

大霧地熱地域の断裂型貯留層の挙動と最適開発に関する研究

高山, 純一

<https://hdl.handle.net/2324/1807013>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（4）

氏 名 : 高山 純一

論 文 名 : 大霧地熱地域の断裂型貯留層の挙動と最適開発に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地熱発電は、地球内部に蓄えられた熱エネルギーを利用した発電技術であり、世界的には 1970 年代のオイルショック等を経て、1980 年代以降その導入量は増加し続けている。一方、国内では、2011 年の東日本大震災以降、再生可能エネルギーとして再び注目を浴びているものの、それまでの開発は 1999 年以降停滞していた。その原因としては高い開発リスクに加え、開発後の減衰リスクが挙げられる。減衰リスクの一例として、米国のガイザース地熱地域における蒸気過剰生産による生産量の年 20%もの減衰が挙げられる。国内においても、1998 年度に地熱発電の設備容量が 53.4 万 kW に達して以降、年間の総発電電力量は経時的に低下し続けている。この間、各地熱発電所では、還元井の切り替えや貯留層への注水による人工涵養など様々な対策を講じ、生産能力の維持に努めている。

1996 年に出力 3 万 kW で運転を開始した鹿児島県大霧発電所では、断層帯に沿って発達した地熱貯留層を開発し、設備利用率 90%を上回る安定した発電を継続している。しかし、主な貯留層である銀湯断層沿いに掘削された坑井からの蒸気生産量は経時的に減少しており、生産能力の維持が重要な課題となっている。そこで、本研究では、運転開始から 20 年を経過した大霧発電所において、今後も安定した発電を継続することを目指し、大霧地区における生産井と還元井の適切な運用方法および適正な蒸気生産量を貯留層工学的な観点から評価することを目的とした。

本研究では、これまでに本地区で蓄積された坑井掘削に関する情報、観測井を用いた貯留層温度と圧力のモニタリングデータ、生産量と還元量の履歴およびトレーサー試験結果を総合して貯留層内の水理構造を明らかにし、ランプトパラメータモデルおよび 3 次元グリッドモデルを用いた貯留層の数値シミュレーションにより、坑井の適切な運用指針を確立するとともに、今後 15 年間安定生産が可能な最大蒸気量を種々の貯留層工学的手法を適用して求めた。

第 1 章では、大霧発電所の開発経緯と貯留層の特徴および運転開始後の状況を述べ、本研究の目的を示した。

第 2 章では、大霧地区で調査期より実施している貯留層モニタリングの手法とその活用例を述べた。生産領域における貯留層温度と圧力のモニタリングは、操業方針の検討や熱水還元貯留層の変更に伴う貯留層温度圧力変化の確認などに非常に有効であった。また、全ての坑井の運転を中止する発電所の定期修繕工事中の観測圧力挙動と蒸気卓越井の坑口圧力の挙動から銀湯断層貯留層内における蒸気・熱水の気液二相領域の存在とその挙動が推定された。

第 3 章では、トレーサー試験データをもとに、還元熱水の流動経路と断裂系の分布を併せて検討することにより、貯留層内における還元熱水の流動挙動を解明した。本章では、2008 年と 2011 年に大霧地区で実施した 2 本の還元井 (D3, E6) にトレーサー試薬を投入したトレーサー試験結果を検討し、これらの結果に複数流路モデルを適用して解析を行った。この結果、D3, E6 からの還

元熱水は銀湯断層の生産井に2つの流路を経て到達することが推定された。すなわち、生産井にて10日以内にトレーサーが検出され平均滞留時間が概ね700時間以内となり銀湯断層に回帰する流路（以下、銀湯直接回帰ルート）と、およそ1か月後からトレーサーが検出され平均滞留時間がD3で約3000時間以上、E6で約5000時間以上となり銀湯断層の南側に位置する深部断層群を迂回する流路（以下、深部断層群迂回ルート）である。ここで、銀湯直接回帰ルートは銀湯断層内を西から東向きへ、深部断層群迂回ルートは本地区の東側で銀湯断層および深部断層群と直交する断層を通過して銀湯断層の中央部から西向きへの流れと推定された。また、D3、E6のトレーサー試験で2本の流路が推定された銀湯断層の生産井では、深部断層群迂回ルートでの再湧出率が銀湯直接回帰ルートよりもD3で約5倍以上、E6で約10倍以上大きい結果を得た。すなわち、D3、E6からの還元熱水は銀湯直接回帰ルートに比べ深部断層群迂回ルートをより多く流れると考えられた。さらに、E6トレーサー試験における銀湯断層の生産井の再湧出率は、深部断層群に位置する生産井A6、A7のそれに比べ約1/10以下と小さいことから、E6からの還元熱水の還流量は銀湯断層の生産井に対しては相対的に少ないと考えられる。

第4章では、大霧地区の貯留層を2つの領域に分けたランプトパラメータモデルを用いて表現し、生産還元に伴う貯留層の挙動を明らかにした。その上で、銀湯生産領域と大霧深部生産領域への還元熱水の還流量や、大霧深部生産領域から銀湯生産領域への流出量を推定した。本章では、ランプトパラメータモデルの解析精度向上を目指し、類推可能なパラメータは固定値で与え、最終的に推定すべき未知パラメータを17種類から5種類へ絞り込んだ。また、未知パラメータの推定では、解析結果の客観性を確保するため、複数の組み合わせについて解析を行い、残差二乗和が小さい場合の組み合わせをクロスプロットと頻度分布で確認することにより、最適なパラメータ値の範囲を評価した。これにより推定された大霧地区地熱貯留層内の流体流動量は、トレーサー試験結果と調和的であり、還元熱水の流入は銀湯生産領域に対して少なく、大霧深部生産領域に対して多いことが示された。また、深部断層群を構成するNo.2断層群への還元は、銀湯生産領域へ適量の涵養効果をもたらすのに対し、大霧深部生産領域の温度低下の原因となることが推定された。

第5章では、大霧地区で長期にわたり観測された貯留層圧力と温度のデータおよび生産量と還元量の履歴を用いて3次元の最適な貯留層モデルを構築し、これを用いて坑井の適切な運用方法と今後15年間の将来予測により安定した運転が継続可能な最大蒸気生産量の評価を行った。この結果、大霧深部断層群からの生産継続は、その生産量の減少をもたらし、生産を行わない場合よりも銀湯断層の蒸気生産能力の低下を招くことが示された。また、銀湯断層の蒸気卓越井は生産量を増やすとその生産量の減少量が多くなり、同断層の貯留層圧力低下をもたらすことが示された。以上、現在の操業状況を基に構築した本研究のモデルによる検討では、大霧地区の地熱貯留層のうち銀湯断層貯留層から15年間安定的に生産可能な最大蒸気量は195t/hであり、その内訳は銀湯断層内の熱水卓越井152t/h、蒸気卓越井43t/hと推定された。

第6章では、結論として、本研究で得られた成果をまとめた。