

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14276

研究課題名(和文) 高圧雰囲気中における石炭の急速加熱による燃焼およびガス化特性の迅速測定

研究課題名(英文) Rapid Measurements of Coal Combustion and Gasification Properties by Rapid Heating in High Pressure CO₂ Rich Atmosphere

研究代表者

佐々木 久郎 (SASAKI, Kyuro)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：60178639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、褐炭などの低品位炭の産業利用の上で課題となっている自然発火性や燃焼・ガス化反応特性をガスレーザーによる急速加熱によって明らかにすることを目的として実施した。高圧雰囲気中で石炭試料をレーザーにより急速加熱するための小型測定装置を開発し、低品位炭の急速加熱に対する発熱特性やガス化特性を実験的に調べた。とくに、一連の条件を変化させた実験結果から、0.6～1.6MPaの圧力条件で石炭1g当りH₂が約250ml、CH₄が約65mlおよびCOが約3200mlそれぞれ生成されることを明らかにした。さらに、CMG-STARSによる数値シミュレーションを実施し、実験結果を概ね再現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify coal characteristics of pyrophoric and combustion-gasification reactions by rapid heating using a gas laser in order to use low-rank coals, such as brown coal, in various industries. The compact measurement apparatus was developed with rapid heating of coal samples in a high pressure rich CO₂ atmosphere by the laser beam. Based on a series of experiments for various conditions, coal combustion and gasification reactions have been investigated against rapid heating. Particularly, it was cleared that about 250ml of H₂, 65ml of CH₄ and 3200ml of CO per 1g of low rank coal were generated under pressure conditions of 0.6 to 1.6 MPa. Furthermore, numerical simulation model was build up using with CMG-STARS, and the simulation results could almost reproduce the experimental results on gas generations of H₂, CO and CH₄.

研究分野：資源開発生産工学

キーワード：低品位炭 急速加熱 酸素濃度 ガス化 レーザー 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

埋蔵量が豊富で、21世紀の石炭資源として期待されている褐炭などの低品位炭を利用する上で、自然発火などの問題解決や反応熱およびガス生成特性の分析が緊急の課題となっている。一般的な TG-DTA 等の計測機器では1データを取得するのに5~6時間要し、品質のバラツキが大きい低品位炭の分析には複数回の測定が必要とされ、長期の分析時間を要するため、急速加熱による石炭の発熱・ガス化特性を評価する手法並びに一連の化学反応式を組み入れた数値シミュレーションモデルの構築が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究は、石炭の発熱特性やガス化特性を高圧雰囲気中において急速加熱によって測定する室内用の小型測定装置を開発し、短期間に低品位炭の特性を測定する実験的測定システムの開発と石炭の加熱反応・ガス化反応を組み入れた数値解析モデルの構築を実施することを目的として実施した。

3. 研究の方法

本研究では、3.0MPaまでの耐圧条件を備えた特殊セル、高出力CO₂レーザー光源、そのレーザー光を透過させる冷却機能を有する特殊光学窓などからなり、セル内に設置した低品位炭の急速加熱を行ない、発生したガスの分析を実施する実験装置システムの開発を行い、実際に中国産の低品位炭を用いた一連の急速加熱による測定を行った。さらに、CMG-STARSを用いた数値解析モデルの構築を実施し、実験結果とのヒストリーマッチングを実施し、実験結果との比較検討を行った。

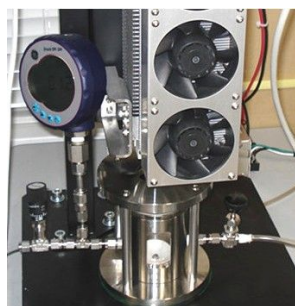
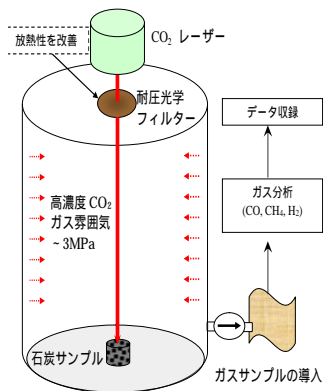


図2 開発した高圧用実験測定装置

4. 研究成果

4.1 実験条件

開発した容積160mlの高圧急速加熱圧力セルおよびレーザー光を用いて石炭試料の急速加熱実験を実施した。このとき、レーザー光を透過しつつ耐圧性能を有する光学フィルターを圧力セルに組込んだ構造によって、高圧雰囲気中での低品位炭(SDと表記)および高品位炭である大同瀝青炭(DTと表記)試料の急速加熱に成功している。実験においては、O₂ガス量を1.5mmol(33.6ml-std)に固定し、その他のガスとしてCO₂を封入した雰囲気中において、高濃度CO₂雰囲気圧力がガス生成に与える影響について検討した。

4.2 高圧条件における測定結果

高濃度CO₂ガス雰囲気中に石炭試料を設置し、2MPaまでの雰囲気圧力を与えた条件におけるH₂、COおよびCH₄の生成ガス量の測定結果を図3~5にそれぞれ示す。

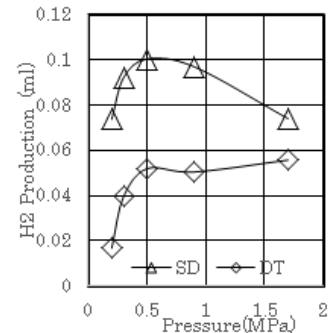


図3 石炭から生成したH₂ガス量(測定)

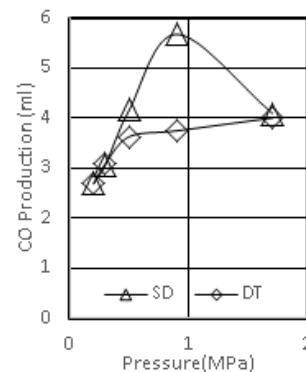


図4 石炭から生成したCOガス量(測定)

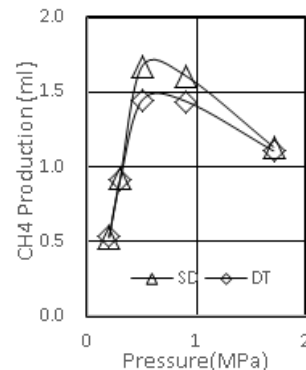


図5 石炭から生成したCH₄ガス量(測定)

石炭 1g 当りに換算した各ガス発生量は、 H_2 が約 5ml、 CO が約 250ml および CH_4 が約 65ml であることを明らかにした。また、3 種のガス生成量の総和を 2 種類の石炭種の比較を行った結果、ガス低品位炭 (SD) のガス化効率は、同一条件で測定した瀝青炭 (DT) のガス化効率よりも概ね 25% 高いことが明らかになった。

表 1 数値計算モデル構築に用いた条件

Initial Cell Temperature	20 °C
Initial Cell Pressure	0.1 1.7 MPa
Coal Stock Permeability	1 mD
Coal Stock Porosity	0.973
Initial Water Saturation	0.0265
Initial Gas	$O_2 + CO_2$
Heating Power (Laser-beam Power)	2-10 W

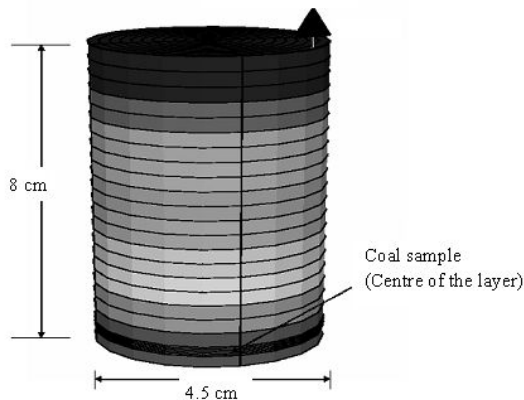
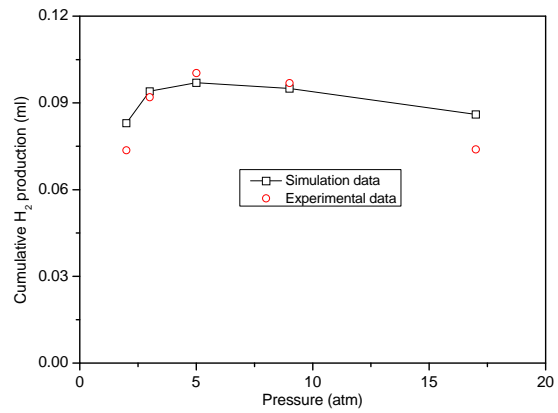
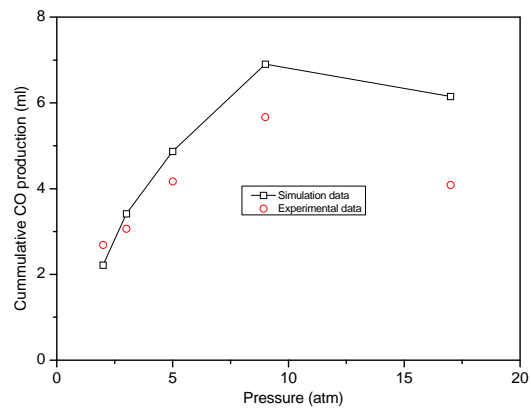


図 6 数値シミュレーションに用いた計算グリッド (円筒座標系グリッド総数=1728)

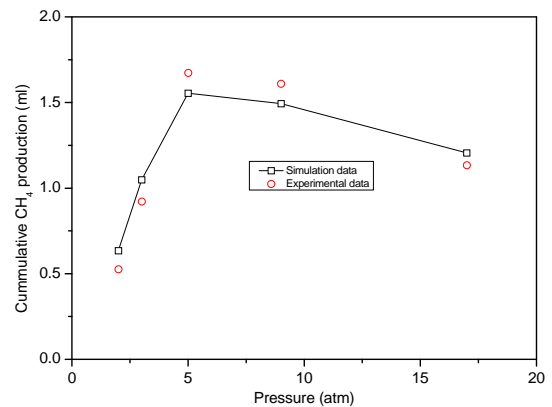
表 1 に示すパラメータおよび計算グリッドを用いた一連の数値シミュレーションを低品位炭の酸化およびガス化反応に関わる総計 10 の化学反応式の定義、それぞれのアレニウス定数(活性化エネルギーおよび反応速度因子)を設定し、CMG-STARS を用いて数値計算を実施した。とくに、最適なガス生成量が得られた条件 0.8MPa、1.5mmol O_2 、他の成分 CO_2 、37.5J/s の加熱レート、温度上昇速度 (100K / s) 速度に関して数値シミュレーションによる推定を行った。数値シミュレーション結果の例として、 H_2 、 CO および CH_4 の生成に関する実験結果との比較を図 7 に示す。これらの比較から、低品位炭のガス生成を概ね数値シミュレーションによって予測できることが示され、地下石炭ガス化等の数値シミュレーション予測の基盤を構築できた。



(a) H_2 ガス生成量



(b) CO ガス生成量



(c) CH_4 ガス生成量

図 7 ガス生成に関する数値シミュレーション結果と実験結果比較

4.3 研究成果のまとめ

本研究では、レーザー光による石炭試料の急速加熱によって、高圧・高濃度 CO_2 雰囲気における石炭のガス化(一部燃焼反応を含む)によって生成される H_2 、 CO および CH_4 ガス量に対する雰囲気圧力の影響を実験的に明らかにし、さらに数値シミュレーションモデルの構築を行った。

この迅速測定法によって、今後石炭の地下ガス化あるいは石炭火力発電所における石炭特性に適用できるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

佐々木 久郎, アラデ オラレカン, 大年 亜令士, 王 聰, 菅井 裕一, アンガラ フェリアン: 石炭の急速加熱燃焼および石炭地下ガス化に関わる数値シミュレーション, 資源・素材学会平成 29 年度春季大会 2017.03.27 (千葉市)

嶋谷典高, 菅井裕一, 佐々木久郎: 炭層への空気圧入による低温酸化反応に関する検討, 資源・素材学会平成 28 年度春季大会 2016.03.29 (東京).

飯野宏高, 菅井裕一, 佐々木久郎: CO₂の炭層圧入における石炭の膨潤に関する検討, 資源・素材 2015(松山)2015.09.10 (松山市).

飯野宏高, 菅井裕一, 佐々木久郎, CO₂の炭層圧入を目的とした石炭の膨潤特性の検討, 平成 27 年度石油技術協会春季講演会, 2015.06.10(秋田市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々木 久郎 (SASAKI, Kyuro)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 6 0 1 7 8 6 3 9