当する。

理想的には、1)および2)のステージで得られる知見を基に試験的なモデルを構築して、評価の信頼性を検討する事が望ましいと思われる。しかし、一般に地熱資源の評価は各ステージにおいて、限られた情報から議論を尽くして地熱系モデルを構築する事から、過去に遡って単純に情報量を指標として各ステージで構築されるべき地熱系モデルを試験的に作成する事は、実際に各ステージで行われる議論等と大きく乖離すると考えられ、ここで行うべき検討に有効に活用できないと考えた。

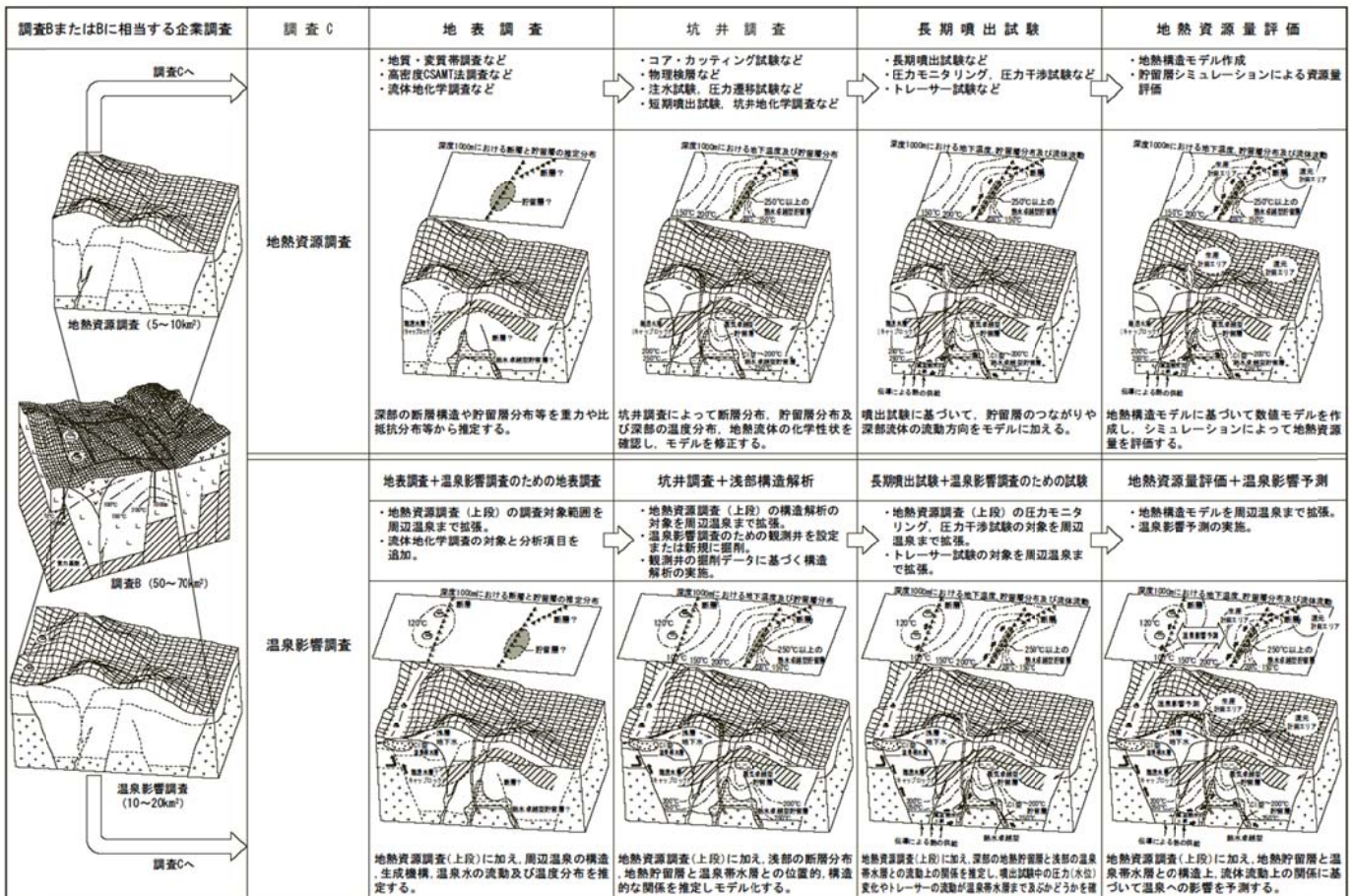
第1表 調査のステージと試験的に作成する流動モデルを用いた検証の関係について

地熱資源調査ステージ	温泉影響調査ステージ	流動モデル（※）を用いた検証
1) 地表調査	地表調査＋温泉影響調査のための地表調査	—
2) 坑井調査	坑井調査＋浅部構造解析	本ステージにおける温泉変動を流動モデル上に再現する。ここでは、実際の長期噴出試験の履歴を流動モデル上に再現し温泉変動を計算する。この際、長期噴出を行わなかった場合も併せて計算し、各計算で得られた温泉滞水層の変動を比較することで、温泉・地下水の動態を評価するための指標について検討する。
3) 長期噴出試験	長期噴出試験＋温泉影響調査のための試験	—
4) 地熱資源量評価	地熱資源量評価＋温泉影響予測	本ステージにおける温泉変動を流動モデル上に再現する。ここでは、地熱発電に伴う実際の地熱流体の生産・還元を流動モデル上に再現し温泉変動を計算する。この際、発電のための生産・還元を行わなかった場合も併せて計算し、各計算で得られた温泉滞水層の変動を比較することで、温泉・地下水の動態を評価するための指標について検討する。

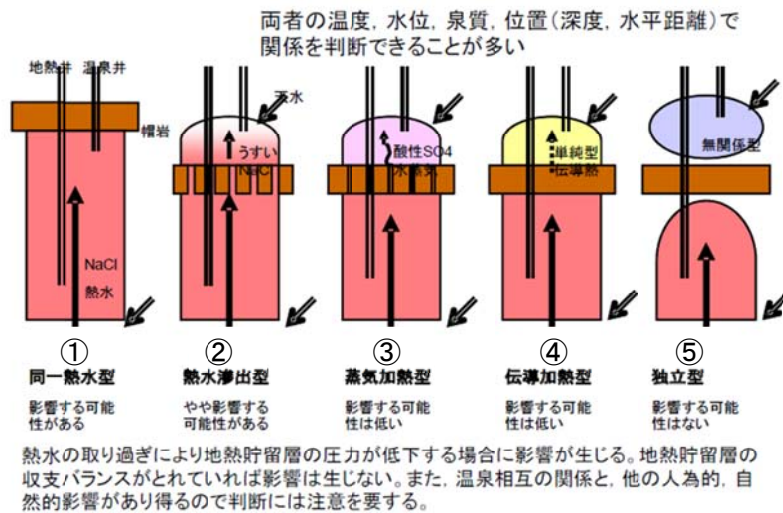
※最新の情報を基に最適化された流動モデルを使用する。

注) 地熱資源調査および温泉影響調査ステージは「平成13年温泉影響予測手法導入調査(第3次)報告書, NEDO」に基づく

地熱貯留層のタイプは、第2図に示したように、①同一熱水型、②熱水滲出型、③蒸気加熱型、④伝導加熱型、⑤独立型の5タイプに分類されている。この内、地熱貯留層と温泉滞水層とが影響し合う可能性が考えられるのは①同一熱水型である。また、やや影響する可能性があるのは②熱水滲出型であり、③～⑤のタイプは影響する可能性が低い。



第1図 地熱資源調査と温泉影響調査のフロー概念の比較 (NEDO, 2002)



第2図 地熱貯留層と温泉帯水層と帽岩の関係

(日本地熱学会, 2010)

(2) 検討の候補地と選定理由

本業務では、これらタイプのうち、温泉帯水層と影響し合う可能性がある①同一熱水型に該当すると考えられ、且つ、モデル構築と再現性の検証が可能でデータが入手できる福島県の柳津西山地域の1箇所を対象とする。また、他の2箇所の発電所については、本業務での解析結果を活用して、入手可能な

## 資料9

既存の解析結果を用いた概略検討を行う。

### (3) 使用シミュレータ

本業務では、多孔質媒体や断裂のある媒体中における、多相・多成分の混合流体の流体流れと、熱の流れを対象としたシミュレーションプログラム TOUGH2Version2 を使用する。本シミュレータは、1987年より米国ローレンスバークレー研究所の Pruess 博士を中心としたグループにより開発が進められ、現在もなおバージョンアップや新規機能の追加が以下の様に行われている。

- ・TOUGH 1986年 EOS3 (後述) 相当
- ・TOUGH2 1991年 EOS1~EOS5 (後述)、MINC
- ・T2VOC 1993年 VOC成分 (後述)
- ・ITOUGH 1999年 TOUGH2 に逆解析機能の追加
- ・TOUGH2 Version2 1999年 TOUGH2 のバージョンアップ版

本シミュレータは、国内外の多くの地熱資源調査で使用されており信頼性が高いとされている。これに関連する支援ソフトウェアは、本調査担当会社が独自に開発し、国内外で多く利用されており、高い信頼性での流体モデル作成が可能である。

### (4) 流体モデルの作成について

本業務では、奥会津地熱株式会社のご協力のもと、同社が運転開始以来構築を進めてきた柳津西山地域の地熱データベースおよび過去に構築された地熱貯留層モデルを活用する。以下に流体モデル構築の手順を示す。

#### A) 3次元地熱貯留層数値モデルの構築

柳津西山地域の地熱データベースおよび既存の地熱貯留層モデルを基に、3次元地熱貯留層数値モデルを構築する。既存の貯留層モデルには温泉影響評価用のブロック分割がなされていないので、既存モデルを基に新たにモデルブロックを作成し、温泉滞水層が適切に表現できるようにする。

##### a. 適正な数値ブロック分割

数値ブロック分割は以下の情報に基づき、適正な分割を行う。

- ①断層特性 (リニアメント及び断層・フラクチャ分布)
- ②水理地質特性 (地質層序・地層分布)
- ③熱源の位置, 種類
- ④流体流動 (方向, 経路, 温度・圧力分布, 流体単相・二相分布域)
- ⑤貯留層の水理構造 (透水性, 帽岩分布)
- ⑥温泉・自然噴気・河川・湖沼等の地表面のディスチャージ・リチャージ域
- ⑦地形
- ⑧地熱流体の起源, 性状
- ⑨坑井位置
- ⑩温泉位置

##### b. 数値ブロックへの数値入力

数値ブロックへは、以下のような入力設定を行う。

- ①岩石物性の設定
  - ・密度, 空隙率, 熱伝導度, 比熱
  - ・浸透率
- ②境界条件の設定
  - ・境界条件 (閉鎖・開放) のタイプ設定 (浸透率分布, 温度分布, 貯留層圧力分布等に基づき決定する)

## 資料9

- ・各境界の設定（温度，圧力，熱流束，質量流束等）
- ③初期条件
- ・温度
  - ・圧力
  - ・乾き度（二相状態のブロックに関しては乾き度も設定する）

### B) 自然状態シミュレーション

構築した3次元地熱貯留層数値モデルをベースに自然状態シミュレーションを実施し、熱・質量平衡のとれた3次元地熱貯留層モデルに修正する。自然状態シミュレーションでは、既往データ（及び推計的手法）より得られる静止温度、圧力に基づき、冷却した初期状態の貯留層に熱源からの温度による加熱を加えて、数万～数十万年程度以上の経過時間における貯留層内部の状態を計算して、柳津西山地域での発電事業が始まる前の段階（自然状態）での温度分布に近い状態で、系内が平衡するモデルを構築する。

温度分布が調査データと異なる場合、モデルの岩石物性値（浸透率等）、境界条件を調整して、調査データに合致させるようにモデルを修正する。

ここで、境界条件として降水量などを考慮する必要がある場合は、近年の平均的な値（年平均）を参照する。

### C) ヒストリーマッチングシミュレーション

柳津西山地域の生産・還元ヒストリーをB) で作成したモデル上に再現し、計算で得た各生産井の流体エンタルピーと計算された各生産井のエンタルピーが整合する様にモデルを修正する。この際、温泉生産ヒストリーについてもモデルに追加する。なお、温泉ヒストリーについては、細かい湧出量の変化などが記録されて居ない可能性があるため、その場合は平均的な値（年平均など）を用いる。

ここで最適化されたモデルは地下の流動状況を適切に表現していると考え、温泉影響に関する検討に利用する。

### D) 温泉影響シミュレーション

上記「(1)」で示した手順に従い、地熱資源調査の「2) 坑井調査」と「4) 地熱資源量評価」の各段階における計算を行う。この際、地熱井の生産還元+温泉生産を行うケースと、温泉生産のみのケースを計算し、地熱井の生産・還元が温泉滞水層に与える影響を計算する。ここで計算される影響としては、温泉滞水層の温度と圧力の変化となる。

NEDO が平成 13 年に行った温泉影響予測手法導入調査では、温泉影響調査の重要な指標の一つとして生産による圧力伝搬の影響の把握等が指摘されており、ここで計算される温度・圧力の変化はこれらの指標となると考えられるため、そのような視点から計算された温泉滞水層の変化について検討する。

また、流体モデルの再現性についても、同計算結果の差と実際に想定される温泉変動との比較等により検証する。