

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

| | |
|------------|-------------------------|
| 研究課題名 | 反応速度の壁を突破する炭素資源の低温迅速ガス化 |
| 研究機関・部局・職名 | 九州大学・先導物質化学研究所・教授 |
| 氏名 | 林 潤一郎 |

【研究目的】

ガス化は、炭素資源（石炭等の化石資源、再生可能資源としてのバイオマス）および産業排熱等の熱エネルギーを水素・一酸化炭素あるいはメタンを主成分とする合成ガスに変換・統合する熱化学プロセスである。合成ガスは、燃料（燃料源）であると同時に化学原料でもある基幹物質、即ち、エネルギー・化学産業の共通プラットフォーム物質である。それ故に、ガス化は次世代エネルギー・化学産業ネットワークにおいてハブの役割を担うと期待され、その効率向上の意義は極めて大きい。

図1に示すように、現状のガス化法（第一世代ガス化）によれば、変換に伴う炭素資源の化学エネルギー損失は約20%である。本研究提案者は、それまでに蓄積した炭素資源、とりわけバイオマスと低品位炭（褐炭）の熱化学反応機構・速度論

に関して蓄積した独自の知見と専門である反応工学の知識を駆使し、熱的に自立し、しかも反応系出口における合成ガスの温度 (T_{exit} 、図1の横軸) を第一世代ガス化よりも 800°C 以上低くできる革新的なガス化法（第四世代ガス化、本研究実施者による命名）を提案した。第四世代ガス化における化学エネルギー損失は、原理的には3~4%(断熱反応器の場合)と予想され、これは第一世代ガス化のわずか $1/6 \sim 1/5$ である。本研究の第一の目的は、第四世代ガス化の原理を実験的に示すこと、すなわち、第四世代ガス化を模擬する連続反応系において、机上計算から得られるガス化性能を実証すること、であった。

後述するが、第四世代ガス化の研究開発は、その過程におけるブレークスルー（反応系の単純化）によって当初の想定を超えて進捗し、H24年度までに当初目標を達成できる目処がついたため、同年度~H25年度に、新たに二つの異なる次世代ガス化技術の開発にも挑戦した。一つは、次世代のガス化・燃料電池スーパー複合発電（発電

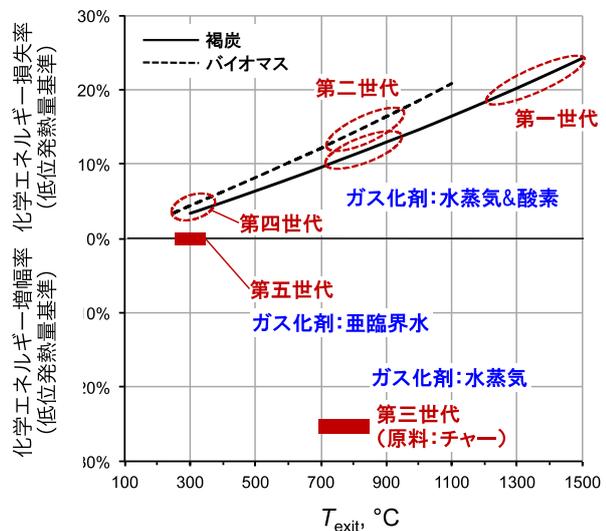


図1. 反応系出口における合成ガス温度 (T_{exit}) と化学エネルギー損失率あるいは増幅率の関係。シミュレーションの詳細 (Hayashi *et al.*、2014) は省略する。

効率>70%の究極の発電法)を実現するための接触水蒸気ガス化(第三世代ガス化)であり、他は、水に溶解した炭素資源を亜臨界条件下でメタンリッチガスに変換する接触水熱ガス化(第五世代ガス化、究極の低温ガス化)である。本研究では、第三世代および第五世代のガス化について予想される性能(図1を参照)を連続反応系において実証することを、それぞれ第二、第三の目的として研究期間中に新規追加した。

| 【総合評価】 | |
|--------------------------|----------------|
| <input type="radio"/> | 特に優れた成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 優れた成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 一定の成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 十分な成果が得られていない |

| 【所見】 |
|--|
| <p>① 総合所見</p> <p>本研究課題では、研究代表者が新規に発想し熱的に自立した出口ガス温度 350℃以下での反応システム(第四世代ガス化)の実現可能性を、ベンチ規模実験により動的炭素変換率 99%以上を実証した。また、SOFC を用いたスーパー複合発電を実現するための接触水蒸気ガス化(第三世代ガス化)についても実験により動的炭素変換率 100%を実証した。さらに、触媒として Ca に替わる Fe を用い、廃鉄、水、CO₂のみを用いるプロセスの開発に成功した。新たに追加された課題の接触水熱ガス化(第五世代ガス化)は反応における化学エネルギー損失はほぼゼロのものであって、この課題についても溶解褐炭のガス化に Ru 触媒を適用し、ガス化率(TOC 低減率) ≥ 99%を得ることに成功した。</p> <p>本研究の成果は合成ガスに変換・統合する熱化学プロセスの革新的な効率向上のためのブレークスルーとなるものであり、今後のスケールアップ開発、実用化に伴う硫黄成分の除去などの課題を解決し実用プラントを開発することを強く期待する。</p> |

| |
|---|
| <p>② 目的の達成状況</p> <p>・ 所期の目的が (<input checked="" type="checkbox"/>全て達成された ・ <input type="checkbox"/>一部達成された ・ <input type="checkbox"/>達成されなかった)</p> <p>本研究課題は炭素資源(石炭等の化石資源、再生可能資源としてのバイオマス)および産業排熱等の熱エネルギーを水素・一酸化炭素あるいはメタンを主成分とする合成ガスに変換・統合する熱化学プロセス革新的な効率向上を目的としたものである。</p> <p>研究代表者が新規に発想し熱的に自立した出口ガス温度 350℃以下での反応システム(第四世代ガス化)の実現可能性を、ベンチ規模実験により動的炭素変換率 99%以上を実証した。また、SOFC を用いたスーパー複合発電を実現するための接触水蒸気ガス化(第三世代ガス化)についても実験により動的炭素変換率 100%を実証した。さらに、触媒として Ca に替わる Fe を用い、廃鉄、水、CO₂のみを用いるプロセスの開発に成功した。さらに、新たに追加された課題の接触水熱ガス化(第五世代ガス化)</p> |
|---|

は反応における化学エネルギー損失はほぼゼロのものであって、この課題についても溶解褐炭のガス化に Ru 触媒を適用し、ガス化率(TOC 低減率) $\geq 99\%$ を得ることに成功した。
以上、当初の目標を超えた優れた成果が得られた。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

炭素資源の有効活用はエネルギー・資源に関する緊急の問題解決に直接つながる。本研究課題は、炭素資源の活用につて、これまでの常識を覆す成果などもあり、十分な先進性・優位性が認められる。また、ガス化プロセスをクローズドなシステムとして見た場合、系外に排出されるガスと固体分が持ち出す熱が熱損失となる。その意味で、系の出口温度を評価として化学エネルギー損失ができるだけ小さくなるような手法(2段化学クエンチ法)を提案していることは手法として先進性がある。比較的低温で、タールを発生させずに高効率でかつ簡単にガス化できる技術の開発が、褐炭やバイオマスなどの低品位・未利用資源の有効活用につながると考えられる。

研究の特徴である「2段クエンチガス化」、「カリウム触媒の利用」についてこれらのアイデアが実際に有効であることを実験で実証した意義は大きく、ブレークスルーとなる。

炭素資源溶解物の接触水熱ガス化は当初目的としなかった新たな成果である。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

石炭やバイオマスのガス化は、多くの研究者が長年携わっている研究分野であつて、タール分を出さずにガス化することや化学エネルギー損失を極力抑えた反応プロセス構造は、この分野の研究者に大きなインパクトを与えられる。炭素資源を合成ガス(あるいは水素)へ誘導する概念は、石炭・バイオマス・廃棄物など多くの分野で共通しているものであり、これに対するインパクトは幅広い研究分野の進展に寄与することが期待される。ただし、本研究課題は技術的なものであり、当該分野がそうした技術を取り入れる方向に進路をとることで寄与が大きなものとなる。また、本研究課題は、石炭やバイオマスのガス化に関する実用化に近い研究であり、研究代表者が「補助事業期間終了後の研究の取組」にも記しているように、企業との共同研究、実用化研究に進んでおり、エネルギー問題という社会的に重要な問題解決への大きな貢献が期待できる。

資源・エネルギーに乏しい我が国にとって、資源利用の徹底的な効率化は社会的な課題であり、これが実現されれば、その貢献は大きいものと考えられるが、一方で、実用化まで、スケールアップは無論のこと、経済性や信頼性、硫黄分の影響の排除などいくつかのハードルがあり、これらをクリアすべく勢力的に研究開発活動を続けることを強く期待する。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが（行われた ・ 行われなかった）

統括研究員の下、ポスドク、大学院生、テクニカルスタッフ、総勢 10-11 人の人員で研究を実施した。これらにより研究の成果を挙げており、マネジメントは適切であったと考えられる。

研究の成果公表について、雑誌論文 23（すべて査読有）、会議等 66（内、13 が招待講演、一般向け 9）、特許 11（取得済み 9、出願中 2）、新聞報道 1 であり、適切である。特に特許取得への取り組みが評価できる。また、国民との科学・技術対話に関しては一般向け講演会やシンポジウム 9 があり、適切に実施されている。