

平成30年9月4日現在

機関番号：84410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00618

研究課題名(和文) ばい煙発生施設常設用PM2.5排出濃度モニタリングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of PM2.5 monitoring system for permanent installation in stack of stationary sources

研究代表者

和田 匡司 (Wada, Masashi)

地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所(環境研究部、食の安全研究部及び水・その他部局等)・研究員

研究者番号：00413766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：固定発生源のPM2.5排出濃度測定法ISO13271(JIS Z 7152)が確立され、環境省では排出規制の導入に向けた検討が開始された。規制の導入にあたっては、煙道内に常設でき、規格に基づく測定と整合性のある濃度をリアルタイムに監視できる装置の開発が望まれる。本研究ではPM2.5測定中に排ガス条件に合わせて最適化された流量コントロール機能および遠隔監視・制御機能を持つ流量制御システムを製作した。さらに、吸引ノズル径を変化させ等速吸引状態を維持する機能も試作した。これらの効果について、模擬煙道装置を整備し、模擬排ガスおよび重油燃焼ボイラー排ガスをを用いて検証した。

研究成果の概要(英文)：ISO13271 (JIS Z 7152), a PM2.5 emission concentration measurement method for stationary sources, has been established, and the Ministry of the Environment has begun to consider for the introduction of emission control. In introducing the regulation, it is desirable to develop a device which can be permanently installed in the flue gas duct and which can monitor concentrations consistent with the value measured by standard methods in real time. In this research, we developed a flow control system with flow control function and remote monitoring / control function optimized for exhaust gas condition during PM2.5 measurement. Furthermore, a function to maintain the constant velocity suction by varying the suction nozzle diameter was prototyped. These effects were verified using simulated exhaust gas and heavy oil combustion boiler exhaust gas.

研究分野：複合新領域

キーワード：大気環境 PM2.5 固定発生源

1. 研究開始当初の背景

大気中に浮遊する粒子状物質の中で $2.5 \mu\text{m}$ 以下の微小粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) は、濃度と健康影響との高い関連性が報告されている。2009年には、我が国でも $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準が設けられた。人為的な発生源は、ディーゼル車等の移動発生源と工場等の固定発生源とに大別されるが、それぞれにおいて、排出対策が求められている。固定発生源では $\text{PM}_{2.5}$ 排出量を測る信頼性のある手法がなかったが、2013年に、ようやく煙道内で $\text{PM}_{2.5}$ の排出濃度を測定する手法 ISO 1327-2012 (JIS Z 7152- 2013) が制定された。バーチャルインパクトという装置を用いて分級捕集する手法である。測定手法の制定後、現在は環境省が排出規制値、規制の方法等について検討している。

しかし、バーチャルインパクト法には流量管理の煩雑さと本来の分離性能が現場で維持できず精度低下するという課題があった。その最大の要因は、吸引ガス流量と吸引条件の不十分な管理にあった。その解決策として「自動吸引条件最適化システム」を開発してきた。吸引条件 (吸引流量、ノズル吸引速度) 最適化の全自動化及びメンテナンスフリーで遠隔監視・操作可能なシステムであり、これにより、より高精度で手間のかからない現場測定が可能になる。

2. 研究の目的

本研究では排ガス条件に合わせて自動的に吸引条件を最適化できる機能をもつ、ばい煙発生施設常設用 $\text{PM}_{2.5}$ 排出濃度モニタリングシステムの確立を目指す。

3. 研究の方法

煙道内常設型バーチャルインパクト本体の作成

煙道に常設し、連続分級が可能なバーチャルインパクト本体を作成する。申請者らが開発・製品化した VIS impactor をベースに、連続分級可能な形式に改造する。

自動吸引流量最適化システムによる測定誤差の抑制

ISO13271 (JIS Z 7152) の方法では機械誤差、人的誤差含めて最大 20% までの測定誤差

が認められている。申請者らの現場測定用に開発した自動吸引流量最適化システムのアイデアを発展することにより最低でも 5% 以下まで測定誤差を抑えられる。完全自動化により、メンテナンスフリーでありつつ高精度測定を実現させるために、本体とうまく連携できるように最適化を行う。また、模擬煙道内で正常に動作し、測定誤差が目標値以下になることを確認する。

さらに、実排ガスでの運転試験を行い、導入効果及び信頼性の検討及び実用性の証明をする。また、測定は ISO13271 (JIS Z 7152) に沿った測定方法のものと並行して行い、本システム導入による効果について評価検討する。

煙道内排出濃度モニタリング環境の整備
実用を想定して、遠隔でモニタリングできる環境づくりをする。無線通信や簡易プログラムにより、遠隔モニタリングおよび操作が可能なシステムを作る。測定で得られる $\text{PM}_{2.5}$ 排出濃度のみならず、装置の稼働状況 (吸引流量やノズル径など)、自動吸引流量管理で入力データとして用いる煙道内状況 (圧力、流速、温度、ガス組成など) を、現場で作業する作業員、管制室などの管理者がリアルタイムにデータを閲覧できるシステムとする。

4. 研究成果

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 による仕様を、固定発生源煙道中で $\text{PM}_{2.5}$ 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 PM_{10} 分級部で $10 \mu\text{m}$ 以上の粗大粒子を、2 段目が $\text{PM}_{2.5}$ 分級部で $2.5 \sim 10 \mu\text{m}$ の粒子 ($\text{PM}_{10-2.5}$) を、その後 $\text{PM}_{2.5}$ 捕集部で $\text{PM}_{2.5}$ をそれぞれフィルタにより捕集する。

なお、パ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 、 D_0 はそれぞれ、粒子の密度、粒子径、加速ノズルのガス流速、カニングガムの補正係数、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 $2.5 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ となるように U 、 D_0 を決定した。常温常圧下で、ISO7708に規定される分離性能を満たしており、カスケードインパクト法と比較しても良好な分級性能が得られた（図1-1）。

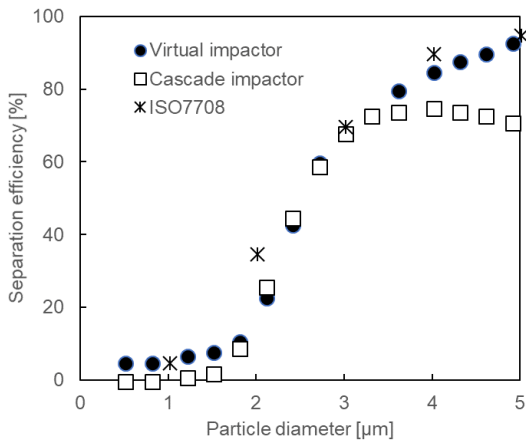


図 1-1 分離性能の評価

自動吸引流量最適化システムによる測定誤差の抑制



図 2-1 口径可変ノズル

（左：ノズル径を大きくした場合、
右：小さくした場合）

自動吸引流量最適化システム導入による測定誤差の抑制効果の検証をした。図2-1に示した口径可変ノズルを使用し、模擬排ガスをを用いて効果の検証を行った。検証のため、自由に流速、粉じん濃度を調節可能な模擬煙道試験装置を整備した（図2-2）。

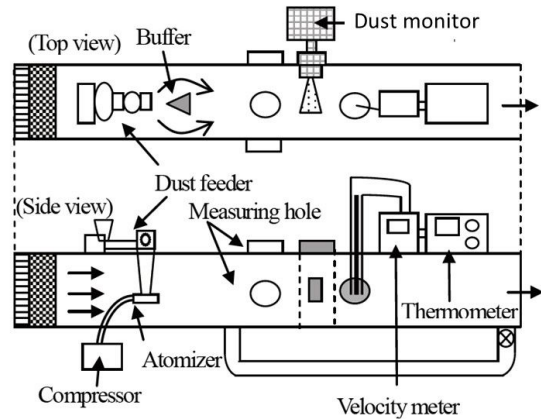


図 2-2 模擬煙道試験装置

図 2-3 に主な結果を示した。横軸は理想吸引速度に対する実際の吸引速度の比率を示し、理想の吸引速度からの乖離を表す。縦軸はその吸引速度での濃度測定値の実濃度（設定濃度）に対する比率を示し、実濃度からの乖離を表す。図中の丸で示すプロットはノズル径は一定のまま煙道内流速を変化させてノズルからの吸引流速を変化させた場合の測定結果を表す。煙道内流速に対して吸引流速が小さいと濃度を過大評価し、大きいと過小評価する結果となった。吸引流速が大きい際の誤差よりも小さい場合に測定誤差が大きくなる。一方、四角のプロットは口径可変ノズルにより煙道内流速と吸引流速が一定になるよう制御した場合の結果で、N=10回の平均値とその最大および最小値をエラーバーで示した。±5%の範囲内で測定ができた。

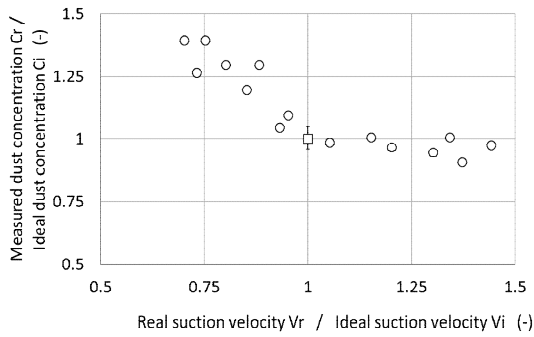


図 2-3 自動吸引流量最適化の効果

重油燃焼ボイラー施設の排ガスを使用した測定を行った。ばいじん濃度が高く、流量条件の変動がある排ガスである。サンプリングは煙突直前にある排ガス測定用ポートを使用して実施した。図 2-4 にばいじん測定概要を示した。同一条件で、システムを導入した測定結果と既存の方法による測定結果とを比較検討した。測定箇所は中心付近とし、両側からそれぞれ挿入してサンプリングを行った。吸引についてはガス処理後、自動流量調整装置により一定流量で吸引した。測定の結果、従来法では $64.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、システム導入法では $70.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ のばいじん濃度を得た。吸引中のそれぞれの吸引流速 / 煙道流速比の経時変化を確認すると従来型では最大 1.5 倍程度まで流速差が表れており、変動が大きいことが分かった。一方、システム導入で煙道内流速との追従が正常に働いていた。ただし、図 2-3 から分かるように、吸引流速の大きい側へのずれは重量としては大きくは効いてこないで、重量誤差には大きく表れていなかったと考えられる。一方、従来法では手分析による流量制御のため、流量誤差が総量で +6.8% あった。図 2-5 に、流量誤差による分離径および捕集量への影響を理論計算により推算した結果を示した。図中の矢印で示す通り、6.8% の誤差がある場合、本来 $2.5 \mu\text{m}$ である分離径が $2.4 \mu\text{m}$ 程度まで引き下げられ、 $\text{PM}_{2.5}$ 捕集量が少なくなった。このように、流量誤差による測定値への影響は大き

く、自動制御による流量管理は有効であることがわかった。また、SEM 観察によると、システムを用いたものに比べ、従来法の捕集粒子では分級不良によると思われる粗粒子の混在が多く確認された。

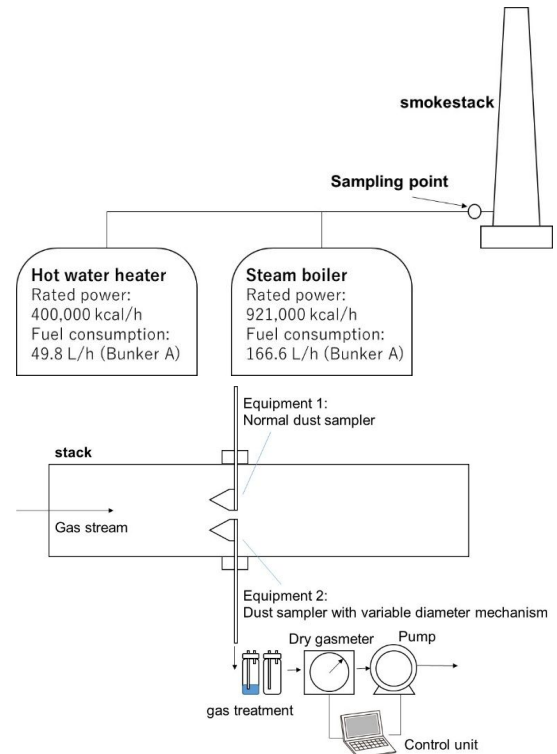


図 2-4 ボイラー排ガスを利用した測定の測定箇所および並行測定概要

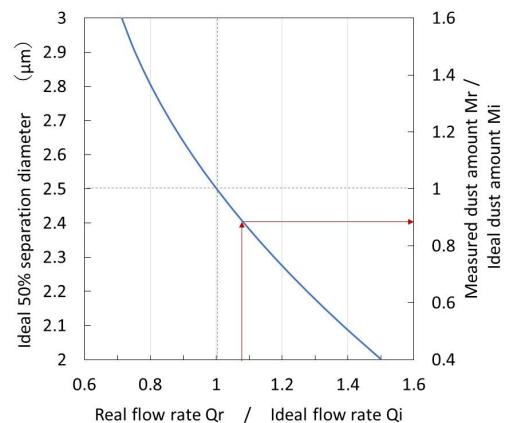


図 2-5 流量誤差による分離径および捕集量への影響

煙道内排出濃度モニタリング環境の整備
 モニタリングシステムは測定・制御部と遠隔監視部のモジュールの構成とした(図3-1)。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ー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えるようにした。本システムについての特許は審査請求中である。

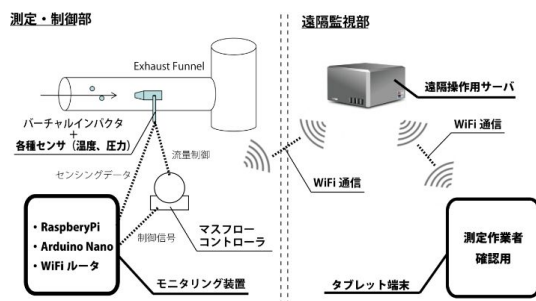


図3-1 リアルタイムモニタリングシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

K. Hara, T. Maki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, M. Wada, A. Matsuki: “Variations of ice nuclei concentration induced by rain and snowfall within a local forested site in Japan”, Atmospheric Environment, 127, 1-5 (2016)

M. Wada, M. Tsukada, W. W. Szymanski, N. Noda, H. Makino, C. Kanaoka, H. Kamiya: “A Two-stage Virtual Impactor for In-stack Sampling of PM2.5 and PM10 from Flue Gas of Stationary Sources”, Aerosol and Air Quality Research, 16, 36-45 (2016)

神谷秀博、塚田まゆみ、W.W. Szymanski、並木則和、和田匡司、笹辺修司、伊藤卓

也、白井忠 “バーチャルインパクト法による固定発生源からの PM2.5/PM10 質量濃度計測”, 粉体工学会誌(2017)

〔学会発表〕(計 5件)

M. Wada, S. Hashimoto, C. Kanaoka: “The changing of tensile strength of PPS Filter Media by NOx at high temperature”, Asian Aerosol Conference 2015 (AAC2015), B410, Kanazawa, 2015.6.27

A. Afiqah, S. Hashimoto, M. Rashid, M. Ramli, M. Wada: “Field Investigation of PM2.5 and PM10 Measurements from a Medical Waste Incineration Plant in Malaysia”, ISTS2015, 113.1-4, Malaysia, 2015.8.5

M. Wada, C. Kanaoka: “Effect of the Unevenness of Fiber Packing on Dust Collection Performance of Cleanable Filter Media”, The 6th Asian Particle Technology Symposium (APT2015), 191, Korea, 2015.9.18

神谷秀博、塚田まゆみ、W.W. Szymanski、並木則和、和田匡司、笹辺修司、伊藤卓也、白井忠: “バーチャルインパクト法による固定発生源からの PM2.5/PM10 質量濃度計測”, 粉体工学会技術討論会・テキスト, 110-113 東京, 2017.6.20

Masashi Wada, Rie Nishimura, Fumikazu Ikemori, Mitsuhiko Hata, Masami Furuuchi: “Characteristics comparison of ambient fine particles in East Asian cities”, KU-PSU-CTU Joint Symposium in conjunction with KU-PSU JW5, EA-NanoNet-5 and EIAA-5, Kanazawa, 2017.10.14

6. 研究組織

(1)研究代表者

和田 匡司 (WADA, Masashi)

大阪府立環境農林水産総合研究所, その他部局等, 研究員

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, 准教授
 研究者番号: 90552547

(3) 研究分担者

高井 俊和 (TAKAI, Toshikazu)

九州工業大学, 大学, 講師
 研究者番号: 00759433