

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02332

研究課題名(和文)コンパクト同軸型石炭地下ガス化(UCG)システムの開発

研究課題名(英文)Development of a compact coaxial underground coal gasification (UCG) system

研究代表者

板倉 賢一 (Itakura, Ken-ichi)

室蘭工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：20168298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンパクトで安全、ガス化効率の高い同軸型UCGシステムを構築するために、人工炭層模型実験と、地下の未利用炭層を対象にした小規模現場実験を実施した。その結果、実用可能な熱量のガスを安定して生産できる後退式水平同軸方式を見出した。また、レーザによる炭層への着火方式、AE計測による燃焼・ガス化領域の可視化手法も確立した。生産ガスの無害化・分解処理では、放電プラズマによるオンライン処理の有効性を確認した。現場実験では、大気、地表、地下を対象にした環境監視システムを構築し、UCG実験が周辺環境へ影響を及ぼしていないことを確認した。以上により、実用可能なUCGシステムを開発することができた。

研究成果の概要(英文)：Developing a compact coaxial UCG system with a safe and high gasification rate, UCG model experiments were conducted using an artificial coal seam and a small-scale field experiment for untouched underground coal seams. A retrieval type horizontal coaxial UCG method was constructed to produce higher heat-value gas continuously. Its performance was assessed. Furthermore, a coal ignition method using a direct laser and a visualization system for combustion and gasification zone inside coal seams using AE (acoustic emission) measurements was established. For detoxification and decomposition of UCG production gas, results show that discharged plasma is effective for online processes. Moreover, for the field UCG experiment, an environment monitoring system was constructed for the air, surface, and underground, which confirmed that the UCG experiment did not influence the environment around the site. Consequently, a practical UCG system was developed in this study.

研究分野：資源開発工学

キーワード：資源開発工学 石炭地下ガス化 UCG 破壊制御 AE計測 発熱量 プラズマ放電 環境計測

1. 研究開始当初の背景

近年、石炭の地下ガス化 (UCG : Underground Coal Gasification) が注目を浴び、各国でプラント建設や実証試験が進められつつある[①]。古くからある石炭の地下ガス化技術[②]が改めて見直されている理由には、最近の指向性ボーリング技術の発達の外に、環境問題への対応がある。すなわち、廃棄物(灰など)が地表に出ない、ガスのハンドリングが容易、地表設備がシンプル、CO₂の地中貯留が可能など、UCGの利点である。

一方、わが国には深部化、薄層、急傾斜等のため保安上の問題を解決できず、また経済的な理由により坑内採掘を取りやめた未利用石炭が豊富にある(埋蔵量: 202億 ton(2001年)) [③]。さらに UCG の観点から埋蔵量を再調査すると、約 300 億 ton と見積もられる。これを地域のエネルギー源に位置付け、自然再生エネルギー等と共にベスト・ミックスを図れば、エネルギーの分散型ネットワークが構築でき、エネルギーの安定供給が図れよう。本研究では、これまでの科学研究費補助金(基盤研究(B)(一般)):「石炭の地下ガス化(UCG)のための燃焼領域評価システムの開発」(研究代表者: 板倉賢一)による成果を踏まえ、わが国の未利用石炭に注目したコンパクトで安全、高効率な同軸型 UCG 技術の確立を目指す。わが国の産炭地の多くは地質構造が複雑で、炭層の包蔵メタンガス量も多い。しかも、対象炭層の近くには住民の暮らしがあり、厳しい安全監視、ガス化制御が必要になる。そこで、コンパクトな「同軸型 UCG 技術」の効率化に着目した。同軸型 UCG は、図 1 に示すように炭層まで降ろした一本の坑井を利用して孔底周辺を燃焼すると共に、二重管構造によりガスを回収する方法である。これにより、断層や褶曲を介した複雑な地層構造にも対応が可能であり、回収した炭化水素エネルギーを地域に供給可能になる。

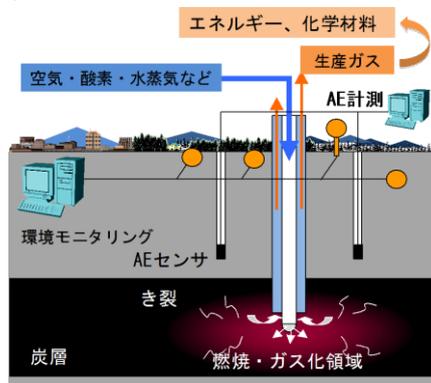


図 1 同軸型 UCG システム

しかし、同軸型 UCG にはガス化効率(石炭の発熱量 [J/kg] に対する生産ガスの発熱量 [J/kg] の割合)が低いという問題点がある。加えて、図 2 「UCG に関わる諸問題」に示す問題を残している。いずれも、石炭の燃焼

と共に炭層内に形成される空洞および熱そのものによる、炭層と岩盤の破壊に起因した問題である。これにより、地表へのガスの漏洩、地下水汚染、地盤沈下、坑井の崩壊が引き起こされる。換言すれば、これらの問題が解決できれば、UCG は安全で、環境負荷の少ない石炭利用技術となる。

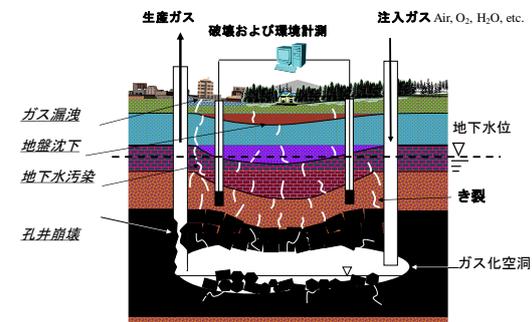


図 2 UCG に関わる諸問題

2. 研究の目的

これまでの室内 UCG 模型実験ならびに小規模現場試験の成果をもとに、本研究ではコンパクトで安全かつよりガス化効率の高い同軸型 UCG システムを提案、検証する。このシステムの要は、

- 1) 同軸型 UCG のガス化効率向上、
- 2) 生産ガスの分離、無害化、
- 3) 周辺環境の監視・評価手法の確立

であり、屋外模型実験および小規模現場実験を通してこれらの実現を図る。同軸型 UCG のガス化効率を上げるためには、燃焼・ガス化領域周辺の破壊制御およびその評価が不可欠である。本研究では、炭層内の燃焼・ガス化領域を評価するのに温度分布だけでなく、実用化においてより現実的な破壊音(AE: Acoustic Emission)計測を導入する。また、炭層破壊のメカニズムを取り入れた UCG シミュレータを開発し、実験結果と比較することにより、システム全体の制御に活用する。

3. 研究の方法

(1) 上述の目的を果たすべく、本研究では大型の塊炭を用いた人工炭層を作製し、UCG 模型実験を実施する。これにより、同軸型 UCG のガス化効率を高める手法を確立する。また、生産ガスの無害化・分離手法として、パケットベッド放電プラズマ手法を適用し、その最適化を図る。

一方、既に選定済みの地表下 10m~20m の炭層を対象に、現場同軸型 UCG 実験を行い、未利用炭のガス化を試みると共に、環境監視システムを構築し、同実験が環境に与える影響を評価する。監視の対象は、同軸孔の周辺約 10 m×20 m×20 m の大気、地表、地下及び地下水、植生である。

こうした UCG 監視のための各種計測データをデータベースに蓄積し、UCG シミュレータを開発する。このシミュレータの特徴は、AE 計測に伴う炭層内の破壊も考慮している点で

ある。また、各種計測データから炭層内の温度分布やガス化空洞形成をリアルタイムで求め、注入ガス（空気と酸素、水蒸気の混合気体）の酸素濃度や流量を制御するシステムの開発を目指す。

(2)初年度は、北海道三笠市幾春別（室蘭工業大学三笠未利用石炭エネルギー研究施設）において、人工炭層による UCG 模型実験を実施する。図 3 に、代表的な人工炭層と実験計測システムを示す。550×600×2,742mm の鋼製タンクとそれを耐熱煉瓦等で囲った実験炉内に、約 500×500×2,500mm の石炭ブロック（美唄炭層）を挿入して人工炭層を作る。鋼製タンクには観測孔を設け、各種センサを配置する。

以上の準備が終了したなら、着火し同軸型 UCG 実験を開始する。この着火には種々の方法が考えられているが〔⑤〕、本研究ではボタンガスやダイレクト・レーザを用いた着火装置を開発する。

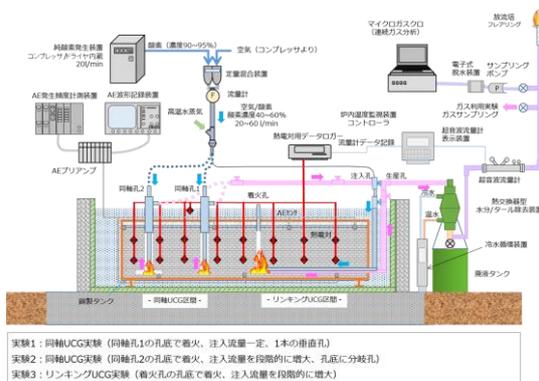


図 3 人工炭層 UCG 模型実験

初年度は、同軸孔底の表面積の違いが生産ガスの発熱量に及ぼす影響や、注入ガスの流量や酸素濃度と生産ガスの発熱量の関係を探る。ただし、この実験では、燃焼ガスの流量やガス化石炭量は、正確に求めることが難しい。そこで、これらの推定には、石炭のガス化反応式の C、H、O 収支から化学量論により求める〔⑥〕。

また、生産ガス成分を基に、UCG 模擬生産ガスを作製し、プラズマ放電による脱硫特性を明らかにする。

現場同軸 UCG 実験では、北海道三笠市幾春別の旧幾春別炭鉱の跡地にある露頭炭の未利用箇所を対象にする。そこに鉱区を設定し、鉱業権（試掘権）を取得する。鉱業権（試掘権）取得には時間が掛かるため、それまでの間、環境監視システムを構築し、その動作試験を行う。

(3)平成 28 年度は、前年度と同様の人工炭層 UCG 模型実験システムを用い、炭層内に水平同軸孔を設け、後退式の水平同軸 UCG を試みる。他のリンク方式や同軸手法による発熱量の違い、および燃焼・ガス化領域の可視化と実際のガス化反応領域の対比を行う。更に、新たに緊急消火手法として炭酸ガス注入

と窒素ガス注入の場合の違いも検討する。生産ガスの無害化・分離に関しては、同実験により得られた生産ガスに対して、触媒を変えたパケットベッド放電処理を試み、ベンゼンや硫化物の除去性能を明らかにする。

現場同軸型 UCG 実験については、鉱業権（試掘権）が取得できた段階で、同軸ガス化実験を実施する。また、環境のベースデータとして、現場実験の前に、地下水の分析、同軸孔の透気性計測、植生調査を実施する。

UCG シミュレータの開発においては、炭層内のき裂進展を考慮した格子ボルツマン法を検討するほか、既存の物理シミュレーション・ソフトウェアを用いた炭層の熱・ガス化反応のシミュレーションを実施する。

(4)最終年度には、人工炭層 UCG 模型実験として、再び後退式水平同軸 UCG 実験を行い、その生産ガスの発熱量を評価する。

生産ガスの無害化・分離技術の開発では、パケットベッド放電装置を人工炭層 UCG 模型実験に組み込み、オンライン処理を試みる。

現場 UCG 同軸試験では、ガス化実験を実施すると共に、消火、孔内充填による原状復帰を行う。また、孔内充填剤として UCG 残滓を吸着し固定する材料の開発も行う。その後、環境監視を継続すると共に、実験後の地下水分析、植生調査を実施する。

UCG シミュレータの開発では、これまで開発したシミュレーション手法を取り入れた、オンライン UCG 監視・制御システムを構築する。この後、一連の人工炭層 UCG 模型実験の成果および現場同軸 UCG 実験の成果を総括し、ガス化効率の高い同軸型 UCG システムの提案、生産ガスの放電プラズマによる無害化・分離処理と環境監視システムの有効性から、UCG の安全性の確保を提案する。

4. 研究成果

(1)同軸型 UCG のガス化効率の向上については、人工炭層 UCG 模型実験により、以下の事柄が明らかになった。

2 種類の同軸型 UCG 実験と、3 つのボーリング孔を連結させたリンク方式の実験を実施した。2 種類の同軸型 UCG 実験の違いは孔底の形状で、一方の表面積が広い。その結果、同軸型では孔底の表面積が石炭のガス化効率に影響を及ぼす。すなわち、表面積が大きいほど、ガス化燃焼領域が拡大することが、温度分布の変化や AE 計測から明らかになった。リンク方式においてガス化効率が高いのも、同じ効果による。従って、同軸型 UCG においてガス化効率を高めるためには、炭層内の同軸孔を長くしたり、成層面に対して直行するような同軸孔を設ける、あるいは積極的に炭層を擾乱させるなどの方法が考えられる。

そこで、人工炭層に水平同軸孔を設け、孔底から着火し、順次着火箇所を手前に移動させる実験を行った。その結果、ガス化領域の制御が可能で、これまででないガス化効率

(24MJ/kg) を達成することができた。後退式水平同軸 UCG 方式はガス化効率が高く、本研究で提案する手法である。加えて、注入ガスの流量や酸素濃度はガス化効率に影響し、注入ガスによるガス化制御が可能であることもわかった。人工炭層 UCG 模型実験の場合には、酸素濃度約 50% のときに安定したガス化が継続できた。この評価には、化学量論に基づく石炭のガス化反応を適用した。これにより地下の燃焼ガスの流用やガス化石炭量を推定できることがわかった。

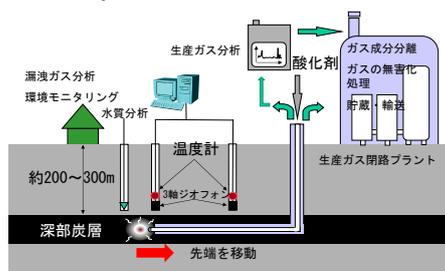


図4 提案する後退式水平同軸型 UCG

(2) プラズマ放電による UCG 生産ガスの無害化・分離においては、以下のような成果が得られた。

UCG の模擬生産ガスを用いて、プラズマ放電による生産ガスの無害化実験を実施した。特に、硫化水素の脱硫特性およびメタン、炭化水素からの水素生成特性を把握した。その結果、平均脱硫率は 70% を超え、UCG ガス中の水素生成量が 30% 増加することがわかった。次に、二酸化チタンまたは活性アルミナを充填したパケットベッド放電実験を行った。その結果、生産ガス中のベンゼンと硫化水素の除去率は、それぞれ 99% および 80% 程度になった。これにより、生産ガスの連続無害化処理の見通しが立った。

次に、活性アルミナ充填型パケットベッド放電による、オンライン脱硫システムを構築した。ガス流量約 0.4 L/min の条件下で硫化水素の除去率 50% になった。これによりプラズマ放電としての活性アルミナ充填型パケットベッド放電が、連続的な UCG 生産ガスの無害化・分離に有効であるといえる。

(3) 現場同軸型 UCG 実験の成果は、以下である。

現場同軸 UCG 実験では、約 20m の同軸孔と、その周辺にガス化領域の温度変化や破壊音観測を行うため 6 本の観測孔を設けている。また、地下水観測のために 2 本のボーリング孔が配備されている。この他に、環境計測・監視システムを導入し、実験前から原状復帰までの期間の観測を実施した。加えて、現場周辺の植生調査も実験の前後に実施した。平成 28 年 10 月 28 日に、室蘭工業大学学長が鉱業権者となり、鉱業権（試掘権）を取得した。実験の主体は、室蘭工業大学三笠石炭地下ガス化炭鉱である。この現場実験の施業案では、事前に計測した同軸孔周辺の透気率

は 22.9 md となり、地表へのガス漏れが懸念され、24 時間に限ったガス化実験に設定した。同年 11 月に実施したガス化実験では、同軸孔底の浸潤水が多く、途中で断念した。翌年 7 月から孔底の乾燥工程を加え、8 月にガス化実験を実施した。その結果、約 24 時間の現場同軸 UCG 実験で、約 2.1~4.8kg の石炭をガス化した。最大発熱量は、6.8MJ/m³であった。生産ガスの成分や発熱量は、人工炭層を用いた同軸 UCG 実験とほぼ同様であった。表 1 は、生産ガスの成分%と発熱量の一例である。



図5 実験成功の地元新聞報道

表1 生産ガス成分の一例

	発熱量 (MJ/m ³)	H ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	C ₂ H ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	C ₃ H ₈ (%)	C ₄ H ₁₀ (%)
レーザ着火①	4.22	10.17	7.8	21.6	1.02	17.29	41.61	0.46	0.02	0.04	0
レーザ着火②	6.80	14.79	2.1	12.8	1.40	31.58	36.73	0.52	0.02	0.04	0
ガスバーナー着火	4.80	9.76	2.4	31.3	1.87	19.04	35.11	0.40	0.10	0.07	0.02

また、この現場実験では炭層への着火方法として、ブタンガスを用いたガスバーナー方式とダイレクト・レーザ方式を試みた。バーナーやレーザと孔内カメラおよび送風管から成る着火装置で、人工炭層 UCG 模型実験では、数秒で炭層に着火可能である。原位置の炭層に対しても、いずれも着火が可能であることを確認した。

(4) 環境監視システムの開発に関する成果は、以下である。

UCG による環境負荷を監視するために、既存の無線計測システムを拡張した、環境計測システムを設計、構築し、動作を確認した。このシステムでは、UCG 現場の大気、地表、地下および地下水の常時監視が可能で、それらの経時変化をインターネット経由で閲覧できる。計測項目は、温度計測部 3 か所、ガス検知部 1 式 (CO₂ ガス検知部 3 台、CO ガス検知部 3 台、CH₄ ガス検知部 3 台)、水質計測部 2 台、水位計測部 2 台である。また、地表部の観測項目は、温度計測部 10 台、ガス検知部 1 式 (CO₂ ガス検知部 1 台、CO ガス検知部 1 台、CH₄ ガス検知部 1 台、H₂S ガス検知部 1 台)、気象計測部 1 式 (風向風速計測部 1 台、雨量計測部 1 台)、Web カメラ画像部 1 台、熱画像部 1 台である。

このシステムを現場同軸型 UCG 実験に適用し、実験前から終了後までの長期監視を実施し

た。その結果、実験の前後で、大気、地表、地下および地下水の各計測値に違いは見られなかった。



図6 同軸 UCG 実験の現場の様子

(5) 植生調査の結果は、以下である。現場同軸型 UCG 実験周辺の植物調査として、植物相、植生図、植生断面図、方形区調査を実施した。実験前の平成 27 年 11 月 13 日、平成 28 年 7 月 21 日、実験後の平成 29 年 10 月 6 日に実施した。実験前は 59 科 114 種の植物を確認した。実験後は、51 科 100 種を観察した。この差は、観察時期の違いと考えられ、実験による植物相への影響はなかったと判断される。また、方形区調査では、調査時期の違いによる季節的な影響があったが、各コードラート (1m 四方) 内の種組成の大きな変化や、外部形態の変化 (変色や枯損等) は見られなかった。このことから、今回の実験による植物への影響は無いと判断された。

(6) UCG 監視・制御システムの開発

UCG シミュレータを含めた、総合データ監視・管理・予測システムを開発した (図 7)。これにより、リアルタイムで計測データを閲覧できるほか、炭層内の温度分布の可視化、化学量論に基づくガス化空洞の可視化、および生産ガスの発生動向の予測が可能になった。このシステムにより異常を検知し、注入ガスを制御したり、同軸先端部を移動させることにより、安定なガス化が可能になる。

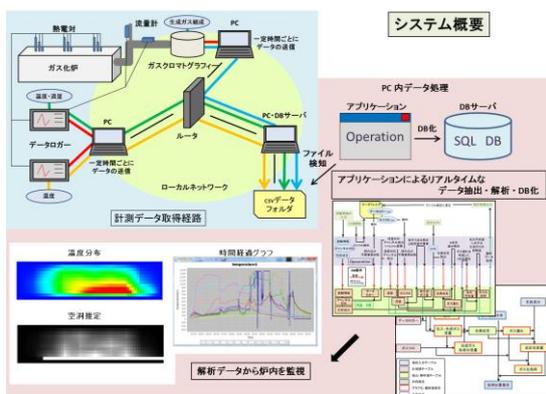


図7 UCG 監視・制御システム

(7) その他の成果は、以下である。人工炭層 UCG 模型実験では、AE 計測を行っている。その結果、いずれの実験においても震源の 70 から 80% がガス化領域内に標定され、炭層内の温度分布ともよく対応しているこ

とから、地下のガス化領域の推定、可視化に AE 計測が有効であることを再確認した。

また、UCG の実用時に向けて、1 本の観測孔で AE 震源標定が可能な、3 成分 AE センサによる計測も実施した。その結果、十分震源標定が可能であることを確認した。

一連の人工炭層 UCG 模型実験では、消火実験も行っている。消火剤として、炭酸ガスと窒素ガスを用いた結果、炭酸ガスの方が温度低下速度は高かった。この結果は、加熱石炭を用いた室内実験および数値シミュレーションでも確認した。

UCG に伴う地下のガス化空洞は、そのままにしておくと地盤沈下や地下水汚染の原因になる。そこで、ガス化空洞の充填剤を検討した。その結果、フライアッシュセメントを主剤とした孔内充填剤を開発し、現場同軸型 UCG 実験の原状復帰に活用した。

人工炭層 UCG 模型実験では、実験終了後に炭層を切断してガス化空洞等の観察を行っている。その結果、AE の発生源はガス化空洞だけでなく、その周辺の節理状コークス部分からも発生していることがわかった。この炭層破壊のメカニズムを、熱伝導と熱応力の連成問題により解明した。

(8) 今回の一連の人工炭層 UCG 模型実験および現場同軸 UCG 実験を通じて、次の実証試験に向けた、高効率で安全なコンパクト同軸型 UCG システムおよび生産ガス処理システム、UCG 用環境計測・監視システムを提案することができた。本システムは、同軸方式を採用しながら、諸外国で主流のリンキング方式 UCG と変わらないガス化効率を達成できている。

<引用文献>

- ① IEA : Underground Coal Gasification, CCC/151, (2009)
- ② 黒岩 (1961) : 石炭の地下ガス化、炭鉱双書 7、技術書院
- ③ 富田ほか (2003) : 資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料、B2-8、pp. 201-204
- ④ 板倉ほか (2007) : 資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料、B5-8、pp. 229-232
- ⑤ 板倉ほか (1998) : 資源・素材学会誌, 114 (12), pp. 918-924
- ⑥ 海保ほか (2011) : 第 20 回日本エネルギー学会大会講演要旨集, p. 18

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 15 件)

- ① Su Fa-qiang, Hamanaka Akihiro, Itakura Ken-ichi, Zhang Wenyan, Deguchi Gota, Sato Kohki, Takahashi Kazuhiro, Kodama Jun-ichi, Monitoring and evaluation of

simulated underground coal gasification in an ex-situ experimental artificial coal seam system, Applied Energy, 査読有、223、2018、82-92

DIO: 10.1016/j.apenergy.2018.04.045

- ② 細井 彰悟、高橋 一弘、佐藤 孝紀、板倉 賢一、パケットベッド放電による石炭ガス化ガスの改質、電気学会論文誌A、査読有、138、2018、44-49

DIO: 10.1541/ieejfms.138.44

- ③ Fa-qiang Su、Akihiro Hamanaka、Ken-ichi Itakura、Gota Deguchi、Kohki Sato and Jun-ichi Kodama、Evaluation of Coal Combustion Zone and Gas Energy Recovery for Underground Coal Gasification (UCG) Process, Energy & Fuels, 査読有、31(1)、2017、154-169

DIO: 10.1021/acs.energyfuels.6b01922

- ④ Fa-qiang Su、Ken-ichi Itakura、Gota Deguchi、Koutarou Ohga、Monitoring of coal fracturing in underground coal gasification by acoustic emission techniques, Applied Energy, 査読有、189、2017、142-156

DIO: 10.1016/j.apenergy.2016.11.082

- ⑤ Akihiro Hamanaka、Fa-qiang Su、Ken-ichi Itakura、Kazuhiro Takahashi、Jun-ichi Kodama and Gota Deguchi、Effect of Injection Flow Rate on Product Gas Quality in Underground Coal Gasification (UCG) Based on Laboratory Scale Experiment: Development of Co-Axial UCG System, Energies, 査読有、10(2)、2017、1-11

DIO: 10.3390/en10020238

- ⑥ Faqiang SU、Ken-ichi ITAKURA、Gota DEGUCHI、Koutarou OHGA and Mamoru KAIHO、Evaluation of Energy Recovery from Laboratory Experiments and Small-scale Field Tests of Underground Coal Gasification (UCG)、Journal of MMIJ, 査読有、131(5)、2015、203-218

DIO: 10.2473/journalofmmij.131.203

- ⑦ 高橋 一弘、佐藤 孝紀、伊藤 秀範、板倉 賢一、パケットベッド放電による石炭地下ガス化ガスの脱硫、電気学会論文誌A、査読有、134(7)、2015、435-436

DIO: 10.1541/ieejfms.135.435

[学会発表] (計60件)

- ① 板倉 賢一、出口 剛太、濱中 晃弘、猪股 英紀、蘇 発強、高橋 一弘、佐藤 孝紀、濱 幸雄、児玉 淳一、菅原 隆之、室蘭工業大学三笠石炭地下ガス化炭鉱における実験成果について、資源・素材学会春季大会、2018

- ② 島口 慎也、板倉 賢一、濱中 晃弘、高橋 一弘、猪股 英紀、蘇 発強、児玉 淳一、出口 剛太、石炭地下ガス化

(UCG)における炉内監視システムの開発、資源・素材学会秋季大会、2017

- ③ Wenyan Zhang、Yukio Hama、Akihiro Hamanaka、Ken-ichi Itakura、Ecological Environmental Survey of Field Underground Coal Gasification (UCG) Test, Proc. of JSED2016、pp.6-7、2016

[その他]

ホームページ等

<http://fdtas-srv.ucg.muroran-it.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板倉 賢一 (ITAKURA, Ken-ichi)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20168298

(2) 研究分担者

濱中 晃弘 (HAMANAKA, Akihiro)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：20758601

佐藤 孝紀 (SATO, Kohki)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50235339

高橋 一弘 (TAKAHASHI, Kazuhiro)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60746973

濱 幸雄 (HAMA, Yukio)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70238054

児玉 淳一 (KODANA, Jun-ichi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：70241411

蘇 発強 (SU, Faqiang)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・研究員

研究者番号：50751137

(平成28年度まで研究分担者)

張 文艶 (ZHANG, Wenyan)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・研究員

研究者番号：90750802

(平成27年度途中まで研究分担者)

(3) 研究協力者

出口 剛太 (DEGUCHI, Gota)

猪股 英紀 (INOMATA, Hidenori)