

# 奥会津地熱フィールドの現況と 今後の貯留槽管理技術研究への期待

安達 正 敏<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

奥会津地熱フィールドに於ける地熱発電は1995年(平成7年)の操業運転開始から昨年5月で満14年を迎えた。この間の生産流量は平均して蒸気・熱水500 t/h, 内, 蒸気446t/hである。蒸気卓越型であるため還元能力に問題はないが, 反面, 生産領域への熱水補給が不足しがちとなる問題がある。発電出力の平均は44.5MWであるので, 65MWの認可出力に対して対暦日68%の設備利用率に留まっている。認可出力への回復が望まれるが, 同心円状を示す地温分布はレザヴァーの水平方向の限界を示しており, 未知領域への拡大を平面的に図ることは期待薄である。

従って, 必要な対策として, ①生産井個々への日常的な坑井刺激技術を活用し, ②補充生産井を適宜追加掘削し, ③生産領域への涵養注水を行ってレザヴァー圧力の減衰を補うことによって, 現在の生産量を維持しているが, レザヴァーの減衰は未だ進行中であり, 再生可能領域を模索中である(安達, 2007b)。

今後はスケール対策を含めた坑井維持管理・刺激技術と, 総合的貯留槽評価・管理技術の確立が望まれる。

本報文は2009年4月15日に行われた産業技術総合研究所(産総研)石戸経士氏の定年退職記念ミニシンポジウムで講演した内容をほぼ忠実に再現したもので, 現況とはその時点のものである。

## 2. 概要

地形図上で明瞭に認められる北西-南東方向の3本の平行な沢は空中写真でリニアメントとして解析され, 断裂上の地層が選択的に削剥されたことを反映

している。この断裂を南から北へ, 血の池沢断層-P1系生産ゾーン, 猿倉沢断層-P2系生産ゾーン, 老沢断層-還元ゾーンとして利用している(第1図)。これらの断層を切る北北東-南南西の滝谷川はリニアメントとして解析され, 滝谷川断層と呼んでいる。老沢断層と滝谷川断層が交差する位置に西山温泉がある。これらの断層は小坑径調査井で走向傾斜を確認しており, 上記4断層に加えて北の沢断層, 小野川原断層の2断層もボーリングで確認した(新田ほか, 1987)。

奥会津地熱(株)はこれまでに38本の地熱井(小口径調査井, 生産井, 還元井)を掘削し, この内, 生産井20本(血の池沢断層, 猿倉沢断層), 還元井1本(老沢断層), 涵養井1本(血の池沢断層と猿倉沢断層の中間), 観測井1本(老沢断層)を現在使用している。

海拔-1,600m準(地下約2,000m)の地温分布は, 北西-南東方向の長軸で閉じた同心楕円を示す(第2図)(新田ほか, 1987)。高温の中心は血の池沢断層に一致し, 猿倉沢断層を経て老沢断層に行くに連れて



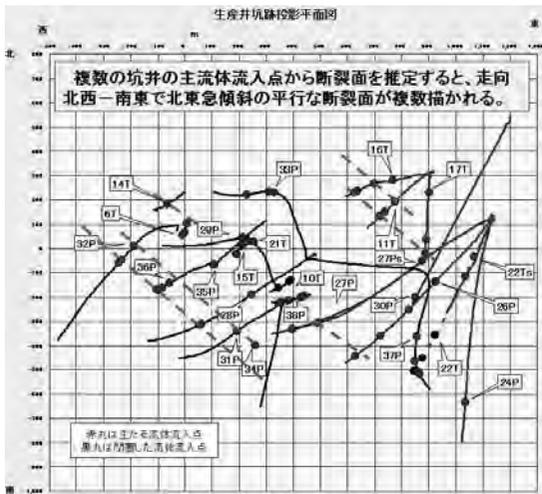
第1図 断裂系。

1) 奥会津地熱株式会社  
東京都品川区大崎1-11-1

キーワード: 奥会津地熱フィールド, 貯留槽管理技術



第2図 地温分布図。

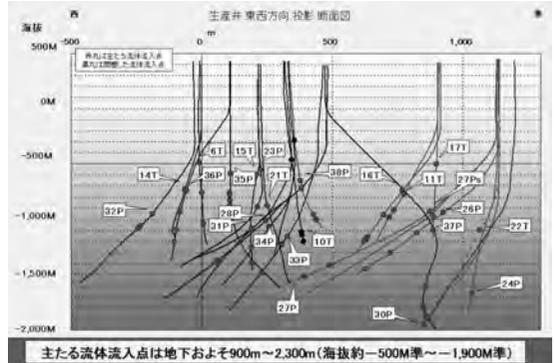


第3図 断层面計算結果。

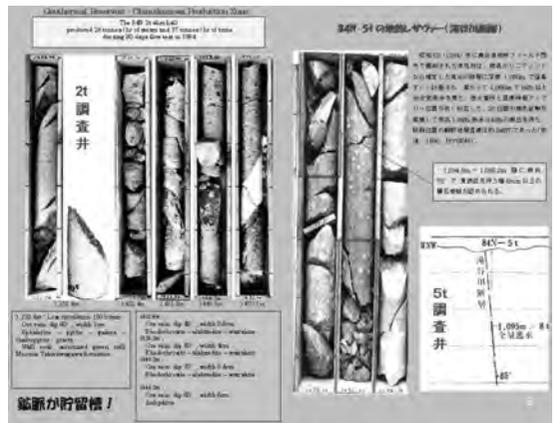
低温となっている。同心円状を示す地温分布はレザヴァーの水平方向の限界を示しており、未知領域への拡大を平面的に図ることは期待薄である。

初期の調査井で確認された断層系は開発が進んでボーリングデータが増えるにつれて断層群としての様相を示すようになった。このため、補充生産井の掘削ターゲットの位置を決めるために3本以上のボーリングから得られる主要な地熱流体流入点の位置から断層面を計算して、その延長をターゲットとして掘削計画を立てている(第3図)。計算された断層面は走向がNW-SE系で傾斜は垂直~NE急傾斜である。この手法でほぼ数10m~100数10mの誤差で標的を捉えている。

2010年1月号



第4図 生産井坑跡投影東西断面図。



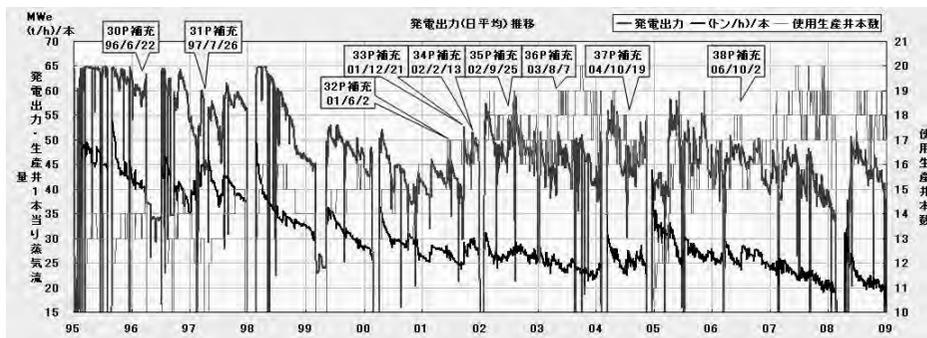
第5図 地熱レザヴァーの鉍脈コア。

地熱流体採取深度は地表下900mの海拔-500mから海拔-2,000mである(第4図)。地熱レザヴァーを構成する断層は、初期の小口径調査井で採取したコアにて肉眼で観察できる(第5図)。断層は破碎帯または剪断裂隙であり、鉍脈が沈殿している。

### 3. 生産実績

これまでの生産実績を第6図に示す。生産実績の特徴は次の4期に区分できる。

- ①初期減衰期：65MWから出発したが間もなく減衰が顕在化し、2000年に38MWまで低下した時期。
- ②生産井補充期：2001年から2006年までに7本補充生産井を掘削して平均45MWを維持した時期。
- ③生産井トラブル期：2007年から主力生産井37P



第6図  
生産量の履歴。

と6Tの坑井内トラブルで出力が低迷した時期。

- ④安定生産回復準備期：2008年に非凝縮性ガス抽出器が改良されて400t/hの蒸気で47MWの発電出力が可能となり、37Pと6Tの坑井改修と補充生産井09N-39Pを掘削準備中で47MWへの回復を計画している現在（従来は47MWの発電出力に450t/hの蒸気流量が必要であった）。

#### 4. 貯留槽管理

奥会津地熱(株)の現在の貯留槽管理は次のように整理される。

##### (1) 個別生産井

- 1) 生産監視：①二相流計測，②坑口圧力計測，③トレンド解析，④地化学モニタリング，⑤坑口温度計測，⑥検層，⑦流量特性試験
- 2) 坑井改修：①37P⇒坑井内の地層崩壊物を浚渫，②6T⇒管壁圧壊を修復し，坑井内の炭酸カルシウムスケールを排除。
- 3) 坑井刺激：①希塩酸洗浄⇒坑井内およびレザヴァー内の炭酸塩スケールを溶解，②清水洗浄⇒レザヴァー内の物理的障害物(砂・礫・スケール片)を排除，③揺さぶり⇒生産井を止めることなくレザヴァー内の物理的障害物(砂・礫・スケール片)を排除。
- 4) 炭酸塩スケール抑制剤常時注入：ポリアクリル酸ソーダをインコロイ製キャピラリーチューブで注入(生産井5本)。

##### (2) 貯留槽全体

- ①補充生産井掘削⇒毎年1本，隔年1本，3年毎1

本の選択肢を検討中。②涵養注水⇒生産井30Pを用い，最深部から生産ゾーン下方に注水。③貯留槽圧力の把握⇒直接連続観測が困難なので，ビルドアップ時の坑口圧力ホーナー法解析と数少ない検層データにより推定。④貯留槽評価シミュレーションによる将来予測。

#### 5. トレンド解析

個別生産井の生産監視におけるトレンド解析は生産障害回復対策の有用な道具である。トレンドパターンは次の5例に分類できる(安達, 2007a)。

- ①レザヴァー圧力低下に伴う正常減退トレンド(指数関数～調和関数)，②レザヴァー内の物理的障害物による不規則トレンド，③坑井内スケールによる上に凸の放物線トレンド，④浸透率改善による増加トレンド，⑤他坑井の停止・噴気および注水による干渉トレンド(第7図)。

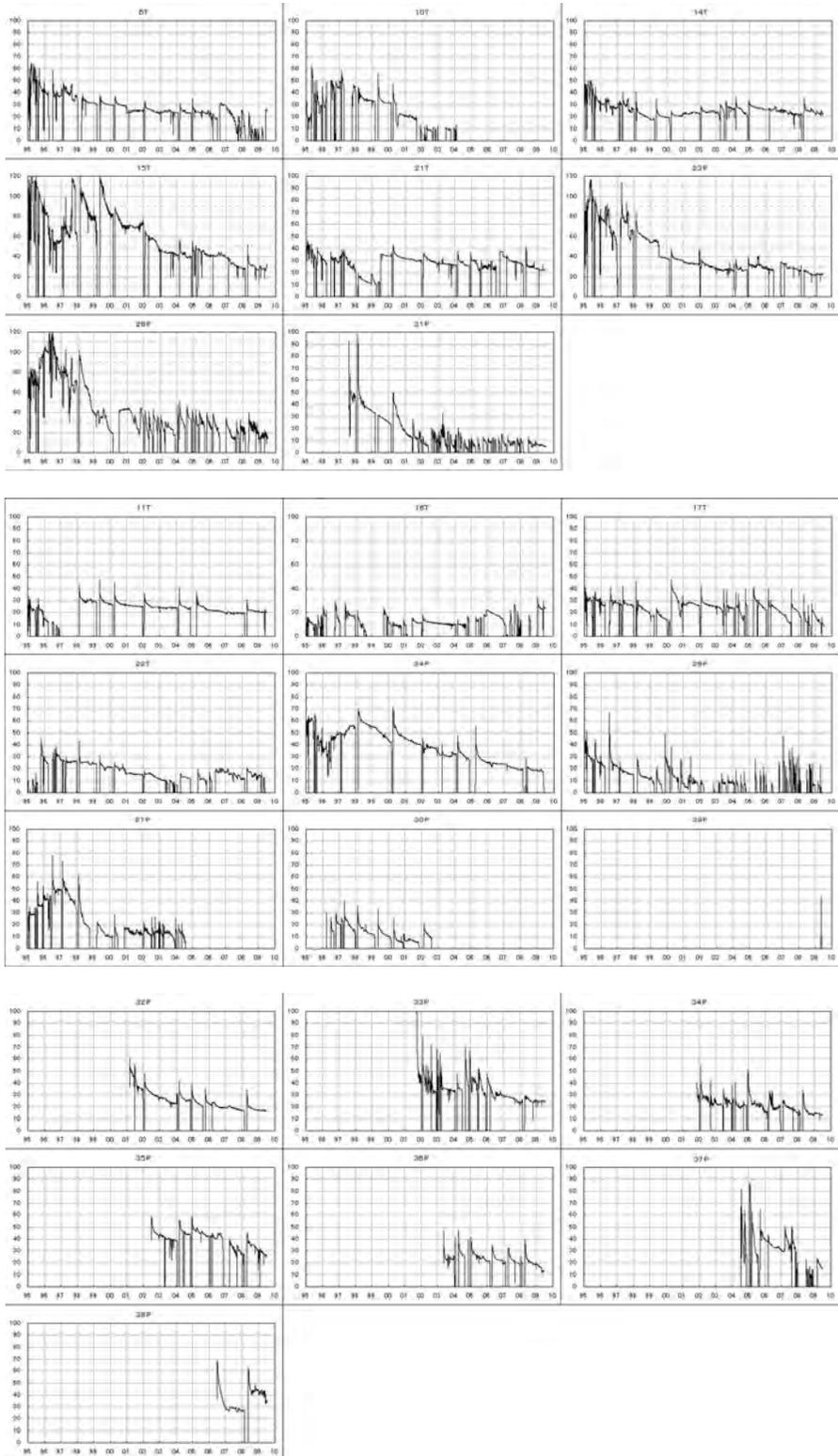
#### 6. 貯留層変動探査法

1997年から始まったNEDOの貯留層変動探査法開発プロジェクトで奥会津地熱フィールドに適用された探査法は重力探査法と傾斜計利用観測法であった。

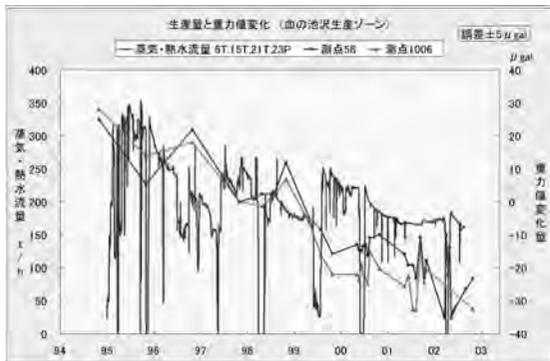
奥会津地熱(株)では運開1年前の1994年に重力モニタリングを開始した。NEDOの貯留層変動探査法はこの調査を引き継ぐ形で行われた。

重力モニタリングでは運開直後に大きな重力変動が観測された。

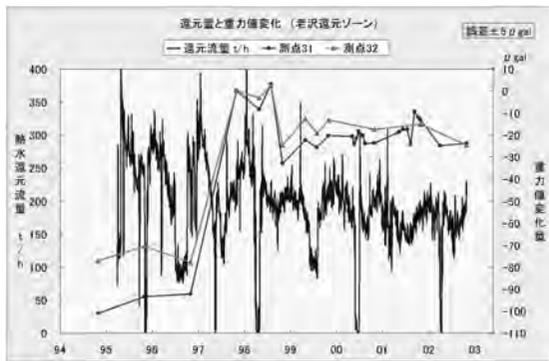
第8～10図は血の池沢生産ゾーン，猿倉沢生産ゾーン，老沢還元ゾーンの中央部に配置された観測点の重力モニタリング結果をその足元に，地熱流体流



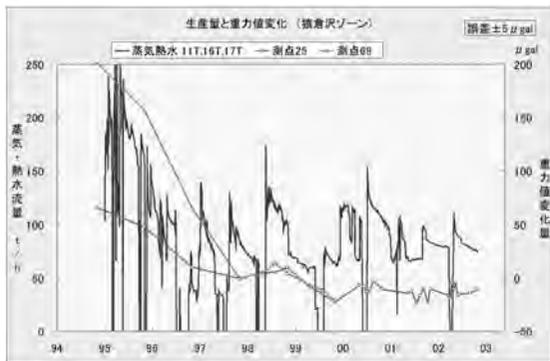
第7図 全生産井蒸気流量・坑口圧力トレンド。



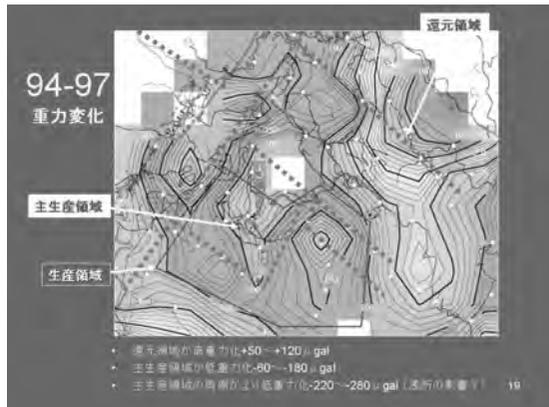
第8図 血の池沢生産ゾーンの蒸気生産流量と重力変化。



第10図 老沢還元ゾーンの熱水還元流量と重力変化。



第9図 猿倉池沢生産ゾーンの蒸気生産流量と重力変化。



第11図 運開前後の大きな重力変化。

入点を有する複数生産井の生産流量または還元流量とを比較して示したものである。重力値は1997年の観測値との差で示してある。

血の池沢生産ゾーンの測点58と測点1006の重力変化は生産井6T, 15T, 21T, 23Pの合計蒸気流量の減衰トレンドが調和関数トレンドであるのに対して、それを上回る直線的減衰トレンドを示している(第8図)。重力値の変化量は60マイクロガル程度の大きな減少である。

猿倉沢生産ゾーンの測点25と測点69の重力変化は生産井11T, 16T, 17Tの合計蒸気流量の減衰トレンドと整合的な調和関数トレンドを示す(第9図)。1997年以前の重力変化量は測点25が50マイクロガル減であるのに対して、測点69では200マイクロガルを超える大きな減を示し、隣接する2点間の差が大きいので観測に何らかの問題があったおそれがあるもの

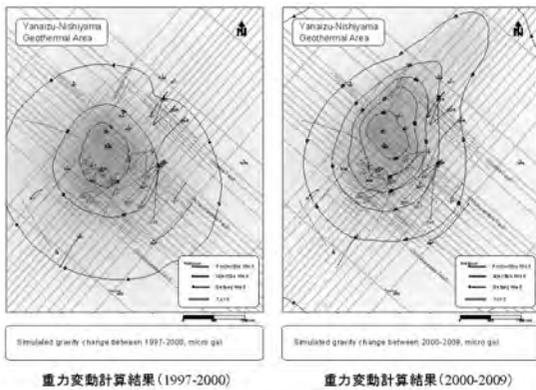
の、測点25の値は信頼できそうである。両測点共に1998年以降は10マイクロガル程度の小さな減少を示す。

老沢還元ゾーンの測点31と測点32の重力変化は1995年の還元開始から1年半後までの2回の観測値では運開前1994年の値と比べて10マイクロガル程度の僅かな増加を示すに過ぎなかったが、2年半後の1997年には80マイクロガルの大きな増加を示した。その後は熱水還元流量の減衰トレンドと整合的に調和関数トレンドを示しながら20マイクロガル程度減少した(第10図)。

第11図では1997年までに生産領域で大きな重力値の減少が観測され、還元領域に大きな重力値の増加が観測されたことを示している。第12図は1999年から2000年までの1年間を比較したもので、ほとんど重力値の変化が観測できなくなったことを示してい



第12図 運開後の小さな重力変化。



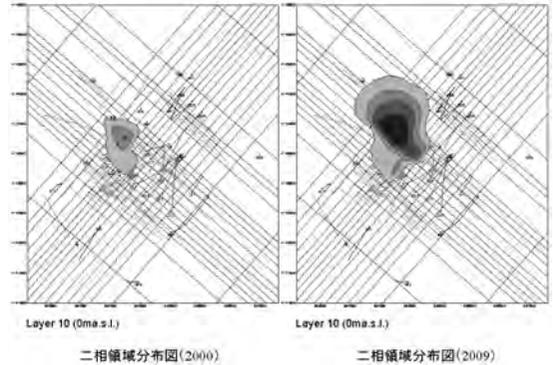
第13図 重力変化シミュレーション結果。

る。

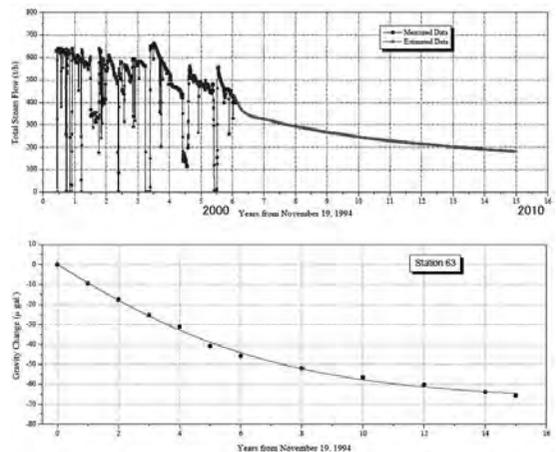
重力モニタリングは地熱レザヴァーの質量欠損を的確に捉えたが、国の政策変更に伴う地熱予算の大幅な減少を受けて貯留層変動探査法技術開発が2002年をもって中止され、奥会津地熱(株)としてこの開発を継続する予算的余裕がなかったため、その後のデータは取得されていない。

貯留層変動探査法では地熱レザヴァーの質量欠損をシミュレートするレザヴァーモデルが作られた。第13図はその結果を示している。

第14図はこの地熱レザヴァーシミュレーションから導かれた二相領域の分布範囲を示したものである。奥会津地熱レザヴァーは自然状態では熱水単相であったが、生産開始から5年後には血の池沢生産ゾーンに二相領域が広がったことが示されている。このモデルを用いて将来予測が行われた(第15図)。それによると2001年以降に補充生産井を掘削しないと2009



第14図 二相領域分布シミュレーション。



第15図 重力変化将来予測シミュレーション。

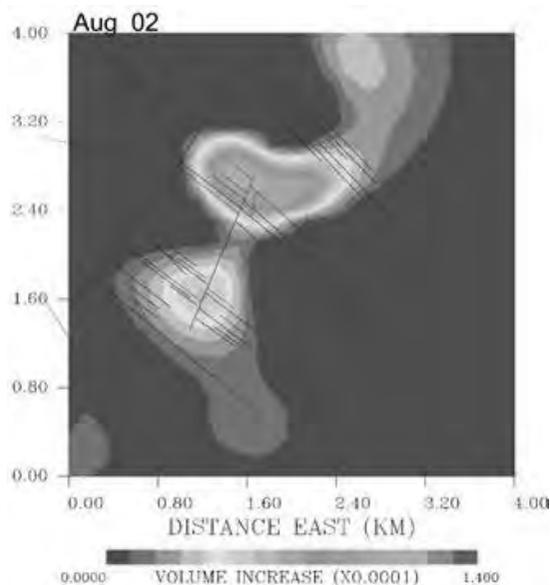
年には蒸気生産流量は200t/hを下回るというものであり、この時、測点63の重力値は2001年時点で運開前と比べて45マイクロガル減少していたが、2009年には更に15マイクロガル減少して60マイクロガル余りの減少になると計算された。

重力モニタリングは生産開始から数年間の変化を捉えるのに十分な精度を持っており、有効な手法であるが、その後は更に一段上の精度が要求される。

高感度傾斜計モニタリング技術開発では生産開始に伴う傾斜変化を捉えた(第16図:中込ほか, 2001)が、配置した測点の一部に故障が生じ、十分な検証のできないまま中断された。

## 7. 貯留層変動探査システム統合化

NEDOの貯留層変動探査法技術開発が途中で予



第16図 傾斜計モニタリング結果.

算を削除されたため、産総研における研究として企業との共同研究を行うこととなった。柳津西山地点では石戸氏、當舎氏、西氏、杉原氏により、絶対重力計モニタリングと自然電位モニタリング、数値シミュレーション、システム統合化が行われた(「奥会津地熱地域における貯留層変動探査法・システム統合化の研究」)。以下に、この研究成果についての記述を産総研共同研究終了概要報告書から引用する。

「地熱発電所の経済性ある持続的開発のために、貯留層の変動を捉え将来挙動を予測する貯留層評価管理技術の開発を目的として、平成9～13年度の貯留層変動探査法開発の成果をベースとして、ヒストリーマッチングに地球物理学的モニタリング手法を適用した貯留層評価管理技術の確立を目指したものであった。

具体的には、平成14年度・平成16年度に実施された生産一時停止の機会を捉えて重力・SP(自然電位)の統合モニタリングを実施し、絶対重力計を用いたハイブリッド測定により5マイクロガルの測定精度を実現するとともに、自然電位の連続観測では10mV程度と小さいが再現性のある短期変動の補足に成功した。これらは、単純化された数値モデルでのシミュレーションによる予測と調和的な実測データであり、貯留層の短期変動に対する地球物理学的モニタリング

データがヒストリーマッチングにおいて拘束条件として使用可能であり、モデルの精緻化に有効であることを示している。

また、既存の貯留層モデルをベースとして統合ヒストリーマッチング環境への移植を行い、パラメータを変えながら貯留層シミュレーションを実施した。この過程において、既存のモデル変換プログラムの問題点等を明らかにした。十分なマッチングを得るためには、移植した数値モデルの更なる改良が必要であるが、この点は今後の課題として残されている。

本共同研究の以上のシステム統合化実験の成果については、中間成果を日本地熱学会において発表するとともに、最終成果を2005年4月に世界地熱会議2005(トルコ、アンタルヤ)において発表した。共同研究は終了したが、積み残した課題は未だ多くあり、今後のフォローアップが期待される。」

## 8. 今後の貯留層管理技術研究への期待

本報告では、柳津西山地熱地域に於ける最近の貯留層管理技術研究の現状と、過去の特に産総研が関係した技術開発について紹介した。

最近の貯留層管理技術研究の現状については、①個々の生産井の坑井刺激技術を活用し、②補充生産井を適宜追加掘削し、③涵養注水を行って生産量を維持している状況と総括できるが、貯留層の減衰が未だ進行していると見られ、再生可能領域の最適生産量を模索中である。

今後は、①スケール対策を含めた坑井維持管理・刺激技術の体系化と、②総合的貯留層評価・管理技術の確立が望まれる。

謝辞：石戸経士博士には三井金属鉱業(株)エネルギー資源調査部で地熱資源開発を本格化した時期に関係者への講義のためにご足労戴き、貯留層工学から見た地熱レザヴァーの概要を教えて戴いた。今回、氏の定年退職を記念して行われたミニシンポジウムで発表する機会をお誘い戴いた上に、この拙著を上梓する機会を頂戴したことは筆者の光栄とするところであり、シンポジウムの開催と地質ニュース特集号編集に多大の労をとられた安川香澄博士、柳澤教雄博士、矢野雄策博士をはじめとする産総研の諸氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 安達正敏 (1988) : 奥会津地域の地熱資源について, 第85回エネルギー専門講座, エンジニアリングニュース社, 1-10.
- 安達正敏 (2004a) : 奥会津地熱フィールドにおける蒸気減衰対策, 資源地質, 54 (1), 13-26.
- 安達正敏 (2004b) : 柳津西山地熱発電所運開から9年の蒸気供給の現状, 地熱技術, 29 (1&2), 3-17.
- 安達正敏 (2005) : 奥会津地熱フィールドの減衰対策, 地熱研究会講演資料, 地熱技術開発, 1-40.
- 安達正敏 (2006) : 奥会津地熱による柳津西山地熱発電所への蒸気供給の現状と技術的課題-持続的再生可能性を求めて, NEF地熱開発マネージメント研修会講演資料, 1-17.
- 安達正敏 (2007a) : 奥会津地熱生産井の流量トレンドの考察, 地熱学会講演要旨.
- 安達正敏 (2007b) : 奥会津地熱レザヴァーの持続的再生性の考察, 地熱学会講演要旨.
- 安達正敏 (2008a) : 奥会津地熱系の生産管理と資源量評価, 日本エネルギー学会誌, 「地熱利用技術の研究開発最前線」特集号, 2008年10月号.
- 安達正敏 (2008b) : 奥会津地熱貯留槽の地化学温度経年変化, 地熱学会講演要旨.
- 安達正敏・佐藤龍也 (2006) : 坑口圧力観測値を利用した貯留槽圧力の推定-奥会津地熱フィールドの例, 地熱学会講演要旨.
- 安達正敏・外池邦臣・大賀啓行 (1985) : 奥会津地熱地域におけるELF-MT法比抵抗マッピング調査, 地熱学会講演要旨.
- 青山謙吾・安達正敏 (2007) : 奥会津地熱フィールド生産井04N-37Pにおける坑井刺激の功罪, 地熱学会講演要旨.
- 青山謙吾・安達正敏 (2008) : 奥会津地熱地域における坑口圧力ビルドアップ挙動と噴気流量トレンドの関係に関する考察, 地熱学会講演要旨.
- 福田大輔・安達正敏 (2005) : 奥会津地熱地域における地熱ガスの地球科学: 化学組成に基づく分類と注水への応答, 地熱学会講演要旨.
- Ishido, T., Goko, K., Adachi, M., Ishizaki, J., Toshi, T., Nishi, Y., Sugihara, M., Takakura, S. and Kikuchi, T. (2005) : System Integration of Various Geophysical Measurements for Reservoir Monitoring. WGC2005.
- 今井秀喜・安達正敏・高橋幹男・山口光男・家城康二 (1988) : 福島県奥会津地熱試錐井における地熱流体より沈殿した硫化鉱物ならびにその浅成金鉱脈との関連, 鉱山地質, 38, 291-301.
- 中込 理・唐崎健二・安達正敏・堀越孝昌 (2001) : 高感度傾斜計による貯留層の動的特性評価 (奥会津地区を例として), 地熱学会講演要旨.
- 西 祐司・杉原光彦・石戸経士・安達正敏・佐伯和宏 (2005) : 重力・自然電位変動データを用いた貯留層モデリング-奥会津地域についての感度解析, 地熱学会講演要旨.
- Nishi, Y., Ishido, T., Sugihara, M., Toshi, T., Adachi, M., Saeki, K. and Ishizaki, J. (2005) : Reservoir Monitoring in the Okuaizu Geothermal Field Using Multi-Geophysical survey Techniques. WGC2005.
- 新田富也・安達正敏・高橋幹男・井上啓二・阿部泰行 (1991) : 福島県奥会津87N-15T坑井地熱流体からの重金属鉱物の沈殿について, 鉱山地質, 41 (4), 231-242.
- 新田富也・寿賀祥五・塚越重明・安達正敏 (1987) : 福島県奥会津地域の地熱資源について, 地熱99, 340-370.
- Nitta, T., Suga, S., Tsukagoshi, S. and Adachi, M. (1987) : Recent Exploration and Development of the Okuaizu Geothermal Field, Japan. New Zealand Geothermal Work Shop.
- 新田富也・塚越重明・安達正敏・瀬尾邦夫 (1995) : 福島県奥会津地熱地帯の探査とその開発, 資源地質, 45 (4), 201-212.
- 大関仁志・安達正敏 (2007) : 奥会津地熱フィールドにおける坑井刺激効果の検証, 地熱学会講演要旨.
- 大関仁志・安達正敏 (2008) : 奥会津地熱地域における生産井の流量特性の経年的変化, 地熱学会講演要旨.
- 関 陽児・安達正敏 (1997) : 奥会津地熱地域の層序と熱水変質, 地質調査所月報, 48 (7), 365-412.
- 塚越重明・安達正敏・大屋 峻・小林 学 (1988) : 奥会津地熱地域のTDEM調査 (2), 地熱学会講演要旨.
- 
- ADACHI Masaho (2010) : The present condition and an expected study about a management technology of reservoir in the Okuaizu Geothermal Field.

< 受付 : 2009年11月10日 >