

## 高温岩体循環試験時の炭酸カルシウムの沈積と二酸化炭素の移動

## Transportation of carbon dioxide and precipitation of calcite during circulation test of hot dry rock system

# 柳澤 教雄 [1]

# Norio Yanagisawa[1]

[1] 産総研・地圏資源

[1] AIST

## 1. はじめに

河川水を地下の貯留層で加熱し、高温の熱水・蒸気を地上に取り出して利用する高温岩体の循環試験が2000~2002年に山形県折衝地域で実施され、その際、地下約2000mに到達する2本の生産井の深部では硬石膏が、坑内および地上配管部では炭酸カルシウム(カルサイトおよびアラゴナイト)が析出することが確認された。このシステムでは地上から地下の花崗岩体に注入された河川水が、岩体中の硬石膏を溶解して熱水中にカルシウムを供給し、その後岩体中を移動する過程での温度上昇に伴って硬石膏を沈積させ、さらに地上に熱水が戻ってくる過程で熱水中に残存したカルシウムが炭酸カルシウムとして沈積している。

このような水岩石反応に伴うカルシウムやCO<sub>2</sub>の移動の定量化は、現在雄勝地域で実施されている高温岩体中などにおけるCO<sub>2</sub>の地中貯留、固定化のナチュラルアナログとなりうる。

そこで、本発表においては、地下への注入水や、地上への生産水の化学組成の変化、熱水から分離したガス成分、そして炭酸カルシウムの析出量などより、循環系におけるカルシウムおよびCO<sub>2</sub>の物質移動を解析し、CO<sub>2</sub>の固定化の可能性を考察した。

## 2. 計算方法

まず、流体の化学組成が安定し、炭酸カルシウムの沈積速度も一定と考えられる2002年6~8月の3ヶ月間の物質移動を計算することにした。そして、注入井(HDR-1)と生産井(HDR-2aおよびHDR-3)のCa、SO<sub>4</sub>、HCO<sub>3</sub>の変化より、貯留層の硬石膏脈から供給されたカルシウムの硬石膏と炭酸カルシウムの析出量を計算し、炭酸カルシウムとして固定化された二酸化炭素の量を算出した。さらにCO<sub>2</sub>の計算にあたっては、流体中のHCO<sub>3</sub>濃度をCO<sub>2</sub>に換算した。また、生産井からのCO<sub>2</sub>放出量は、ガス生産量とCO<sub>2</sub>の割合から求めた。さらに大気、熱水、鉱物中のCO<sub>2</sub>量から、地下貯留層でのCO<sub>2</sub>のやりとりを計算した。なお、2本の生産井の坑内最高温度は、HDR-2aが130、HDR-3が230でHDR-3の方が高温であった。また注入井の坑底温度は70前後であった。

## 3. 結果

3ヶ月間のCO<sub>2</sub>の移動量を図に示す。これによると、河川水および生産井(HDR-2aおよびHDR-3)の混合流体が地下に注入される際に、大気中から約1tonのCO<sub>2</sub>を吸収している。この値は、生産井ガス放出量に相当する。また、固定量には温度依存性があり、温度が低いHDR-2a井では、坑井に到達したCO<sub>2</sub>のうち68%が炭酸カルシウムとして沈殿し、大気中に放出されたのは3%程度であった。ただし、CO<sub>2</sub>の大気放出の際に、熱水のpHが上昇し、炭酸カルシウムの析出が促進されている。一方、高温のHDR-3井では、坑井に到達したCO<sub>2</sub>のうち炭酸カルシウムと沈殿したのは20%程度であり、30%程度が大気中に放出された。

また、カルシウムは、注入井付近の硬石膏の溶解が主要な供給源であり、その多くは生産井までの貯留層内での硬石膏の再沈積に使われる。そして、坑井に到達するカルシウムは、熱水温度が低い生産井HDR-2aの方がHDR-3より多くなっていた。このように、炭酸カルシウムの沈殿によるCO<sub>2</sub>の固定化には温度やカルシウムの供給の依存性があることが示された。

CO<sub>2</sub> mass balance during 3month circulation

