

バイオマス燃焼ガス中のガスおよび粒子状成分の特性と環境影響の考察

金沢大学大学院自然科学研究科

森下 和輝

金沢大学理工研究域

畑 光彦

金沢大学理工研究域 正会員 古内 正美

1. はじめに

近年懸念されている地球温暖化および燃料資源の枯渇に対して、再生可能かつカーボンニュートラルなバイオマスエネルギーが注目されている。森林資源が豊富な日本では、未利用の木質バイオマス資源への期待が大きく、家庭用暖房等小規模な利用に期待が寄せられている。しかし、大気汚染防止法の適用を受けない家庭用暖房や小型ボイラでは、大量に発生する煙に含まれる有害物質を除去する仕組みがなく、利用の増加に伴い潜在的な大気汚染源となる可能性がある。そして問題はこれら小規模バイオマス燃焼排ガスの環境負荷が、ほとんど検討されていないことである。

バイオマス燃焼排ガスの組成は、燃料の種類と性状（成分、水分、形状）、燃焼条件（滞留時間、空気比、燃焼温度）などの影響を受け複雑に変化するため、これらを体系化し予測する仕組みが必要である。本研究では、バイオマス燃焼排ガスの環境負荷を予測し必要な対策をするための指針を得るため、(1)バイオマス燃焼炉実機排ガス測定と環境負荷予測手法の検討、(2)多様な燃料・燃焼条件に対応可能な小型バイオマス燃焼試験装置の製作を行った。

2. バイオマス燃焼炉実機排ガス測定と環境負荷予測手法の検討

2.1 実機排ガス測定実験方法の概要

ここではK社の家庭暖房用ペレットストーブ（強制給排気式、燃料消費量 0.8~2.0kg/h、出力 3.4~8.4kW/h、燃料供給量 12~35g/min）で全木ペレット（上伊那地域間伐材由来、かさ密度 640kg/m³、水分 5%）を燃焼させた結果を報告する。サンプリング経路を Fig.1 に示す。ガス分析計（堀場 PG-200）で NO, SO₂, CO, CO₂, O₂ の 5 成分を連続測定し、粒子状物質をカスケードインパクタ（流量 40L/min, 分級径 10μm, 2.5μm, 1μm）を使用して捕集し、HPLC（日立 ELITE LaChrom）ですすに大量に含まれる有害物質である多環芳香族炭化水素（以下 PAHs, EPA16 成分）を分析し、3環以上の 15 成分を検討した。

2.2 排ガス中の粒子濃度と PAHs 成分

ペレットストーブ燃料質量あたりの粒子と PAHs 排出量を Fig.2 に示す。粒子の 80%以上、PAHs の 75%以上が 1μm 以下に集中し、微小粒子の環境負荷が懸念される一方で、燃料質量あたりの排出量に出力設定の影響は少なく、この条件では燃料消費量がもっとも強く排出量に影響していることがわかった。

2.3 排出物質インベントリ作成と環境負荷予測

石油ファンヒータのインベントリで想定されている 11 年間の使用状態に合わせて設定し^{1,2}算出したペレットストーブの排出インベントリを石油ファンヒータのものと合わせて Table 1 に示す。EPS 手法³に基づいて、CO₂, NO_x, PM₁₀, PAHs の統合化係数 (ELU/kg) を用いて環境負荷を計算した結果、石油ファンヒータ 45ELU, ペレットストーブ 60ELU となり、ペレットストーブの CO₂ 排出をゼロとみなせるとしても、多量の粒子排出があり、石油ファンヒータより、ペレットストーブの環境影響が大きいという結果になった。

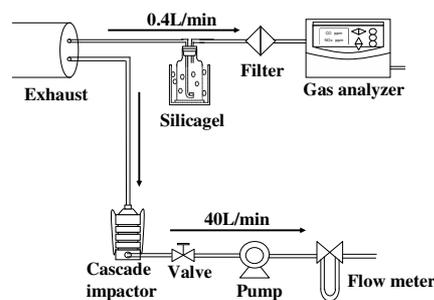


Fig.1 Schematic of exhaust sampling

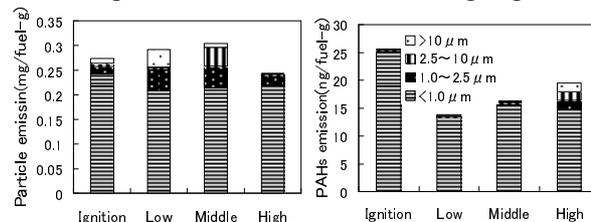


Fig.2 Particle and 3-rings PAHs emission per pellet mass from the wood pellet stove

Table 1 Estimated emission from oil fan heater and the pellet stove

		Oil fan heater	Pellet stove		
			Low	Middle	High
Gas(kg)	CO	NA	38	29	16
	CO ₂	410	0*	0*	0*
	NO _x	0.18	0.33	0.27	0.23
Particulate Matter(g)	TSP	0	1020	1060	860
PAHs(mg)		NA	300	280	360

3. 小型バイオマス燃焼試験装置の製作

3.1 実機排ガス測定実験方法の概要

Fig.3 に実験装置の概略を示す. サンプルング部は Fig.1 と同一だが, 排ガスを希釈トンネルで9倍に希釈して水分の凝縮と粒子の凝集を抑制したほか, カスケードインパクトを改良し下流に慣性フィルタ⁴⁾を取り付けて0.5 μmと0.07 μmの分級を可能にした. 供給空気量を5L/minで固定し, 実機試験で使用した全木ペレットを含め5種類の燃料を燃焼させて燃料の違いを検討した. 実機との最大の違いは燃料の供給方法で, この炉では連続供給を考慮しないバッチ式になっており, 約20°C/minで700°C以上に加熱している.

3.2 排ガス中の粒子濃度と PAHs 成分

燃料質量あたりの粒子と PAHs 排出量を Fig.4 と Fig.5 にそれぞれ示す. 粒子の80%, PAHsの70%が1 μm以下に存在し, 実機より粒子径が小さくなっているのは, 実機より経路が短く凝集が進行していないためだと考えられる.

実機と小型燃焼実験で最も大きな差が見られたのは発生粒子量で, 小型燃焼装置から発生した粒子量は実機の100倍以上となった. 加熱中に分割捕集した結果, 粒子発生量の99%以上が300~600°Cの加熱過程で発生していることが確認されたため, 実機で投入されるペレットがこの温度帯に存在する時間が小型燃焼装置内に比べてはるかに短く, この違いが発生粒子量に反映されたと考えられる. このことから, 粒子量が温度と加熱温度に強く依存していることが確認された.

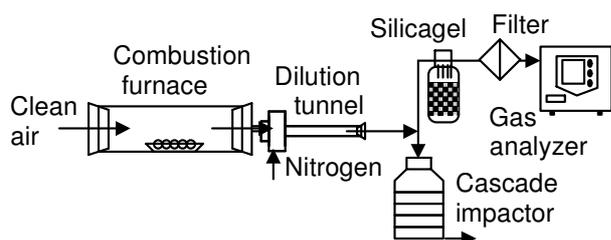


Fig.3 Schematic of small tube combustion test

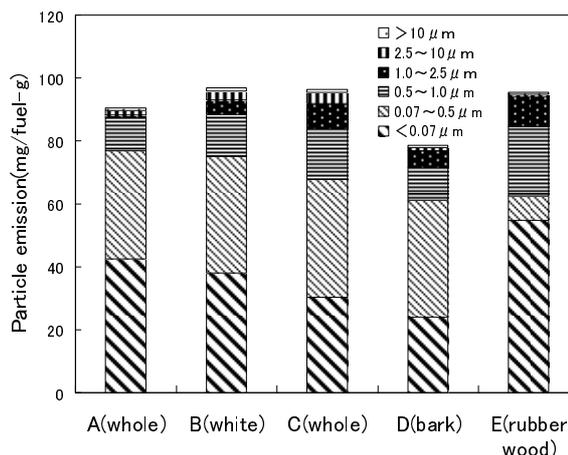


Fig.4 Particles emission per pellet mass from tube furnace combustion

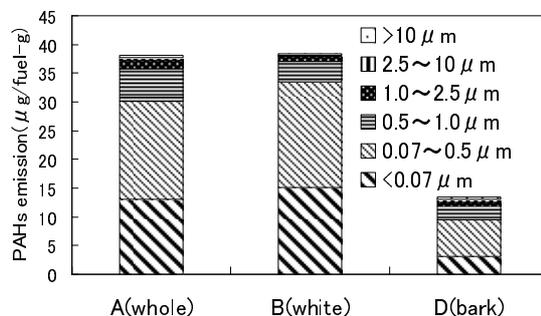


Fig.5 3-6rings PAHs emission per pellet mass from tube furnace combustion

5. まとめ

1. ペレットストーブ実機での排ガス測定の結果, 粒子と PAHs の排出量は燃料供給量に応じて大きくなり, 燃料あたりの発生量はほぼ一定であった. この結果を EPS 手法に基づいた環境負荷を計算した結果, ペレットストーブの環境負荷が石油ファンヒータより大きいという結果が得られた.
2. 小型燃焼実験で木質バイオマスの燃焼実験を行った結果, 発生粒子量は実機よりはるかに大きくなった. これは, 加熱速度が遅いことによって, 温度域と加熱速度が粒子発生に及ぼす影響を検討する必要がある.

引用文献

- 1) 社団法人日本ガス石油機器工業会 環境 LCA WG, ガス石油機器の LCI データの概要
- 2) 社団法人産業環境管理協会, LCA データベース「石油ファンヒータの使用」
- 3) 社団法人産業環境管理協会編, LCA 概論
- 4) Otani, Y., et al., Aerosol Air Qual. Res. 7, pp.343-352, 2007