

# 石炭地下ガス化(UCG)システムにおける水素生成型 UCG 解析モデルの構築

岩盤・開発機械システム工学研究室 修士2年 入口梨佳

## 1. はじめに

世界の主要なエネルギー源である化石燃料は燃焼時に  $\text{CO}_2$  を発生させるが、石炭地下ガス化 (UCG: Underground Coal Gasification) により  $\text{H}_2$  としてエネルギー資源を回収し、発生した  $\text{CO}_2$  を採掘跡などに貯留することで、低環境負荷な  $\text{CO}_2$  フリー水素として有効活用することができる。今後の水素需要拡大を考慮すれば、UCG による  $\text{H}_2$  増産技術の開発が必要であると考えられる。 $\text{H}_2$  増産技術の一つとして、従来の水蒸気注入の代替となる水注入が検討されている。水注入では、潜熱による UCG 中の熱損失の影響が大きく、また、水蒸気ガス化反応やシフト反応の促進によって  $\text{H}_2$  の増産が期待されている。しかし、UCG 中の水注入がガス化反応領域の温度や  $\text{H}_2$  生成に与える影響は未だ十分に検証されていない。そこで、COMSOL Multiphysics を用いた連成解析により UCG 中の水注入が  $\text{H}_2$  生成に与える影響に検討を行うとともに、 $\text{H}_2$  生成を促進するためのガス化制御パラメータの設定指針についても併せて考察した。

## 2. 解析方法

本研究では、人工炭層 UCG 模型実験のデータに基づき、COMSOL Multiphysics を用いて化学反応、伝熱、および流体の流れを考慮した連成解析モデルを構築した。一般に、化学反応は反応速度式によって支配される。先行研究を参考にして、実験結果と解析結果が整合するように反応頻度因子  $A$  および活性化エネルギー  $E$  の値を決定した。また、実験中に熱電対で計測した温度結果を基に石炭層の温度を推定するための解析モデルを別途作成し、水注入流量を増加させた場合の温度変化を解析した。その結果得られた温度データを、連成解析の入力値として用いた。COMSOL では、反応物である  $\text{C}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  が長さ 1.9 m の実験孔内に流入し、孔内で相互に反応しながら流出するプロセスを想定し、UCG の反応の再現を試みた。

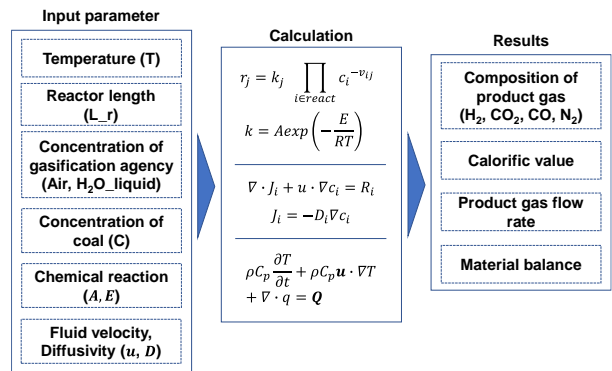


図1 本研究で行った数値解析のフロー

## 3. 解析結果および考察

図2に、注入する  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比増大時 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比: 0~3.9) の反応が定常状態に達した後の反応石炭量あたりの生成ガス量、ガス化効率および  $\text{H}_2$  生成効率の結果を示す。なお、ガス化効率とは石炭より可燃性ガスとして回収されたエネルギーの回収率のことであり、 $\text{H}_2$  生成効率とは注入した酸素に対する  $\text{H}_2$  の回収率のことを示している。同図より、 $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比が 2.0 までは  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比の増大とともに反応石炭量あたりの  $\text{H}_2$  生成流量および  $\text{H}_2$  生成効率が增加する傾向が確認された。これは、 $1,000^\circ\text{C}$  以上の高温条件下で  $\text{CO}_2$  成分や  $\text{CO}$  成分が生成後、水注入によって水蒸気ガス化反応および水性ガスシフト反応等の還元反応が促進され、 $\text{H}_2$  成分が増加したことによるものである。一方、 $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比が 2.5 を超えると、反応石炭量あたりの  $\text{H}_2$  生成流量や  $\text{H}_2$  生成効率、ガス化効率が著しく低下している。これは、 $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比増加に伴う反応温度の低下 ( $800 \sim 900^\circ\text{C}$  以下) により化学反応の抑制によるものである。これらの結果より、 $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比が 2.0 までは、UCG プロセス中の水注入による  $\text{H}_2$  増産効果が認められると推察される。また、過剰な水注入はガス化温度条件の低下により可燃性ガス成分が減少し、UCG における主要なガス化反応を妨げる要因となる。したがって、低環境負荷な  $\text{CO}_2$  フリー水素生産に向けて現場規模の UCG を実施する際には、適用する現場状況に応じた適切な  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比を検討する必要がある。

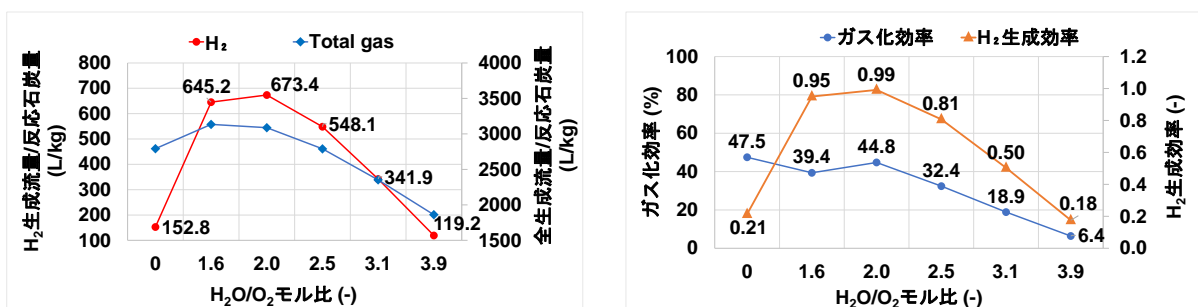


図2  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  モル比増大時の解析結果 (左:反応石炭量あたりの  $\text{H}_2$  および全生成流量 右:ガス化効率、 $\text{H}_2$  生成効率)