

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 4日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22710073

研究課題名（和文） 小規模バイオマス燃焼炉からの大気環境汚染を防止する「ハイブリッドフィルタ」の開発

研究課題名（英文） Development of hybrid filter for air pollution control from small scale biomass combustion

研究代表者

畑 光彦（HATA MITSUHIKO）

金沢大学・環境デザイン学系・助教

研究者番号：00334756

研究成果の概要（和文）：

本研究では、まずバイオマス燃焼から発生する粒子状物質の特性は燃焼温度、特に燃料が400℃付近の不完全燃焼温度域の滞留時間に依存していることが判明した。また、ハイブリッドフィルタの性能把握のため、孔の大きさと圧力損失の関係をまとめて検証した結果、実験結果から、孔をあけたフィルタからの粒子の透過率は、ほぼ単純にあけた孔からの流出ぶんに比べ平均で2%ほど高くなった。孔の周辺にも捕集性能が存在すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

This study focused on new utilization of pin-holed fibrous filter with longer life and more moderate performance than conventional filters. Motivation of this study is increasing of biomass combustion energy as a carbon neutral and re-generable energy resource. It is known that biomass combustion emits not only carbon dioxide, but also a lot of nanoparticles which affect to human's health and global climate.

Characteristics of particulate and gaseous pollutants emitted from small scale ovens or wood and pellet stoves for residential use were investigated as a function of operating conditions, compared with laboratory scale experiments using a tube furnace. 70 ~ 90% of the particles emitted from the small scale stoves were classified as PM1 particles and the particle emission rate during the initial period was 50% or more larger than that in a constantly combusting period that occurred later in the process. From batch tests of pellet burning in the tube furnace, particle emission per fuel mass was found to increase with fuel loading. Furthermore, preliminary test of pin-holed filter has tested in various conditions. From the results, key factor of performance of pin-holed filter has been found as additional collection effect around flow around pinhole, which has around 2% for tested conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：エアフィルタ，バイオマス燃焼

1. 研究開始当初の背景

現在低炭素社会へのかつてない要求の高まりの中で、バイオマス資源は温暖化への寄与が低く「環境にやさしい」資源として期待を寄せられている。バイオマス利用の熱利用は2002年からの3年間で2倍以上に増え、政府は2010年までに2002年の5倍に増やす目標を立てているが、熱利用の主力となる小型ボイラや暖房などの小型バイオマス燃焼炉には発電プラント等のような法規制や環境対策がほとんどなく、小型バイオマス燃焼炉が環境汚染源になる可能性についてあまり問題にされていない。

申請者らは東南アジアの現状調査を通して、天然ゴム燻蒸施設や家庭調理で使用されている小型バイオマス燃焼炉から発生するばい煙が作業環境や大気環境の汚染を招いていることを明らかにした。バイオマス燃焼排ガスに含まれるナノ粒子や多環芳香族炭化水素類(PAHs)等の粒子状物質の環境負荷は高く対策が急務であるが、大きさや簡便さの面で最適な空気清浄用実績ある繊維層フィルタ製品は、粒子捕集に伴い急速に目詰まりするため燃焼排ガス中の高濃度粒子を捕集するには性能が高すぎ、粉じん負荷に弱すぎるため、実用性に欠ける。小規模バイオマス燃焼炉に必要なのは粉じん負荷への耐久性を高めて粒子の排出を効果的に抑制する実用的な技術である。

2. 研究の目的

バイオマス燃焼からのナノ粒子の発生は、燃料の種類と性状、燃焼条件等の影響を受け複雑に変化するため、条件の影響を考慮して環境負荷を評価・予測する必要がある。本研究では、基礎データを収集するため、管状電気炉内で木質バイオマス試料を燃焼させ、発生したナノ粒子の特性を検討した。

申請者は民生用設備でHEPAフィルタに孔をあけてフィルタの寿命を延ばしたエピソードに着想を得て予備試験でこの技術の可能性を検証した結果、孔をあけたフィルタには、粉じん負荷に強い孔と捕集効率の高い繊維層(ろ材)が複合した特徴が現れ、捕集効率を維持しながら粉じん負荷に弱い弱点を克服した「ハイブリッドフィルタ」となり、長寿命化が期待できることを確認した。本研究は「小規模バイオマス燃焼炉排ガス用ハイブリッドフィルタ」の最適構造設計を検討する。

3. 研究の方法

木質バイオマス試料として、上伊那地区産全木ペレット(N1.1%, C47.1%, S0.3%, H7.2%)を使用した。熱分析(TG-DTA)の結果(Fig. 1参照)から、150°Cまでの水分蒸発、250°Cまでに有機成分の揮発と思われる重量減少を経

て、350~550°Cでガス化燃焼を示していると思われる2段階の発熱ピークを示し、550°C以上では残留量(灰分)0~3%を残してほぼ全てがガス化した。

木質バイオマス燃料は、このような昇温過程を高速で通過しながら粒子を発生すると考えられるため、燃焼温度である350~550°Cの範囲を中心に、下記(2)のように2種類の昇温過程を検討した。

(2) バイオマス燃焼実験装置および実験方法

Fig. 2に実験装置の概略を示す。内径40mm、外径50mm、長さ500mmの石英ガラス管内のステンレス製金網に試料を保持し、電気炉(いすゞEPKR-17K)で管内を加熱して燃焼させる。燃焼炉上部には燃料投入用の二重バルブを設置し、管内にあらかじめ試料を置いて室温から一定温度までほぼ一定速度で加熱する昇温加熱と、予熱された燃焼炉に試料を投下する急加熱の2種類が可能である。

燃焼用空気は燃焼炉下部から供給され、燃焼排ガスは希釈トンネルで窒素ガスにより9~12倍に希釈された後粒子捕集部とガス分析部に分岐・導入される。粒子捕集部ではナノサンプラ(分級径10, 2.5, 1, 0.5, 0.07 μm)、自作のナノ粒子質量モニタ(分級径0.1 μm の自作慣性フィルタをインレットに取り付けたR&P TEOM1400a)およびSMPS(TSI SMPS3034)に分岐して粒子捕集と計測を行った。ガス分析部では、5成分ガス分析計(堀場PG-200)に導入し、NO₂, SO₂, O₂, CO₂, CO濃度を測定した。

捕集された粒子状物質の多環芳香族炭化水素(PAHs)EPA16成分をHPLC(HITACHI LaChrom Elite)で分析し、高沸点の4-6成分を検討した。

実験条件として、燃焼空気量を5L/min、試料量は0.5g以下とし、熱分析と同じ10~20°C/minで燃焼反応が終了する700°Cまで過熱する昇温加熱実験(Gradient heating)と、400~900°Cに予熱された燃焼炉に試料を投下する急加熱実験(Immediate heating)を行った。

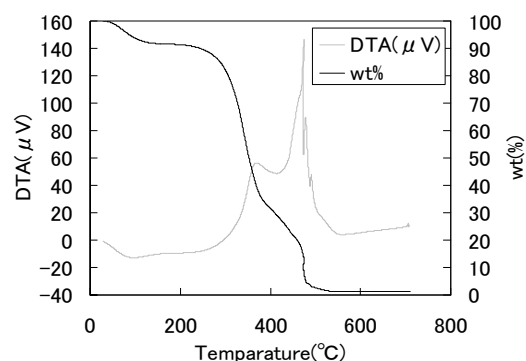


Fig. 1 Result of TG-DTA of the wood pellet (at 20K/min)

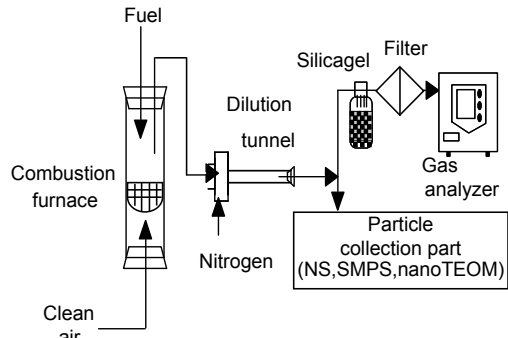


Fig.2 Schematic diagram of experimental setup

ハイブリッドフィルタ予備試験に使用した実験装置の概略を Fig. 3 に示す。実験には SHIBATA HV 用ガラス繊維フィルタ (外直径 $\phi 110$) を使用し、フィルタ試験装置 (ろ過部直径 $\phi 80$, 助走距離約 0.5m) に取り付けました。フィルタの入口側と出口側には濃度測定用のサンプリング管があるが、孔のあいたフィルタの直下流では粒子濃度が不均一なため、出口に三方管をつけて濃度を測定した。入口と出口に圧力測定管があり、差圧センサ (タスコジャパン, TMS660B) で圧力損失を測定した。ダイヤフラムポンプで吸引する流量をバルブで制御し、ポンプ出入口の流量が同一であることを確認してから、流量計をポンプの出口につけて測定した。実験方法は以下のとおりである。入口と出口を交互に (測定 35s, 切り替え 25s) 光学式パーティクルカウンタ (RION KC-01C) で 5 回ずつ測定した。経路の沈着効率と圧力損失を別途測定し、入口濃度と圧力損失をそれぞれ補正した。実験条件は、流量 10~50L/min (ろ過流速 2~10m/min), 孔は $\phi 1$ の針で 0~5 個の孔を開けた。フィルタは 1 枚のほか、粉じん負荷を想定した予備試験として 3 枚重ねたものを使用した。

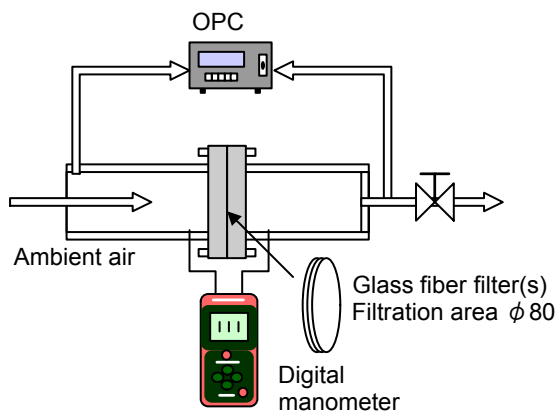
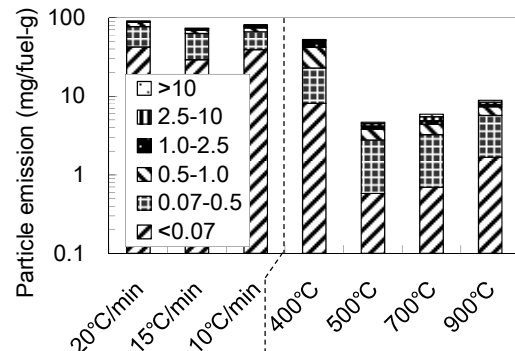


Fig.3 Schematic diagram of experimental

setup

4. 研究成果

粒子排出量と粒子径分布 (それぞれ Fig. 4, Fig. 5 参照) から、急加熱と昇温加熱の違いは大きく、急加熱の粒子量は昇温実験の 1/10 程度、平均粒子径が昇温加熱の約 10 倍になったが、昇温加熱の速度と急加熱の温度の条件による違いは小さい。粒子分析から得られた 4-6 環 PAHs 排出量 (Fig. 6 参照) も粒子量と同様急加熱の方が小さくなるが、若干微小粒子側に偏在する傾向が見られた。急加熱燃焼 400°C の結果は、粒子量・粒子径分布・PAHs とともに昇温加熱に最も近い値を示したため、燃料温度が 400°C 付近に滞留する時間が、粒子生成に関わっている可能性がある。燃焼過程の粒子発生状態を検討するため 10°C/min で昇温燃焼をした際の CO ガス、ナノ粒子質量モニタで測定された PM_{0.1} 粒子質量濃度と、SMPS で測定された 500nm 以下の全粒子個数濃度 (Fig. 5 参照) を比較すると、450~550°C で CO 濃度、ナノ粒子質量濃度、個数濃度がほぼ同時に増加した。これは、熱分析 (Fig. 1) での火炎燃焼の温度域にあり、発生したガスが火炎燃焼する際に、不完全燃焼したすすがナノ粒子として発生されたと考えられる。600~700°C の温度域では粒子質量濃度が低下する一方で 20nm 以下の非常に微小な粒子が高い個数濃度で発生していた。この温度域では残留したチャーのガス化・燃焼する際に粒子を発生していることが予想される。



(a) Gradient and (b) Immediate heating Fig. 4 Emitted particle mass (mg/fuel-g)

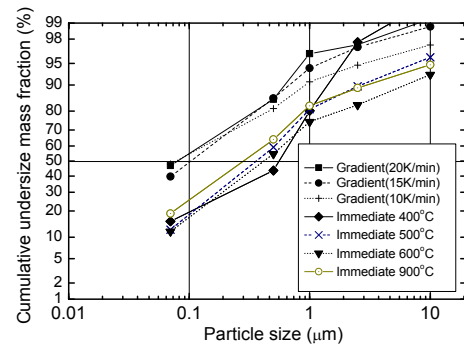
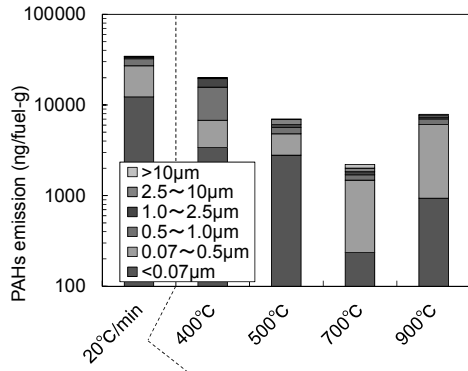


Fig. 5 Emitted particle size distribution



(a) Gradient and (b) Immediate heating
Fig. 6 Emitted 4-6rings PAHs mass
(ng/fuel-g)

木質バイオマスの燃焼試験結果から、木質バイオマスが燃焼する際に試料が 450～550°Cまで加熱される過程でナノ粒子が大量に発生し、その排出量と粒子径分布は試料の加熱速度に依存することがわかった。この現象を実機内での状態と比較することが重要である。

Fig. 8 にフィルタ 1 枚および 3 枚重ねの圧力損失を、Fig. 9 に捕集効率を示す。孔のないフィルタの捕集効率は、予備実験の精度内で 100%であり、捕集効率には粒子径依存性がほとんど見られなかった。また、大気塵中の 0.5µm 以上の粒子の個数が少なかったため、0.3-0.5µm の捕集効率を示した。この結果から孔のないフィルタの流速と圧力損失の関係が繊維層ろ材部分に成り立つと仮定し、孔部分を通る流量を推算し、ピンホールを通る流量と粒子量の関係を Fig. 10 に示した。ろ材の圧損増に伴う孔からの流出量は減少しており、同じ孔の数なら流速増、厚み増のどちらが原因でも圧力損失が上がった結果、流出率が下がるので、粉塵負荷が増加した際の捕集効率は上昇することになる。既往研究では孔に捕集性能はなく、粒子径依存性もないため、傾き 1 の比例関係になるはずだが、粒子の流出量は流体の流出量よりも常に小さかった。

孔をあけたフィルタの捕集効率と圧力損失を検証する予備実験を行った。今回用いたガラス繊維フィルタや HEPA フィルタに比べると、穴あきフィルタの比較対象になる一般的な中性能フィルタの圧力損失はずっと低いため、今後①圧力損失がより低い中性能フィルタをベースにした実験と②実際の粉塵負荷をかけた検証を行う。

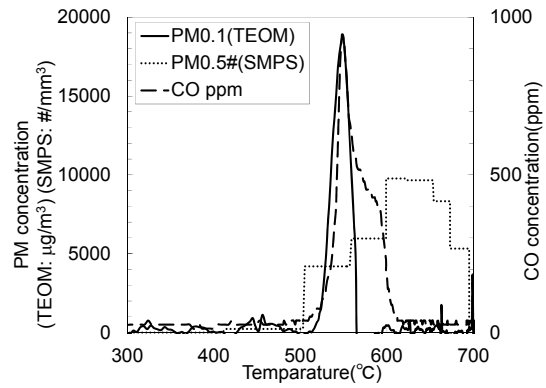
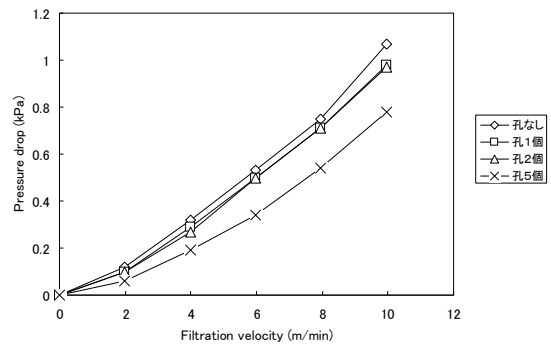
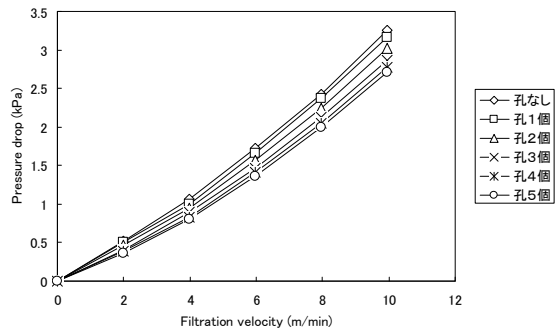


Fig. 7 Particle and CO concentration during gradient heating (20K/min)



(a) One filter



(b) Three filters

Fig. 8 Pressure drop of pin-holed filters

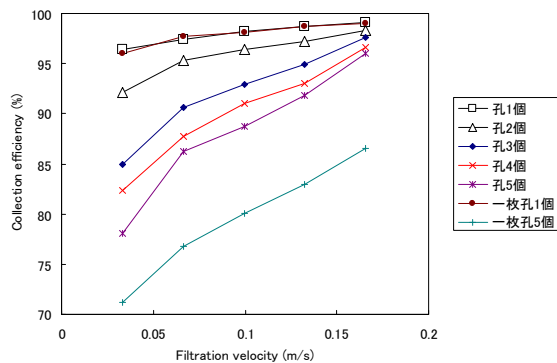


Fig. 9 Collection efficiency (0.3-0.5µm)

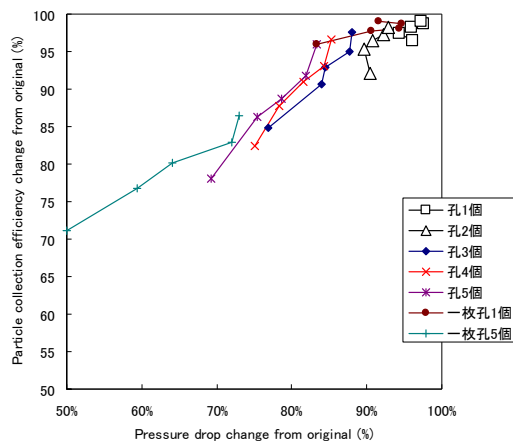


Fig. 10 Performance of pin-holed filters

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5件)

- ① M. Furuuchi, T. Choosong, M. Hata, Y. Otani, P. Tekasakul, M. Takizawa, M. Nagura, Development of a Personal Sampler for Evaluating Exposure to Ultrafine Particles, *Aerosol and Air Quality Research*, 10, pp.30-37, 2010 (査読あり)
- ② T. Choosong, J. Chomanee, P. Tekasakul, S. Tekasakul, Y. Otani, M. Hata, M. Furuuchi, Workplace Environment and Personal Exposure of PM and PAHs to Workers in Natural Rubber Sheet Factories Contaminated by Wood Burning Smoke, *Aerosol and Air Quality Research*, 10, pp.8-21, 2010 (査読あり)
- ③ K. H. Kim, K. Sekiguchi, S. Kudo, K. Sakamoto, M. Hata, M. Furuuchi, Y. Otani, N. Tajima, Performance Test of an Inertial Fibrous Filter for Ultrafine Particle Collection and the Possible Sulfate Loss when Using an Aluminum Substrate with Ultrasonic Extraction of Ionic Compounds, *Aerosol and Air Quality Research*, 10, 6, pp.616-624, 2010 (査読あり)
- ④ J. Han, X. He, G. Wang, M. Furuuchi, M. Hata, Studying the Influence of Operation Parameters on Heavy and Alkali Metals Partition from Flue Gases, *Waste Management & Research*, 28, 2, pp.158-164, 2010 (査読あり)
- ⑤ J. Han, L. Qing, M. Xu, H. Yao, M. Furuuchi, M. Hata, Effect of cooling rate on the partition of heavy and

alkali metals during waste incineration, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, doi: 10.1002/apj.486, ISSN:0969-1855, 2010 (査読あり)

[学会発表] (計5件)

- ① M. Furuuchi, J. Chomanee, T. Thongyen, M. Hata, P. Tekasakul, S. Tekasakul, W. Limapaseni, Y. Otani, Characteristics of Nanoparticles Emitted from Biomass Fuel Burning, International Symposium on Contamination Control 2010, Tokyo, 2010年10月7日, タワーホール船堀(東京都)
- ② パッタラポーンスーティウ, アチャリヤー スリヤウオン, 畑光彦, 鮎林発, 池本良子, 古内正美, バイオマスと石炭の混焼から発生する粒子状汚染物質, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2011年8月27日(大阪府)
- ③ ウォラチャラジュンバ, スラジットテカ サクル, ペラポンテカサクル, 畑光彦, 古内正美, 木質バイオマス・低質石炭混焼排ガス中の粒子と多環芳香族炭化水素類の特性, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2011年8月27日(大阪府)
- ④ 畑光彦, 森下和輝, 鮎林発, 古内正美, 木質バイオマス燃焼排ガス中粒子に及ぼす燃焼条件の影響, 第28回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2011年8月27日(大阪府)
- ⑤ 畑光彦, 鮎林発, 古内正美, ピンホールをあけたエアフィルタの粒子捕集性能におよぼす粉塵負荷の影響, 粉体工学会2011年度秋期研究発表会, 2011年8月27日(大阪府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

畑光彦 (HATA MITSUHIKO)
金沢大学・環境デザイン学系・助教
研究者番号: 00334756

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし