

Investigation on Design Methodology of Supercritical Subsurface Boiler for Next Generation Geothermal Energy Extraction 未来型地殻エネルギー抽出の研究

プロジェクトリーダー 橋 田 俊 之

東北大学 破壊制御システム研究施設
教授



図1．実験風景（岩石強度特性評価超臨界装置、およびき裂・熱水系反応検証装置）

1．研究の目的

深部地殻エネルギーは、普遍的に存在する地球規模の未来型クリーンエネルギーである。諸外国に比較して特に高い地温勾配を有する我国は、深部地殻エネルギー開発に関して世界をリードすべき立場にある。既存の地熱発電所は、一般に1km～2kmの深さに存在する200～300クラスの熱水に富む貯留層から抽熱を行っている。その発電規模は1ユニットあたり最大でも70MWである。既存地熱貯留層の下部には未利用のさらに高温の岩体があり、この深部岩体から抽熱するための技術開発が、地熱エネルギー開発にブレークスルーを与えるものと強く期待されている。しかし、374℃、22 MPaを超える超臨界状態では、未経験の高温に加えて超臨界水との化学的要素を含めた相互作用により岩体の破壊特性や人工貯留層の形成プロセスが大きく変化することが予想され、新しい研究が必要不可欠となる。

本研究プロジェクトでは、超臨界水を熱媒体とする人工地下熱交換面すなわち超臨界貯留層の設計法に関する研究を実施する。具体的には、室内シミュレータの開発を基礎に、超臨界状態における水圧破砕き裂進展挙動の破壊力学的研究を行い、熱交換面の作成、制御ならびに抽熱設計に関する検討を行うことにより、新しい未来型地殻エネルギー抽出法の提案を行う。

2．研究の内容

(1) 超臨界貯留層の形成プロセス

水圧破砕法による超臨界貯留層の形成プロセスに焦点を当てた研究を推進している。水圧破砕法により作成される貯留層の形態は、天然に存在する地下き

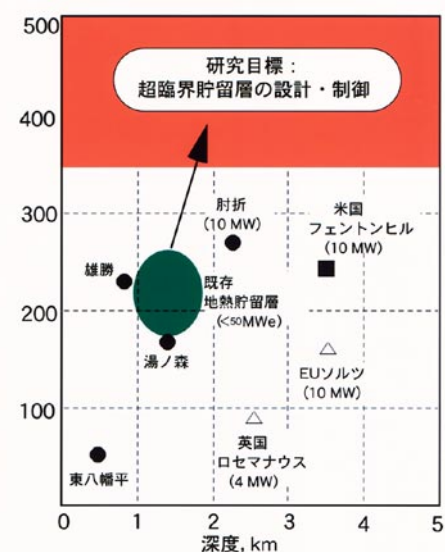


図2．研究の目標

裂に大きく依存する。このため、まずクラックヒーリングが生じる温度・圧力条件に関する実験的研究を、(2)のフィールド調査と連携を取りながら推進している。これにより超臨界岩体中の天然き裂の有無を推定するための方法論を提案する。また、水圧破碎に伴う超臨界岩体の力学的応答を解明することを目的として、新たに導入した「岩石強度特性評価超臨界装置」を用いて開口型ならびにせん断型破壊プロセス・ゾーン形成の破壊力学的クライテリオンの評価を行い、任意の地殻応力場におけるき裂進展プロセスを予測するための水圧破碎数値シミュレーションコードを開発している。さらに、室内水圧破碎実験を実施し計算結果の妥当性を検証することにより、水圧破碎による超臨界貯留層の形成プロセスを解明し、予測する方法論を構築する。

(2) 超臨界貯留層のダイナミクス

超臨界地熱貯留層内に発達するき裂の形成過程と、超臨界水と岩石との化学的相互作用に関する研究を進めている。本研究課題は、大きく2つのサブテーマに分かれている。ひとつはフィールド調査を基礎として、かつて超臨界環境下にあった岩体とそこに発達するき裂と岩体の冷却過程との関連を解明し、超臨界流体と岩石の相互作用を明らかにするものである。いわば自然をお手本にして貯留層のダイナミクスを究明する研究である。もうひとつは、導入した「き裂 - 熱水系反応検証装置」と「岩石 - 超臨界水相互作用模擬装置」を用いて室内実験を基に熱交換面である岩石内き裂の経時変化を明らかにする研究である。き裂内を流動する超臨界流体による岩石の溶解、析出および岩体の変成を実験的に明らかにし、多成分化学平衡および多成分の速度論を基礎にした解析を行い、新たな超臨界流体 - 岩石相互作用の計算コードの構築を目的としている。これらの室内実験結果とその解析、およびフィールドにおける超臨界岩体の挙動に関する観察結果を有機的に連携させて、超臨界地熱貯留層のダイナミクスを解明する。

(3) 地殻情報計測

超臨界貯留層を設計し制御するためには、貯留層の計測法ならびに地殻応力計測法を開発しておくことが必要不可欠である。大深度かつ高温の超臨界貯留層を通常的手法により計測することは困難であり、このため、坑井掘削時にビットより放出される弾性波ならびに微小地震中の反射波を検出し、超臨界貯留層の位置・性状をモニタリングするための3次元地下情報処理システムを開発している。本計測法に要求される超臨界状態における弾性波の伝搬特性は、「岩石強度特性評価超臨界装置」を活用することにより評価している。地殻応力計測法に関しては、坑井掘削に伴い孔壁に形成される縦き裂の情報を利用する方法、および地殻深部から直接岩石コアを採取し応力解放に伴う非弾性回復ひずみ挙動ならびに微視き裂の密度情報を利用する方法を適用し、総合的な大深度地殻応力計測法の開発を実施している。

(4) 熱抽出解析

超臨界水を熱媒体として用いる地殻エネルギー抽出における特徴ならびに利点は、通常の状態にある水に比較して、熱容量が著しく大きく岩体の熱エネルギーを効果的に抽出できること、粘性係数が小さく熱媒体がより広域の高温岩体まで流動しうること等が挙げられる。本研究では、超臨界水の熱物性の温度・圧力依存性を十分に考慮し、さらに超臨界貯留層の形成プロセスに関する研究結果に基づき、想定すべき貯留層形態に応じた流体・熱移動解析を実施し、期待される熱抽出量ならびにその経時変化を予測するための数値解析コードを構成する。なお、循環流体中に不可避免的に溶出するシリカ等の化学種の熱物性に及ぼす影響、ならびに溶解・沈積に伴う流体経路の変化は数値解析コードに考慮する予定である。開発する熱抽出数値解析コードを基礎に、超臨界貯留層の作成、制御ならびに抽熱設計を行うための学術的基礎を構築する。

3. 研究の体制等

期 間：1997年8月～2002年3月

構 成：プロジェクトリーダー：橋田 俊之（東北大学・工学研究科・教授）
 コアメンバー：3名、研究分担者：13（内ポスドク3名）、研究協力者：5（内外国人3名）サブプロジェクト構成：総括3名、形成プロセス4名、ダイナミクス4名、計測4名、熱抽出4名、評価2名

実施場所：東北大学・工学研究科 仙台市青葉区荒巻字青葉

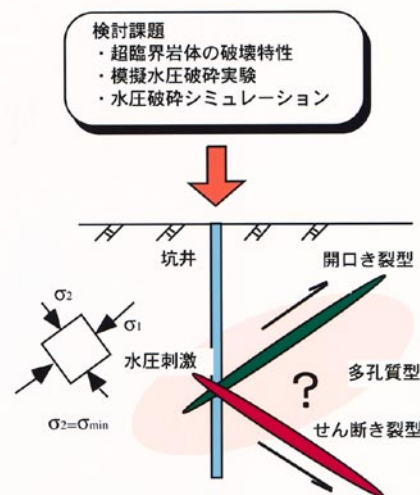


図3．水圧破碎プロセスの解明

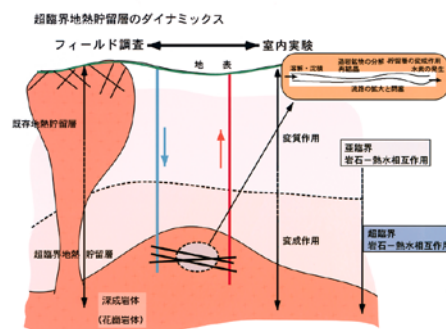


図4．岩石 - 超臨界水相互作用の解明

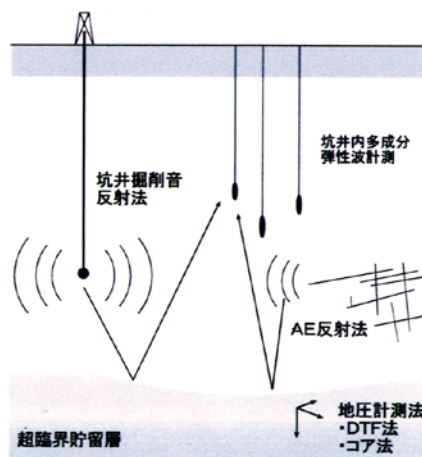


図5．大深度地下計測システムの構築