

UCGにおける水注入が生成ガスおよび反応領域の温度に与える影響 に関する基礎的研究

岩盤・開発機械システム工学研究室 学部4年 入口梨佳

1. はじめに

石炭の地下ガス化(UCG: Underground Coal Gasification)とは、地下の石炭層に地表から坑井を削孔し、石炭層を直接燃焼させて水素、一酸化炭素、メタンなどの可燃性ガスとしてエネルギーを回収する技術である。現在、大規模実験が行われている UCG の課題は、高温による酸化剤注入管の溶断および水素の増産である。ここで、石炭の反応領域に水を注入することで高温による注入管の溶断を防ぎ、また水素増産が期待できると考えられている。しかしながら、水を注入することで反応領域の温度やガス化効率の低下も懸念される。以上より、本研究では、COMSOL Multiphysics を用いて、水注入が反応領域の温度および生成ガスに与える影響を明らかにすることを目的とし、水の注入効果・限度を検討する。

2. 解析方法

本研究では、既往の人工炭層実験データをもとに解析モデルを作成した。実験では酸素濃度 33%の酸素富化空気を 72 L/min、水注入流量は 30 mL/min 注入し、反応領域の温度は 1,179°Cであった。一般的に、化学反応は主にアレニウスの式(速度定数の式)の反応頻度因子 A および活性化エネルギー E によって支配されるため、UCG の化学反応ごとに A および E の値を決定し、両モデルを作成した。COMSOL では、Batch Reactor を採用し、反応物を全て反応器内に入れて所定の時間経過後に生成物を取り出すという方法で解析した。

表 1 反応頻度因子 A および活性化エネルギー E の値

反応	A(1/s)	E(kJ/mol)
$C + O_2 \xrightarrow{k_1} CO_2$	1.04×10^2	100
$C + O_2 \xrightarrow{k_2} H_2 + CO$	1.87×10^6	200
$C + CO_2 \xrightarrow{k_3} 2CO$	モデル 1	6.57×10^6
	モデル 2	2.63×10^5
$CO + H_2O \xrightleftharpoons[k_{4r}]{k_{4f}} CO_2 + H_2$		1.73×10^{-2}
		4.48×10^{-4}

3. 解析結果および考察

まず、モデル 1 (水注入あり: 30 mL/min) およびモデル 2 (水注入なし: 0 mL/min) の結果を比較して水注入が反応領域の温度および生成ガスに与える影響を考察した。表 2 から、水を注入することで反応領域の温度が 1,500°C から 1,140°C まで低下し、H₂ 濃度、発熱量、生成ガス流量は全て増加し、H₂ 生成流量は 1,170 L/h 増加した。以上の結果より、水を注入することで反応領域の温度低下による酸化剤注入管の溶断防止が期待され、還元反応の促進による H₂ 増産が確認できた。さらに、水注入量を増加させた場合の反応温度、H₂ 濃度、生成ガス流量の結果を図 1 に示す。同図より、水注入量の増加に伴う反応領域の温度低下および H₂ 濃度の増大が確認され、H₂ 生成流量は水注入量 60 mL/min までは増加した。以上の結果から、今回の解析条件において水注入量 (60 mL/min) までは、水注入による注入管の溶断防止かつ H₂ 増産効果があると考えられる。また、酸素注入量と水注入流量のモル比に換算したところ、H₂O/O₂=3.11 までは水注入による注入管の溶断防止、水素増産効果があることが明らかとなった。

表 2 モデル 1 およびモデル 2 の解析結果 (モデル 1: 水注入あり、モデル 2: 水注入なし)

	温度 (°C)	生成ガス濃度(%)				発熱量 (MJ/m ³)	生成ガス流量 (L/h)
		CO ₂	H ₂	CO	N ₂		
モデル 1	1,140	15.1	28.1	17.4	39.4	5.8	7,300
モデル 2	1,500	15.0	6.6	27.6	50.9	4.3	5,660

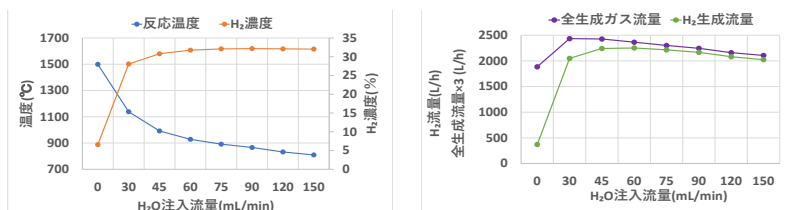


図 1 モデル 1 における水注入量増大時の解析結果 (左: 温度、H₂ 濃度 右: 生成ガス流量)