

未来社会創造事業（探索加速型）
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
終了報告書（探索研究）

令和 2 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:林 潤一郎]

[九州大学 先導物質化学研究所・教授]

[研究開発課題名:熱化学再生型バイオマスガス化の開発と実証]

実施期間 : 令和 2 年 11 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日

§1. 研究実施体制

(1) 研究開発代表者グループ(九州大学)

① 研究開発代表者: 林 潤一郎 (先導物質化学研究所・教授)

② 研究項目

1. カリウムを触媒とする熱分解・ガス化法の開発
 - 1.1. カリウム触媒担持法開発
 - 1.2. 熱分解法の開発
 - 1.3. 改質ガス化法の開発
2. ベンチスケール試験研究
 - 2.1. 熱分解試験研究、
 - 2.2. 熱分解・改質ガス化試験研究
 - 2.3. カリウムリサイクル・再生法開発
3. 熱化学再生型ガス化プロセス設計
 - 3.1. プロセスシミュレーション
 - 3.2. 熱分解炉設計
 - 3.3. 改質ガス化炉設計
 - 3.4. シフト反応器設計
 - 3.5. 熱再生プロセス設計
4. サプライチェーン・ビジネスモデル検討
 - 4.1. バイオマス原料供給モデル検討
 - 4.2. サプライチェーン検討
 - 4.3. バイオマスガス化実装のための制度検討

§2. 研究開発成果の概要

バイオマスのガス化は、熱電併給だけでなくグリーンガス(合成ガス、水素、CO₂)製造法としても期待されるが、従来法は化学エネルギー回収率(冷ガス効率)が低く、残留タールや灰トラブル等の未解決の問題もあり、社会実装に至っていない。本研究は、バイオマスに直接担持可能なカリウム(K)を触媒とする低温タール改質・チャーガス化(～730°C)、合成ガス顕熱による熱分解の駆動(～550°C、顕熱化学再生)の二つの原理を持ち込んだ熱分解・改質ガス化プロセスを提案した。

本研究は、この熱化学再生型バイオマスガス化(Synprex)の概念を実証することを目的として実施した。断熱反応器を仮定した定常プロセスシミュレーションでは、Synprex が従来法よりも高冷ガス効率を与えるプロセス原理を明らかにし、加えて、バイオマスガス化への適用例がないCO₂-酸素をガス化剤とするモードが水蒸気-酸素と同等の冷ガス効率を与え、しかもバイオマス炭素のほぼ全量を一酸化炭素(CO)に転換できることを示した。熱分解反応器と改質ガス化反応

器を連結した模擬装置を用いた連続試験を通じて、シミュレーションによる予測と同等の性能、すなわち、CO₂-酸素モードにおいて、バイオマス炭素のガスへの転換率 > 99.9%、CO 収率 >94%-C、合成ガス中残留タール濃度 < 1 mg/Nm³-dry、合成ガス中炭化水素濃度 < 3 vol%、冷ガス効率(熱収支で補正後) > 96%等が明らかになった。残留タールを 1 mg/Nm³ 未満にまで低減できたのは、バイオマスに担持した炭酸カリウムおよびこれに由来する K 化学種が触媒として多段階で機能したことによる。K は、熱分解においては架橋形成促進によるタール生成抑制、熱分解生成物の改質ガス化においてはチャーのマイクロ細孔におけるタールの炭素析出分解とチャーガス化(マイクロ細孔再生)を促進し、総括のタール分解率は 99.999%に達した。熱分解およびチャーガス化時の K の挙動(揮発等)や化学種分布、ガス化時の触媒活性変化等に関しても定量的知見を得た。

【代表的な原著論文情報】

1. Promotion of Cross-Linking and Resulting Suppression of Tar Evolution in Potassium-Catalyzed Pyrolysis of Woody Biomass. *Energy Fuels* 2025, 39, 479–490
2. Sun, H., Ashik, U.P.M., Hu, G., Kudo, S., Asano, S., Staged Conversion of Potassium-Loaded Biomass into Syngas by Continuous Pyrolysis and Low-Temperature Reforming/Gasification with CO₂ and O₂. Hayashi, J.-i. *Energy Fuels* 2025, 39, 465–478.
3. Wei, F., Kudo, S., Asano, S., Hayashi, J.-i. Torrefaction of woody biomass and in-situ pyrolytic reforming of volatile matter: Analyses of products and process heat demand. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 2021, 167, 105658.
4. Wibawa, A., Ashik, U.P.M., Kudo, S., Asano, S., Dohi, Y., Yamamoto, T., Kimura, Y., Gao, X., Hayashi, J.-i. *ISIJ Int.* 2022, 62, 1629–1638.
5. Wei, F., Kudo, S., Asano, S., Hayashi, J.-i. Staged Pyrolytic Conversion of Acid-Loaded Woody Biomass for Production of High-Strength Coke and Valorization of Volatiles. *Energy Fuels* 2022, 36, 6949–6958.