

トレーサー試験に基づく蒸気卓越型地熱地域における貯留層涵養の評価に関する研究

福田, 大輔

<https://doi.org/10.15017/1398344>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済



氏名・(本籍・国籍)	ふく だ だいすけ 福 田 大 輔 (岩手県)
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	工博甲第2257号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 地球資源システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	トレーサー試験に基づく蒸気卓越型地熱地域における貯留層涵養の評価に関する研究
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 糸 井 龍 一 (副 査) 教 授 藤 光 康 宏 准教授 岩 井 芳 夫

論 文 内 容 の 要 旨

自然エネルギーである地熱資源は、天候・季節にかかわらず安定した供給が可能な純国産のエネルギー資源であり、高温蒸気を利用した地熱発電はベース電源としての機能を有している。わが国は活火山に恵まれ、それに付随した地熱資源ポテンシャルは世界第3位の地位を占めるものの、国内では、17地点で20ユニット(合計出力54万kW)の地熱発電所が稼働しているに過ぎず、今後の開発と地熱発電量の増加が期待されている。地熱貯留層は大きくは蒸気卓越型地熱貯留層と熱水卓越型地熱貯留層に分類され、蒸気卓越型地熱貯留層では、坑井は乾き

飽和蒸気あるいは過熱蒸気を生産し、熱水を伴わない。したがって、還元井などの熱水処理設備が不要であり、熱水卓越型に比べ発電所運転の経済性が高い。しかし、長期間の蒸気生産に伴う貯留層流体の枯渇により、蒸気生産量が減衰し、発電所の安定運転の面から重要な問題となっている。この問題への対処法として、注水による貯留層涵養が海外の地熱地域にて成功を収めている。一方、過度な注水は貯留層を冷却し、蒸気生産量を減少させる危険性があり、貯留層涵養においては、注水井の掘削位置や坑井の注水量などの注水方法の設計とその最適化が重要である。

注水方法の最適化において、注水流体の貯留層内での流動過程を明らかにする必要がある、これを定量的に評価する方法としてトレーサー試験がある。さらに、蒸気卓越型貯留層では、注水流体が地層内で加熱され蒸気を発生しながら移動するため、液相の水から気相の蒸気に移行する、すなわち揮発性を有したトレーサー試薬を使用する必要がある。揮発性試薬として人工ガスを用いた気相トレーサー試験が実用化されているが、気相トレーサーは揮発性が高く、貯留層内で水が沸騰すると同時に大半のトレーサーが気相中に移行する。したがって、注水流体が貯留層内で移動すると同時に岩盤から熱を受けて連続的に沸騰が生じる挙動を追跡するには適切ではない。このような条件下における貯留層内での流体流動と沸騰挙動を明らかにするためには、揮発性が水のそれに近いトレーサー試薬を使用する必要がある。この特性を持つ試薬（二相トレーサー試薬と呼ぶ）として低級アルコール類があり、その耐熱性が室内実験で確かめられている。しかし、実際の地熱貯留層にて低級アルコール類をトレーサーとして用いた試験は行われておらず、その試験方法も確立されていない。このため、低級アルコール類を用いた二相トレーサー試験方法を開発し、その有効性を確認するとともに試験結果を評価する手法の開発と検証は蒸気卓越型貯留層涵養の評価においてきわめて重要な課題である。

本研究では、低級アルコール類を用いる二相トレーサー試験法を開発し、岩手県松川地熱地域に適用する。その試験結果を用いて、低級アルコール類の二相トレーサーとしての適性を評価し、注水流体の流動挙動と沸騰過程を解析し、貯留層涵養の評価における本試験方法の有効性を確認することを目的としている。

本論文は 6 章からなる。

第 1 章では、蒸気卓越型地熱貯留層における注水を用いた貯留層涵養について解説し、貯留層涵養を最適化するために必要な技術として二相トレーサー試験の必要性和問題点を述べ、本研究の目的を明らかにした。

第 2 章では、低級アルコール類をトレーサーとする二相トレーサー試験方法を開発し、松川地熱地域に適用するとともにその有効性を確認した。まず、トレーサーとして使用した 4 種類の低級アルコール類（メタノール、エタノール、1-プロパノール、2-プロパノール）は、200℃から 250℃の地熱高温環境下において十分な耐性を有することを確認した。また、生産井において採取した蒸気凝縮水をガスクロマトグラフを用いて分析することにより、アルコール濃度を高速（1 試料あたり 15 分）かつ精度よく分析（定量下限 0.03 ppm）できることを明らかにし、高頻度の試料採取・分析を可能とした。その結果、1 から 3 ヶ月にわたる長期の観測期間内にて滑らかなトレーサー回帰曲線を得ることができ、本試験方法が注水流体の貯留層内での流動挙動を評価する上で有効であることを明らかにした。

第 3 章では、トレーサー試験結果を用いて、注水に対する生産井の応答の形態（生産流量の増加、蒸気温度の低下、非凝縮性ガス濃度の低下）を判別し、これらの応答の強弱の程度が坑井間のトレーサーの流速およびトレーサーの生産井への回帰率と強い相関をもつことを明らかにした。また、掘削直後の新規生産井を注水井として利用したトレーサー試験を実施し、こ

の新規生産井の蒸気生産開始が周囲の生産井に及ぼす生産干渉(蒸気生産量の低下)の発生とその影響範囲を予測した。

第4章では、二種類の低級アルコールを混合したトレーサー(二成分二相トレーサー)を用いた試験を行い、二種類のトレーサーについてそれぞれ気相液相中の濃度を初期濃度で正規化した値の比(分母は分子量の大きなアルコール)を用いて注水流体の沸騰過程を判別する方法および注水起源蒸気の発生率である蒸気分率を推定する方法を新たに開発し、松川地熱地域のトレーサー試験データの解析に適用した。その結果、濃度比が1を超えれば注水流体は連続沸騰し、注水起源蒸気の蒸気分率が0.02から0.4の広い範囲にあることを明らかにした。さらに、蒸気分率と貯留層温度の貯留層内での空間分布を比較し、貯留層温度が高い領域では蒸気分率が大きく、注水による熱回収の効率が高いことを示した。

第5章では、トレーサー試験結果を用いて松川地熱地域の透水性フラクチャ分布を明らかにした。透水性フラクチャの大半は閃緑斑岩貫入岩の内部と周辺に連続して分布することから、本岩体の貫入活動が松川地域の良好な地熱貯留層形成の主要因であることを見出した。また、透水性フラクチャ分布域とそこから生産される地熱蒸気の化学組成に強い相関があることを見出し、蒸気中の水素と硫化水素の濃度比は透水性フラクチャ内の温度で規制されることを明らかにした。

第6章では、本研究の内容をまとめ、結論とした。

論文審査の結果の要旨

本研究は、蒸気卓越型地熱貯留層において低級アルコール類を試薬として用いるトレーサー試験方法および試験結果の解析手法を新たに開発し、松川地熱貯留層における注水による貯留層涵養の効果を定量的に評価するとともに透水性フラクチャの空間分布を明らかにしたものであり、地熱貯留層工学および地熱生産工学上価値ある業績と認める。