

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510040

研究課題名(和文) 固定発生源からのPM2.5質量濃度測定のための自動吸引条件最適化システムの開発

研究課題名(英文) Development of the automatic suction condition optimization system for PM2.5 measurement of stationary sources

研究代表者

和田 匡司 (WADA, Masashi)

石川工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：00413766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：固定発生源のPM2.5計測用に自動吸引条件最適化システムを製作することを目的に、以下の手順で研究を行った。「自動吸引流量管理システム」の設計・試作する。モデルガス・実排ガスと段階的に運転試験をし、効果評価及び改良点抽出により改良を加えて完成を目指す。「吸引ノズル口径可変システム」の設計・試作する。モデルガス・実排ガスと段階的に運転試験をし、効果評価及び改良点抽出により改良を加えて完成を目指す。その効果を考慮して2つのシステムを組み合わせ「自動吸引条件最適化システム」を試作する。導入効果及び信頼性の検討及び実用性の証明をした。

研究成果の概要(英文)：With the aim of making the automatic suction condition optimization system for PM2.5 measurement of stationary sources, it was studied by the following procedure. Design and make prototype of the "automatic suction flow management system." By a test using a model gas and real gas, evaluated the effect and extended the improvements and added improvements. Design and make prototype of "variable suction nozzle diameter system". By a test using a model gas and real gas, evaluated the effect and extended the improvements and added improvements. Finally made prototype of "Automatic suction conditions optimization system" by combining the two systems. Review the effect and reliability of the introducing the system, and the usefulness was examined.

研究分野：複合新領域

キーワード：環境影響評価手法 大気環境 PM2.5 固定発生源

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国でも大気中PM2.5の環境基準が新設された。固定発生源からのPM2.5排出濃度の測定法について規格がなく、ISO/TC146で議論がなされ、これまでの申請者らの研究によりバーチャルインパクト法が国際規格化されようとしている。一方で、解決すべき問題がいくつかあることも分かっている。最も重要な課題は、理想的な環境下での分離性能は保証されているものの、実プラントでの測定になると十分な分離精度を発揮できないケースがあることであった。

そこで本研究では排ガス条件をリアルタイムにフィードバックして自動的に吸引条件を最適化できるシステムの開発することにより分級性能低下問題の解決を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、自動吸引条件最適化システムを開発することによりこれらの問題を解決することを目的に、バーチャルインパクト法による固定発生源のPM2.5計測法の普及を目指す。

3. 研究の方法

「自動吸引流量管理システム」の設計・試作し、モデルガス・実排ガスと段階的に運転試験をし、効果評価及び改良点抽出により改良を加えて完成を目指す。バーチャルインパクトはその仕組みから、微妙な吸引流量の誤差が分級精度に影響する。変動する実排ガス中で理想吸引流量を維持させるため、煙道内を常時監視しながらデータを取り込み、吸引流量を自動調整するシステムを設計する。煙道内条件測定にはピトー管・熱電対・簡易ガス分析計を用いる。吸引流量はマスフローコントローラで制御する仕組みとする。設計後は試作し、以下で作動確認・改良を行い、完成を目指す。

4. 研究成果

(1) 煙道内常設型バーチャルインパクト本体の作成

固定発生源煙道内測定用にバーチャルインパクトを試作した。本装置はSzymanskiらによる仕様を、固定発生源煙道中でPM10/PM2.5を分級捕集できるよう改造したものである。上流から順に1段目がPM10分級部で10 μm以上の粗大粒子を、2段目がPM2.5分級部で2.5~10 μmの粒子(PM10-2.5)を、その後PM2.5捕集部でPM2.5をそれぞれフィルタにより捕集する。

なお、バーチャルインパクトの分級特性は通常、粒子の停止距離とノズル径との比率であるストークス数によって支配される。

$$Stk = \frac{\rho_p d_p^2 U C_c}{9\eta D_0} \dots \dots (1)$$

ここで、 ρ_p 、 d_p 、 U 、 C_c 、 η 、 D_0 はそれぞれ

れ、粒子の密度、粒子径、加速ノズルのガス流速、カニンガムの補正係数、気体の粘性係数、加速ノズル径である。部分分離効率 η が50%となるストークス数の値(本装置では0.44)、および、 $\rho_p=1000\text{kg/m}^3$ をEq(1)に代入し、各分級ステージのカットオフ径が2.5 μm、10 μmとなるようにU、 D_0 を決定した。常温常圧時には、1段目の吸引管でPM10分級部の2次流である1.0 l/minを吸引し、PM2.5分級部に流れる11.5 l/minのうち2次流として1.2 l/minを2段目の吸引管で吸引し、残りの10.3 l/minを3段目の吸引管から吸引することで良好な分級性能が実証された。

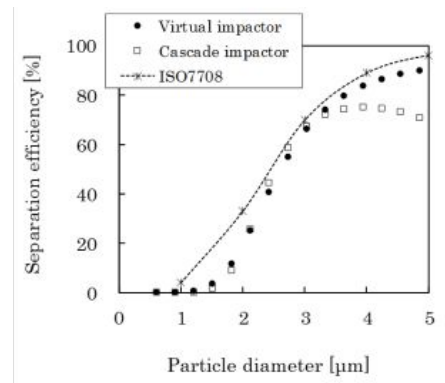


図1 分離性能の評価

(2) 自動吸引流量管理システム環境整備

本システムは測定・制御部と遠隔監視部のモジュールから構成され、遠隔で装置の稼働状況および煙道内の状況(圧力、温度、湿度)を監視することができる。測定制御部では、煙道内に常設したバーチャルインパクトに取り付けた各種センサ(温度、圧力)からのセンシングデータをモニタリング装置で受信し、同装置にて得られたセンシングデータをもとにバーチャルインパクト内の最適な流量を導出したのちに、マスフローコントローラに対して導出した最適流量となるようフィードバック制御を行う。

測定・制御部は、バーチャルインパクトに取り付ける各種センサ、および、モニタリング装置から構成される。センサには、温度、圧力、湿度センサを用いた。また、モニタリング装置は、(a)RaspberryPi、(b)Arduino Nano、(c)WiFiルータを用いた。いずれの装置も比較的安価で入手可能であり、また、設置面積も小さくて済むのが特徴であるとともに、要望によりセンサを増やすことも容易に可能である。

(3) 吸引流量の影響試験方法

バーチャルインパクトによるサンプリングでは吸引流量の制御が重要である。しかし、測定中には煙道内条件の変動やフィルタの圧損変化、ポンプ吸引量の変動などにより流量は変動してしまう。現在主流である手作業による吸引流量制御の精度を把握するため、実排ガスを用いて検証を行った。

2種類のA重油ボイラーが並列につながっ

ていてガス処理施設はなく直接煙突に排出されているプラントにて試験を行った。試験ボイラーの概要を表1に示す。煙道内条件は煙道内圧力 1003mbar、煙道内温度 92、水分量 60g/m³、CO₂含有率 7.2%、O₂含有率 12.8%、N₂含有率 80%、ガス速度 13.0m/sであった。

表1 ボイラー施設の概要

	給油温水ヒータ	暖房蒸気ボイラー
定格出力 (kcal/h)	400000	921000
燃料消費量 (l/h)	A 重油 49.8	A 重油 166.6

吸引部については、気流の乱れが影響しないよう、気流とは直角に屈曲ノズルを使用した。また、バーチャルインパクタは完全に煙道内に入り、温度変化により凝縮が起こらないようにポートから差し入れている。バーチャルインパクタ各段の吸引流量は下段から順番にそれぞれ 6.36、1.37、1.1 [l/min]とした。この吸引流量は、煙道内の温度、水分量、ガス組成測定を行い決定した。試験中は、システムにより制御した場合の流量データをパルス発信機能付きガスメータの情報を連続的に記録する。一方、システムを使用しない場合の比較として実際の現場測定と同様に、設定流量になるよう湿式ガスメータの読みからバルブ調整にて流量制御する方法を用いる。

(4)試験結果

総量 11.5m³ のサンプリングを行った結果、PM_{2.5}濃度は 0.43 mg/m³Nであった。また、捕集した粒子の SEM 写真を図2に示す。主成分はブラックカーボンである。

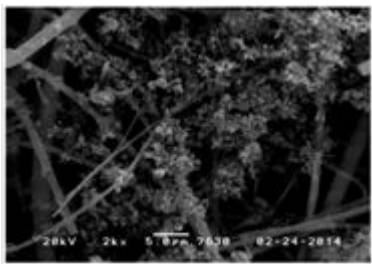


図2 捕集粒子の SEM 画像

手作業での流量制御値と理想値との平均誤差： $((\text{測定値の平均} - \text{設定値}) / \text{設定値})$ 及び、最大誤差： $((\text{測定値} - \text{設定値}) / \text{設定値})$ について検討を行う。1 段目の平均誤差は±6.9%と、2 段目の平均誤差は±8.2%、3 段目の平均誤差は±6.8%であった。また、PM_{2.5}を捕集する流量である 2 段目と 3 段目の合計した平均誤差は±6.8%であった。計算結果より流量の誤差の影響による分離径の変化を解析した(図3)。PM_{2.5}を捕集する流量である 2 段目と 3 段目の合計した流量での誤差について考察を行う。誤差については以下に

示す平均誤差と最大誤差について考察する。表2に分離径誤差と質量誤差を示す。図3より、それぞれの誤差を持つ場合に粒子の分離径に与える誤差を計算した。求めた分離径誤差と質量誤差は、平均誤差±6.8%の時、分離径誤差-3.2~+3.6%、質量誤差-9.3~11.3%であった。また、平均誤差±33.7%の時、分離径誤差-0.14~+0.27%、質量誤差-0.037~+0.104%であった。

これらの検討から、手作業での流量制御による影響も無視はできないことが分かった。

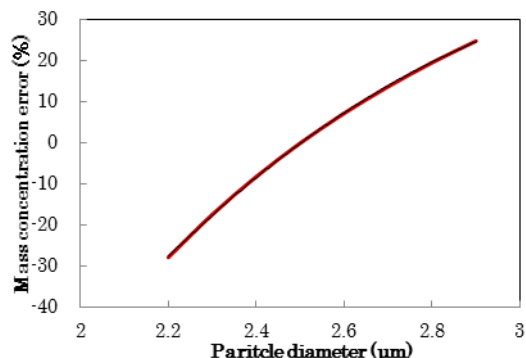


図3 流量の誤差と分離径への影響

表2 吸引流量誤差が分離径及び捕集質量に及ぼす誤差

	平均誤差 ±6.83%	最大誤差 ±33.7%
分離径 (μm)	2.42~2.59	2.14~3.17
質量 (ng)	0.0074~ 0.00910	0.00153~ 0.0167
分離径誤差 (%)	-3.2~+3.6	-0.14~+0.27
質量誤差 (ng)	-9.3~11.3	-0.037~ +0.104

(5)まとめ

これまでに、バーチャルインパクタの改良、システムの構成を行い、システムについては特許申請に至った。一方、システム導入の効果について、実排ガスを用いて検討を行っている。

得られた成果に対する実用化の見通しについては、装置についてはプロトタイプが完成したので製作の精度とコストのバランスである。低コストで PM_{2.5}の測定を実現できるため、PM_{2.5}排出量の測定を望む企業は測定装置の導入に対する敷居が低くなり、間接的に PM_{2.5}の排出量軽減に寄与できる。さらに、遠隔監視用サーバをインターネットに接続し、導入した企業からの測定データを収集することで、我が国の PM_{2.5}排出量をリアルタイムにモニタリングできる環境を整備することも原理的には可能であり、実現できれば企業のみならず我が国の環境問題に対する取り組みにも貢献できると考える。

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 2件)

神谷秀博、並木則和、塚田まゆみ、Wuled Lenggoro、和田匡司、野田直希、牧野尚夫、峰島知芳、W.W. Szymanski: “固定発生源におけるエアロゾルの生成と排出挙動” ,エアロゾル研究, 査読有, 29 (S1), 27-37 (2014)

和田匡司: “東アジア地区の固定発生源からの排出粒子” ,空気清浄, 査読無, 51, 66(2013)

〔学会発表〕(計 8件)

M.Wada, H.Wakamatsu, C.Kanaoka: “Degradation of PPS Filter Media by NOx at high temperature”, FILTECH2015, Cologne, Germany, 2015.2.25

H. Wakamatsu, K. Nakada, M. Wada: “The Degradation of PPS Filter Media by NOx”, ISTS2014, 140.1-4, Taipei, 2014.11.20

和田匡司, 金岡千嘉男: “PM2.5 に対する有効なフィルタ構造の検討” ,粉体工学会, 秋季研究発表会講演要旨集, 160-161, 大阪, 2013.10.8-9

M. Tsukada, M. Rashid, M. Ramli, M. Wada, K. H. Kim, K. Sekiguchi, W. W. Szymanski, H. Kamiya: “Field Investigation of PM2.5 and PM10 Measurements from a Medical Waste Incineration Plant Using Virtual Impactors”, MJIT-JUC Joint Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.11. 21-23

H. Kamiya, M. Tsukada, W. Lenggoro, N. Namiki, M. Wada, N. Noda, H. Makino, C. Minejima, W. W. Szymanski: “Aerosol formation and emission behavior characterization from stationary sources”, International Symposium on Aerosol in East Asia and Their Impacts on Plants and Human Health, 52-53, Tokyo, 2012.11.30

R.Doi, R. Arai and M. Wada: “Evaluation method for oil extraction capacity of liquefied DME”, ISTS2012, Bangkok, 2012.11.21

大石 亨, 並木則和, 和田匡司, 塚田まゆみ, 神谷秀博, 姚 宇平, W. W. Szymanski: “個数濃度による PM10/PM2.5 測定用パーティクルインパクタの分級特性評価と固定発生源実測への適用” ,化学工学会第 44 回秋季大会, 宮城, 2012.9.19-21

大石亨, 並木則和, 和田匡司, 新井美葉, 塚田まゆみ, 神谷秀博, W.W.Szymanski: “個数濃度による PM10/PM2.5 測定用パーティクルインパクタの分級特性評価と固定発生源実測への適用” ,第 29 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 東京, 2012.6.5-6

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1件)

名称: 微小粒子状物質濃度測定システム

発明者: 和田匡司・川除佳和

権利者: 同上

種類: 特願

番号: 特願 2014-258069

出願年月日: 2014.12.19

国内外の別: 国内

〔その他〕

和田匡司: “固定発生源煙道内での PM2.5 排出濃度測定手法” ,グリーンイノベーション研究会, 2014.2.13

加藤あずさ, 寺田智子, 和田匡司: “工場からどのくらい出てるの? ~PM2.5 の「測り方」~” ,エコプロダクツ 2013, 2013.12

和田匡司: “固定発生源煙道内での PM2.5 排出濃度測定手法” ,第 11 回全国高専テクノフォーラム, 2013.8

6. 研究組織

(1)研究代表者

和田 匡司 (WADA, Masashi)

石川工業高等専門学校, その他部局等, 講師

研究者番号: 00413766

(2)研究分担者

川除 佳和 (KAWAYOKE, Yoshikazu)

石川工業高等専門学校, その他部局等, 講師

研究者番号: 90552547