

薪ストーブ燃焼ガスの触媒による クリーン化に関する基礎的研究

龍谷大学大学院理工学部環境ソリューション工学専攻

玉井 康仁

龍谷大学理工学部教授・里山学研究センター研究スタッフ

占部 武生

要旨

薪による木質バイオマスの熱利用について調査している。既報のように、触媒付き米国製薪ストーブを用いても燃焼ガス中CO、NO_xは比較的高かった。そこで、薪ストーブ燃焼ガス中COおよびNO_xのクリーン化が期待できる安価な褐鉄鉱（FeOOHが主成分）とゼオライトを用いて基礎的な研究を行った。グリドル（調理）部に孔を開け、触媒を入れた管と入れない管を設置した。燃焼室温度が400～500℃と比較的低くても、褐鉄鉱触媒を使用すれば2000～10000ppmのCOが500～1000ppm以下まで低減した。また、気化させたNH₃との触媒反応によりNO_xも60ppmから10ppm以下まで低減できることを確認した。また、管状電気炉を用いた実験で、600℃で加熱前処理した褐鉄鉱を使用した場合、400℃から徐々にCOからCO₂への酸化が進み、600℃ではほぼ全てがCO₂に酸化されることがわかった。600℃加熱前処理後のゼオライトを使用した場合、褐鉄鉱に比べ高温でのCO₂への酸化は若干小さかった。なお、褐鉄鉱を加熱処理せずに使用すると、試料中の有機物の燃焼によると思われるCO、CO₂が若干発生した。以上の実験結果より、今後は触媒による低減メカニズムをさらに調査し、効率の向上を図るとともに、触媒の設置位置や圧力損失の把握等、実用化に向けた検討を行う必要がある。

1. はじめに

バイオマスの家庭系用途として薪ストーブに着目し、薪による木質バイオマスの熱利用の可能性について調査している。既報¹⁾のように、触媒付き薪ストーブを用いても燃焼ガス中COは299～3896ppm、NO_xは36～81ppmと比較的高かった。そこで、安価な触媒を用いて薪ストーブ燃焼ガス中COおよびNO_xのクリーン化に関する調査を行ったので報告する。

2. 用いた触媒

酸化鉄はタールの改質（低分子化）などに触媒効果を有することが知られおり、永田²⁾、徳田³⁾は鉄系触媒がCOの酸化に効果のあることを示している。今回は安価で触媒効果の期待できる鉄系触媒のうち群馬県産の褐鉄鉱（FeOOHが主成分）を使用した。また、ゼオライトは

多分野で触媒として用いられているが、脱硝効果も期待できるため試料として用いた。

3. 実験方法

3.1 薪ストーブ燃焼ガスのクリーン化実験

使用した薪ストーブは図1に示すENCORE型 (Vermont Castings社製) 鋳鉄製ストーブである。「龍谷の森」で伐採したコナラ・アカマツを薪材とし、2ヶ月以上自然乾燥したものを用いた。CO、CO₂濃度は赤外線式ガス濃度測定装置 (CGT-7000、島津製作所製)、NO_x、O₂濃度はガス測定装置 (NOA-7000、島津製作所製) を用いて測定した。薪ストーブの二次燃焼室入口と煙突内 (本体燃焼ガス出口より上140cm付近) に熱電対を設置し温度を測定した。

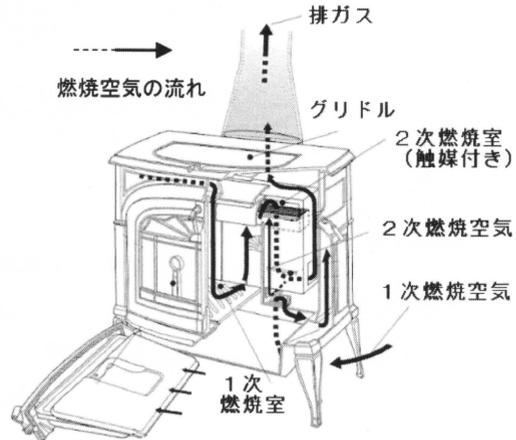


図1 薪ストーブ概要図

グリドル (調理) 部に孔を開けて設置した図2の装置を用い、通常の燃焼状態を維持してCO酸化実験およびNO_x脱硝実験を行なった。触媒を入れた管には0.5~1.0mmの触媒を85ml入れ、SVは約700h⁻¹とした。また、触媒を入れない管と比較した。なお、脱硝実験ではNH₃水を入れたトレーを燃焼室内に置き、NH₃を気化させた。

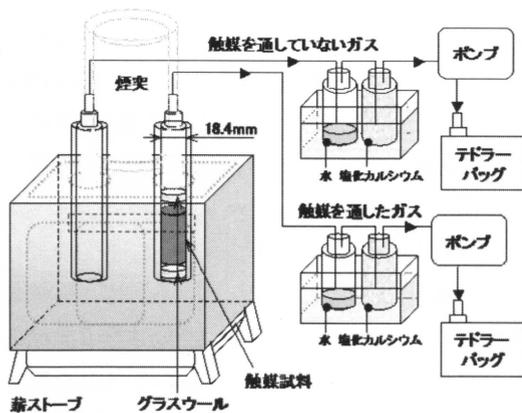


図2 燃焼ガスのクリーン化実験装置

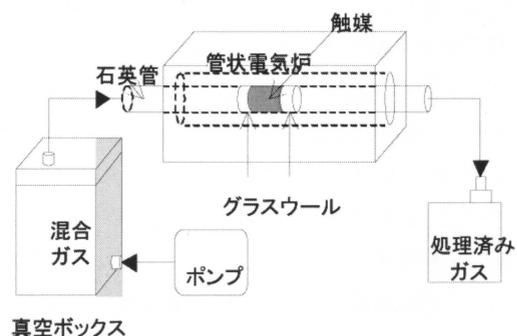


図3 触媒によるCOの酸化実験装置

3.2 電気炉による室内実験

図3の装置を用いて、石英管 (内径6mm) 内の試料を加熱しCO 0.99%、O₂ 20%、残部 N₂の混合ガスをSV7000h⁻¹となるよう流して出口側ガス濃度を測定した。混合ガス流量は、真空ボックスに混合ガスが入ったバッグを入れ、これをエアポンプで加圧して流量0.1 l/minに調整した。

4. 結果および考察

4.1 褐鉄鉱の性状分析

褐鉄鉱の熱しゃく減量は16.6%と比較的高く、Cも1.1%含まれていた。X線回折結果から、300℃以上で褐鉄鉱 (FeOOH) から赤鉄鉱化 (Fe₂O₃) が進むことがわかった。

4.2 ストープ燃焼ガスクリーン化実験

図4に示すように、触媒なしの場合COは2000~10000ppmと変動が大きく、燃焼室内温度が低いと特に高かった。

燃焼ガスを褐鉄鉱に通すとCOは多くが500ppm以下となり、触媒によるCO低減効果が確認できた。図5より、NO_xは褐鉄鉱の有無で大きな差は見られず、40~100ppmで推移した。ゼオライトではNO_xは20ppm以下に低下することが多かったが、これはゼオライトのNO_x吸着効果等によるものと考えられる。今後検討が必要である。

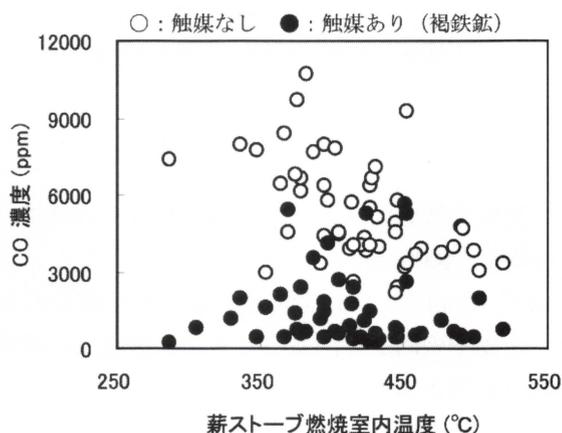


図4 排ガス温度-CO濃度 (O₂12%換算)

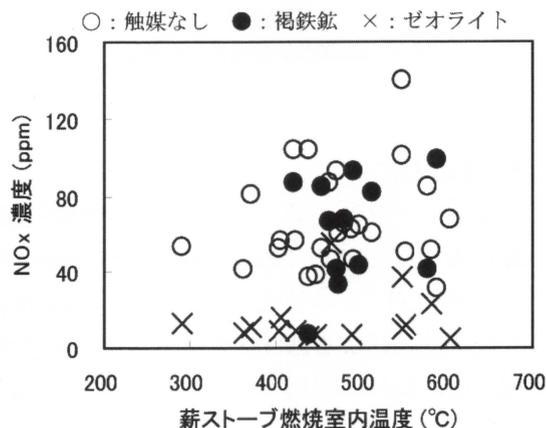


図5 触媒層流通後のNO_x濃度 (O₂12%換算)

燃焼室内温度とNO_x濃度の相関は見られなかった。燃焼室内でNH₃を気化させたとき、燃焼ガスを褐鉄鉱に通した際のNO_x濃度の時間変化を図6に示す。NO_xは60ppmから10ppm以下まで低下し、これは気化したNH₃との触媒反応によるものと考えられる。

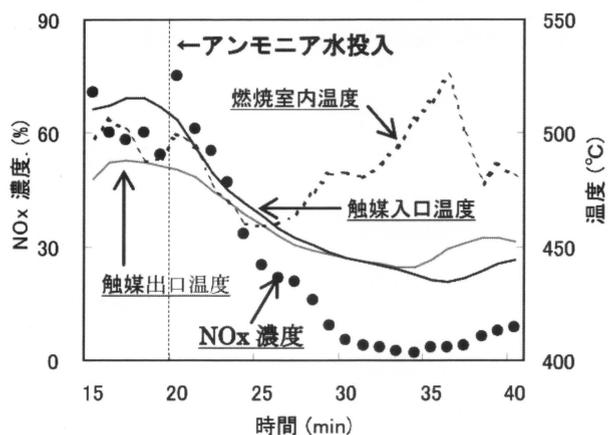


図6 褐鉄鉱へのNH₃添加による脱硝実験結果

4.3 電気炉での触媒によるCO酸化実験

図7より、COの酸化実験で600℃で加熱処理した褐鉄鉱を使用した場合、300℃まではCO₂の増加は見られず400℃から徐々にCO₂に酸化が進み、600℃ではほぼ全てCO₂に酸化されることがわかった。図8より、600℃加熱処理後のゼオライトを使用した場合、褐鉄鉱に比べ高温でのCO₂への酸化は小さかった。なお、褐鉄鉱を加熱処理せずに使用すると、試料中の有機物の燃焼によると思われるCO、CO₂が若干発生した。

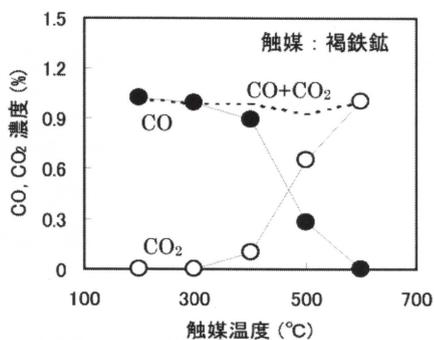


図7 CO酸化実験結果 (褐鉄鉱)

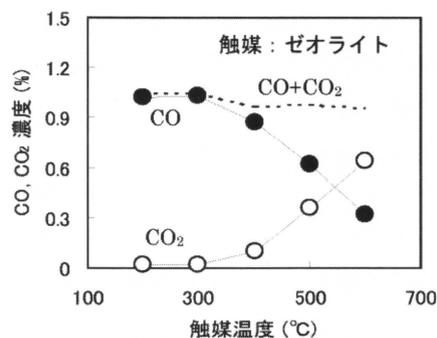


図8 CO酸化実験結果 (ゼオライト)

5. おわりに

以上の実験の結果、燃焼室温度が400～500℃と比較的低い薪ストーブにおいても、低価格の褐鉄鉱触媒を使用すれば2000～10000ppmのCOが500～1000ppm以下まで低減した。また、気化したNH₃との触媒反応によりNO_xも60ppmから10ppm以下まで低下することを確認した。今後は触媒による低減メカニズムをさらに調査し、効率の向上を図るとともに、触媒の設置位置や圧力損失の把握等、実用化に向けた検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 占部、玉井他、里山学研究、2011年度年次報告書、pp. 84-90 (2011)
- 2) 永田、龍谷大学修士論文 (2012)
- 3) 徳田、龍谷大学修士論文 (2012)