

平成 22 年 6 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20710028
 研究課題名（和文） 固定発生源からの微小粒子（PM_{2.5}）排出挙動測定用エアロゾル分級装置の開発
 研究課題名（英文） Development of PM₁₀/PM_{2.5} mass concentration measurement method in flue gas of stationary sources by means of multi-stage VIS-impactor
 研究代表者
 和田 匡司 （Masashi Wada）
 石川工業高等専門学校・環境都市工学科・助教
 研究者番号：00413766

研究成果の概要（和文）：固定発生源からの PM_{2.5} の排出実態・健康影響を把握する必要性が今後益々強まると予測されている。現在、ISO/TC146 では固定発生源からの PM_{2.5} 排出特性の評価法について議論がなされ、エアロゾル分級法の確立が重要な課題となっている。本研究では候補に挙がっているエアロゾル分級法には測定可能ダスト濃度に原理的な限界や制約があり、高いダスト濃度での測定も考えられる固定発生源では問題があることを実証し、1 台で低濃度から高濃度まで測定可能な装置（VIS-impactor）を開発した。

固定発生源からの微小粒子（PM_{2.5}）排出挙動測定用エアロゾル分級装置の開発

研究成果の概要（英文）：

In order to develop the standard method for in-stack mass concentration measurement of PM₁₀ (particles of 10 micrometers or less) and PM_{2.5} emitted from stationary sources, a two stage virtual impaction surface (VIS) impactor for in-stack measurement was developed. Its separation performance was examined and compared with that of a cascade impactor by using a model aerosol gas stream in the variety of dust concentration.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
21 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境影響評価・環境政策

キーワード：大気環境、PM_{2.5}、固定発生源

1. 研究開始当初の背景

固定発生源からの PM_{2.5} の排出実態・健康影響を把握する必要性が今後益々強まると予測されている。現在、ISO/TC146 では固定発生源からの PM_{2.5} 排出特性の評価法について議論がなされ、エアロゾル分級法の確立が重要な課題となっている。候補に挙がっているエアロゾル分級法には測定可能ダスト濃度に原理的な限界や制約があり、高いダスト濃度での測定も考えられる固定発生源では問題があるため、最適な測定法

の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では固定発生源からの PM_{2.5} 質量濃度を、低濃度から高濃度まで広範囲条件下で測定可能な装置を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

固定発生源の PM_{2.5} 測定用エアロゾル分級装置を製作することを目的に、パーティクルインパクターを設計・試作し、性能試験を行う。試験内容は段階的に現実の条件に

近づけていき、それぞれの試験から得られる結果をフィードバックしながら装置を改良していく。最終的には実稼動プラントで測定を行い、固定発生源での測定が可能な装置を製作する。

4. 研究成果

(1) 試験装置

VIS-impactor

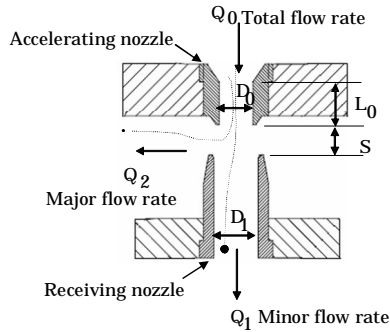


Fig.1 Schematic diagram of enlarged impaction part of VIS impactor

固定発生源煙道内測定用に Fig.1 に示すマルチノズル型マルチステージパーチャルインパクト(VIS impactor と命名)を試作した。本装置は Szymanski らによる大気環境用の 3 段式で、カットオフ径(空気動力学径)が 10, 2.5, 1.0 μm の仕様を、固定発生源煙道中で $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ を分級捕集できるように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 μm 以上の粗大粒子を、2 段目が $\text{PM}_{2.5}$ 分級部で 2.5 ~ 10 μm 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。以下、捕集部については、1 段目を $\text{PM}_{>10}$ 捕集ステージ、2 段目を $\text{PM}_{10-2.5}$ 捕集ステージ、3 段目を $\text{PM}_{2.5}$ 捕集ステージと呼ぶことにする。分級部は同軸上に配置された加速ノズルと捕集ノズルで構成されている (Fig.1)。加速ノズル通過流量の約 1 割を捕集ノズルで吸引する形式にすることで、含じん気流は捕集ノズル手前で方向を変えて次段へと流れ、カットオフ径以上の粒子は主流を外れて捕集ノズルを通りフィルタで捕集される。

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。主要設計パラメータを Table 1 に示す。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 μm 、10 μm と

なるように U 、 D_0 が決定されている。環境大気吸引時には、1 段目の吸引管で PM_{10} 分級部の 2 次流である 1.0 l/min を吸引し、 $\text{PM}_{2.5}$ 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ている。

このパーチャルインパクトを煙道で使用する際には、同一カットオフ径を得るために温度、圧力やガス組成を考慮し、ストークス数をそろえた分級操作が必要である。また、煙道排ガス中の粉じんをサンプリングするには等速吸引をする必要がある。パーチャルインパクト法では設計のカットオフ径となる所定の吸引流量のまま等速吸引に近い条件を実現する必要があるため、入り口ノズルを取替え可能とし、適切な口径の入り口ノズルを選択して用いることとした。なお、現 ISO 案ではノズル部のガス流速が煙道内の流速の 90 ~ 130 % までを許容範囲としている。この点については、カスケードインパクトやサイクロンも同様である。

Fig.2 に今回製作した VIS impactor の写真を



Fig.2 Picture of VIS impactor for $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ sampling in stack of stationary sources

示す。VIS impactor には支持部で回転できる構造の固定用器具を取り付け、比較的容易に煙道内への挿入、設置 (排ガス流れと平行に) を容易にした。写真は上部を 90° 回転させた状態である。また、高温・腐食性雰囲気での使用を前提として素材をステンレスとした。

比較試験には、ISO で審議されている市販のカスケードインパクト (Paul Gothe Bochum 製の GMU - Cascade impactor Johnas) およびサイクロン (Thermo Electron Co 製の SCC $\text{PM}_{2.5}$ inlet) を用いた。

(2) 試験方法・条件

分級試験には Fig.3 に示す模擬煙道型粉じん発生装置で発生させたモデル粉じんを用いた。モデル粉じんは、JIS Z 8901 試験用粉体 1 の 10 種 (フライアッシュ、中位径 5.2 μm 、幾何標準偏差 1.2、粒子密度 2.0 ~ 2.3 g/cm^3)

をスクリーフィーダーにより供給し、分散用ブラシおよび圧縮空気により分散させて煙道内に発生させた。発生粉じんの粒子径分布（以下、特に断らない限り、粒子径は空気動力学径を意味することとする）を Fig.4 に示す。測定にはアンダーセンスタックサンプラ（東京ダイレック（株）製：AS-500 型）を用いた。中位径は約 6.0 μm で $\text{PM}_{2.5}$ が質量基準で約 10 % 含まれていた。

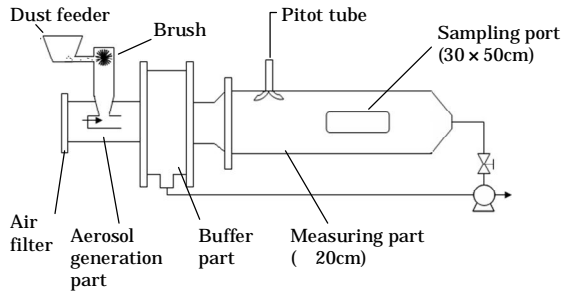


Fig.3 Schematic of laboratory scale dust ducting type dust generation system

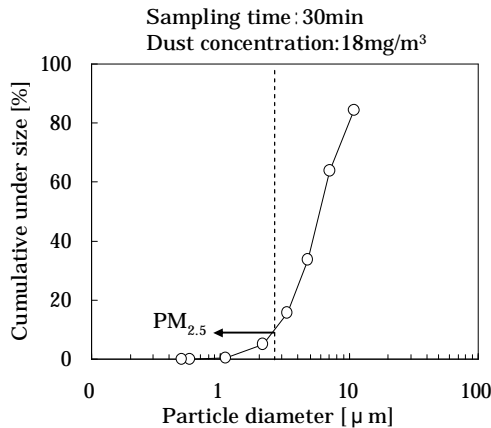


Fig.4 Particle size distribution of model dust measured by 8-stage Andersen's Stack Sampler (mass base distribution)

分級試験では、前述の固定用器具を用い、分級捕集装置を測定窓 (30 × 50 cm) から挿入、煙道の中心に固定して行った。なお、等速吸引で粉じんを吸引するための入り口ノズル径は、煙道内流速、圧力、温度、水分量を予め測定し、VIS impactor、カスケードインパクト、サイクロンで、それぞれ 4.6 mm、6.0 mm、4.0 mm とした。粉じん濃度はスクリーフィーダーの回転数で調節した。雰囲気条件は 23 ± 2 、R.H. 50 ± 5 % で行い、煙道内の流速は 16.5 m/s とし、ピトー管により常時監視した。試験条件は、サンプリング時間 30 min、粒子濃度 18 mg/m³ を基準に、それぞれ、1 ~ 60 min、4 ~ 25 mg/m³ の範囲で変化させた。

(3) $\text{PM}_{2.5}$ 分級性能の評価

VIS impactor の分級性能を測定し、カスケードインパクト、サイクロンと比較するために、各分級装置について試験後の捕集粒子 ($\text{PM}_{10-2.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$) の観察を行った。観察には電子顕微鏡 (株) エリオニクス製 FE-SEM : ERA8800FE) を用いた。撮影した SEM 画像から

200 個以上の粒子の体積球相当径を画像解析で求め、粒子径 (空気動力学径) に換算し、ロジン・ラムラー分布で近似し、粒度分布曲線とした。なお、カスケードインパクトでは捕集粒子が主に堆積しているノズル近傍部について観察を行い捕集粒子の代表径とした。さらに、Eq. (2) で示される部分分離効率曲線を $\text{PM}_{2.5}$ 分級ステージについて算出し、分級性能の評価に用いた。

$$\eta(d_p) = 1 - \frac{q_f(d_p)}{q_0(d_p)} \quad (2)$$

ここで、 d_p は粒子径、 q_f は分級された微粒子の捕集率による重みをつけた質量基準頻度分布、 q_0 は供給粉じんの質量基準頻度分布である。なお、 q_0 には、VIS impactor、カスケードインパクトでは粗粒子と微粒子の重みをつけた質量基準頻度分布の和を用い、サイクロンでは $\text{PM}_{2.5}$ のみの捕集であるので、Fig.4 の発生粉じんの粒度分布測定結果をロジン・ラムラー分布により近似した値を用いて算出した質量基準頻度分布を用いた。得られた部分分離効率曲線より、50% 分離粒子径 d_{p50} と Eq. (3) で示される分級の鋭さを求め、分級性能の評価に用いた。

$$\chi = \frac{d_{p25}}{d_{p75}} \quad (3)$$

ここで、 d_{p75} 、 d_{p25} はそれぞれ部分分離効率 75 %、25 % の粒子径である。なお、一般に = 1 (理想)、0.7 (非常によい)、= 0.7 ~ 0.5 (よい)、0.5 (悪い) とされている。

(4) 結果

$\text{PM}_{2.5}$ 分級性能

Table 1 SEM images of particles collected on $\text{PM}_{10-2.5}$ and $\text{PM}_{2.5}$ collection stage

VIS impactor	Cascade impactor	Cyclone
$\text{PM}_{2.5}$ collection stage (3 rd stage)		
		 2.5 μm Sampling time: 30min Dust concentration: 18mg/m ³
$\text{PM}_{10-2.5}$ collection stage (2 nd stage)		

分級試験後の捕集粒子 ($\text{PM}_{10-2.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$) の SEM 画像 (3000 倍) の一例を Table 1 に示す。なお、サイクロンについては分級後の微粒子側しか捕集できないので $\text{PM}_{2.5}$ の画像のみを示した。VIS impactor では、 $\text{PM}_{10-2.5}$ 捕集ステージの捕集粒子の大部分が 2.5 μm より大きく、 $\text{PM}_{2.5}$ 捕集ステージの捕集粒子には 2.5 μm 以上の粒子はほとんど観察されなかった。カスケードインパクトについては $\text{PM}_{10-2.5}$ 捕集ス

ページの捕集粒子の大部分が 2.5 μm より大きかったものの、PM_{2.5} 捕集ステージの捕集粒子に 2.5 μm 以上の粒子が数多く観察された。これらの粗粒子は、跳ね返りや再飛散により混入したものと考えられる。サイクロンでは、PM_{2.5} 捕集粒子がほぼ 2.5 μm より小さく、2.5 μm 以上の粒子はほとんど観察されなかった。サンプリング時間 30 min、粉じん濃度 18 mg/m³ 試験後の捕集粒子の画像解析より求めた粒子径の質量基準頻度分布を Fig.5 に示す。なお、それぞれの頻度分布は、捕集率の重みをつけたものである。VIS impactor では、微粒子の頻度分布のピークが約 2.0 μm であり、粗粒子の頻度分布と交差する点が約 2.5 μm であった。サイクロンでは微粒子の頻度分布のピークが VIS impactor と同様に約 2.0 μm であったが、4 μm 以上の頻度はほとんど表れず、粗粒子の分級が良好であった。一方、

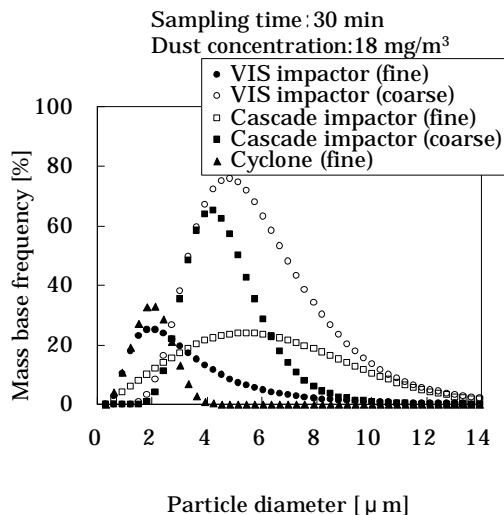


Fig.5 Mass base frequency distributions of particles collected by VIS impactor, cascade impactor and cyclone

カスケードインパクトでは微粒子の頻度分布のピークが約 5 μm と非常に大きかった。これらの質量基準頻度分布から部分分離効率を算出した結果を Fig.6 に示す。また、 d_{p50} を求めた結果、VIS impactor では $d_{p50} = 2.6$ μm 、 $\eta = 0.64$ (分級性能：よい)、カスケードインパクトでは $d_{p50} = 2.7$ μm 、 $\eta = 0.54$ (よい)、サイクロンでは $d_{p50} = 2.4$ μm 、 $\eta = 0.72$ (非常によい)であった。また、参考のため、ISO7708 に規定される肺胞到達性粒子(High risk グループ)の通過率を示す。

微粒子側の分離効率は、3種類の分級捕集装置ともほぼ同等であった。VIS impactor の部分分離効率曲線はサイクロンのものに比べて粗粒子側の効率で 10~20%程度低いが、ISO7708 の肺胞到達性粒子(High risk グループ)の通過率に近い分布をとっていた。サイクロンの分級の鋭さは高く、今回の試験濃度範囲では良好な分級性能が得られていた。一方、カスケードインパクトでは分級の鋭さは

低く、粒子径が 3 μm 以上の範囲で分級効率が 75 %を下回る結果となった。これは、前述の SEM で観察された粗粒子によるもので、捕集板での跳ね返りや再飛散に起因するものと考えられる。ただし、分級効率が 25%低下することによる PM_{2.5} 測定濃度の誤差は、流入粉じんに含まれる 2.5 μm 以上の粒子の割合が多ければ多いほど膨大な値に達する。今回のように 2.5 μm 以上の粒子が 90%の粉じんの場合、本来 10%であるべき PM_{2.5} の質量分率が、 $10 + 90 \times 0.25 = 32.5\%$ と、PM_{2.5} 濃度が 3 倍以上の値となって測定されてしまうことが懸念される。

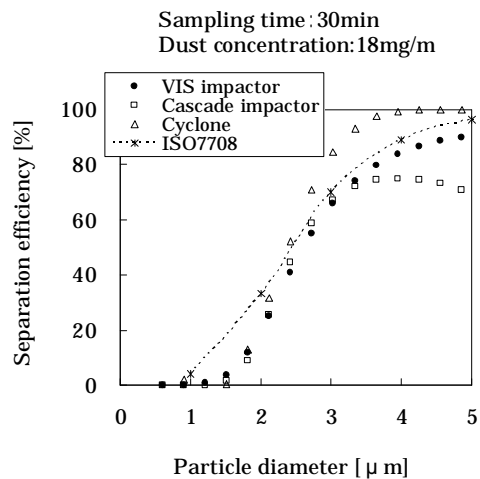


Fig.6 Separation efficiency of PM_{2.5} separation part (VIS impactor: $d_{p50} = 2.6$ μm , $\eta = 0.64$ Cascade impactor: $d_{p50} = 2.7$ μm , $\eta = 0.54$ Cyclone: $d_{p50} = 2.4$ μm , $\eta = 0.72$)

分級性能の粉じん濃度およびサンプリング時間依存性

分級性能の粉じん濃度およびサンプリング時間依存性について比較検討のために、サン

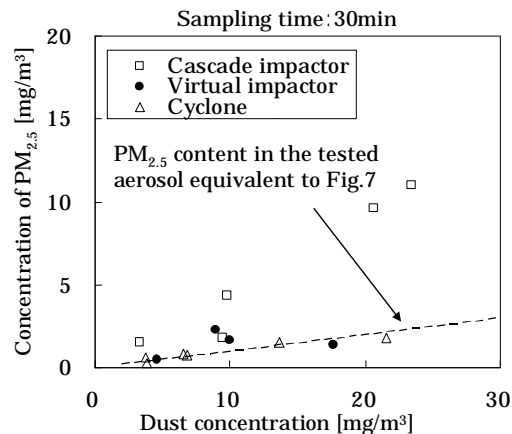


Fig.7 Relationship between dust concentration and PM_{2.5} concentrations measured by VIS impactor, cascade impactor and cyclone

プリング時間 30 min で粉じん濃度を変化させた場合の PM_{2.5} 濃度の測定結果を Fig.7 に、粉じん濃度 18 mg/m³ でサンプリング時間を変化させた場合の結果を Fig.8 にそれぞれ示す。なお、粉じん濃度は Fig.7 では分級試験で測

定された総捕集量（サイクロンの場合は、粗粒子量を前述のように推定）から求めた値、Fig.8 では粉じん濃度を変化させていないので、予め円筒ろ紙で捕集した粉じん量より求めた値とした。なお、両粉じん濃度の差は、サンプリング時間 30 min、円筒ろ紙で求めた粉じん濃度 18 mg/m³ の場合で、10%程度であった。なお、図中の破線は Fig.4 で得られている PM_{2.5} の含有率が粉じん濃度によらず一定と仮定して計算した PM_{2.5} 濃度に相当する値（ここでは推定値と呼ぶ）である。

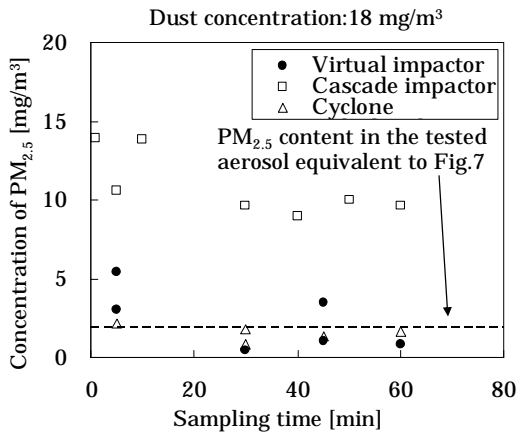


Fig. 8 Relationship between sampling time and PM_{2.5} concentrations measured by VIS impactor, cascade impactor and cyclone

VIS impactor では試験範囲内で粉じん濃度、サンプリング時間によらず、実測 PM_{2.5} 濃度が推定値とほぼ一致している。サイクロンについても同様であった。サイクロンでは、粗粒子の捕集量を実測できなかったが、良好な分級ができていたことより、本試験条件の範囲では、微粒子搬送ガスへの粗粒子のまき込みによる精度悪化はおこらず、許容捕集量を超過していなかったと予想される。一方、カスケードインパクトでは、全ての粉じん濃度、サンプリング時間で PM_{2.5} 濃度が推定値よりも高い値を示した。捕集量が多いのが原因で再飛散等が起こっているためではないかと考えられる。そこで、Fig.9 にカスケードインパクトでの PM_{10-2.5} 捕集ステージの捕集量の経時変化を VIS impactor の結果とともに示す。なお、図中の破線は Fig.4 の結果から求めたそれぞれの捕集量の推定値である。VIS impactor ではサンプリング時間に拘らず捕集量が推定値とよく一致している。カスケードインパクトではサンプリング時間が短いと推定値と一致したが、長くなるにつれ推定値よりも小さくなった。この推定値直線と捕集量との差は、PM_{2.5} 捕集ステージへ流入した粗粒子によるものと考えられる。直線から逸脱し始める時間がおおむね 10 分であり、それに対応する捕集量 5 mg 以上になると再飛散による影響が顕著にあらわれている。この値は、メーカーが推奨した PM_{10-2.5} 捕集ステー

ジの捕集限度量である 3 mg と同程度である。この結果から、カスケードインパクト法では捕集量が多くなると再飛散が顕著になり、分級操作を終えた気流にカットオフ径よりも大きい粒子が混入するため、PM₁₀/PM_{2.5} の質量濃度を過大評価する恐れがあり、測定が捕集限界量の小さい狭い範囲に限られる。カスケードインパクトの 1~5 min の測定で、PM_{10-2.5} 捕集ステージの捕集量が妥当な値であるにも拘わらず、PM_{2.5} 濃度が過大になってしまった原因を考えるために、カスケードインパクトで測定した粉じん濃度を求めると、1 分：34.8 mg/m³、5 分：25.4 mg/m³、10 分：29.7 mg/m³ と円筒ろ紙による測定値の 18 mg/m³ から 40% 以上大きくなっていった。このことは、短時間測定では、操作上、十分な精度を得ることが難しいことを示している。

カスケードインパクトで捕集限度量を増加させる方法として、捕集板にグリースなどの粘着剤を塗布し捕捉性を増加させることで再飛散等の対策をとることができる。しかし、煙道中は大気環境より高温で反応性のガスを含む場合が多く、グリースの揮発や分解、反応等による質量変化が生じる恐れがあるため、やはり、正確な PM₁₀/PM_{2.5} の質量濃度計測が困難と考えられる。

一方、バーチャルインパクト法では分級後の粗粒子は捕集ノズルから吸引されるため、粒子の跳ね返りや再飛散が起こらない。したがって、捕集量によらず分級性能は安定しており、PM_{2.5} 濃度を過大評価することはない。VIS impactor はグリース等を使用する必要が無く固定発生源の煙道内における測定に適する可能性が高い。

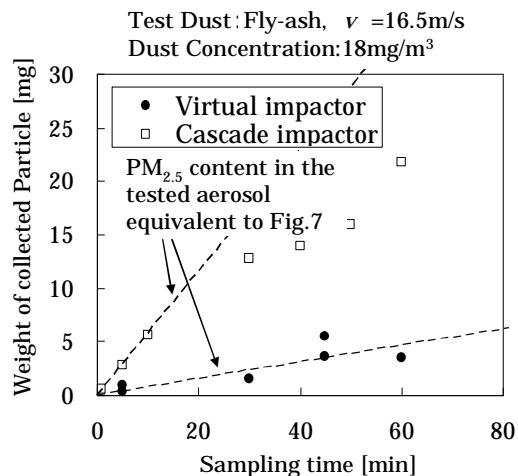


Fig.9 Relationship between sampling time and particle weight collected on PM_{10-2.5} collection stage of VIS impactor and cascade impactor

なお、本論文では常温常圧下の空気を媒体とした粉じんについての性能試験に限られたため、実際の排ガスに比べ温度、ガス組成、特に水分量が大きく異なる。これらの影響に

については今後、実燃焼を伴う模擬排ガスや実排ガスで検討していく必要がある。

(5) 結論

本研究では、バーチャルインパクト法の煙道排ガス中の $PM_{10}/PM_{2.5}$ 質量濃度計測手法としての適用性について検討・実証するため、VIS impactor を製作し、実験室煙道でモデル粉じんを用いた分級性能試験を行い、カスケードインパクト、サイクロンとの比較を行うことによりその分級特性を評価し、以下の結論を得た。

1) VIS impactor の部分分離効率曲線は IS07708 に規定される肺胞到達性粒子 (High risk グループ) の通過率に近い分布を示した。また、50% 分離粒子径や分級の鋭さを検討した結果、良好な分級性能を有することが確認された。

2) VIS impactor では、本研究で行った試験範囲では粉じん濃度 ($1 \sim 25 \text{ mg/m}^3$)、サンプリング時間 ($5 \sim 60 \text{ min}$) に関わらず、サイクロンと同等に安定した分級性能が得られた。

3) カスケードインパクト法では、捕集板に高温測定に対応できるフィルタを用いたが、再飛散等により $PM_{2.5}$ を過大評価してしまった。また、捕集限度量を超えない条件でもサンプリング時間が短いと、十分な精度で測定するのは困難だった。捕集板にグリースなどを塗布すると再飛散等防止の効果が見込まれるが、煙道用にはグリースの高温での安定性を確保する必要がある。

以上より、VIS impactor では $PM_{2.5}$ 捕集ステージへの粗粒子の混入はみられず、捕集量に関係なく安定した分級性能が得られ、グリースなどを用いなくても再飛散が起きない構造であるため、高温・反応性雰囲気での $PM_{2.5}/PM_{10}$ 排出挙動評価法に有効な分級捕集法として期待できるものと考えられる。

平成 20 年度は、煙道中での $PM_{2.5}/PM_{10}$ 直接分離捕集 (in stack) 用マルチノズルバーチャルインパクトを設計試作し、他手法との比較により有用性の検討をした。その結果、カスケードインパクト法では、捕集板にグリースなどを塗布し捕捉性を増加させないと再飛散等により $PM_{2.5}$ を過大評価する可能性が示唆され、高温・反応性の雰囲気での測定となる固定発生源では適用に限界があることを明らかにした。一方、バーチャルインパクト法ではグリースなどを用いなくても粒子の再飛散を抑制できる構造であるので、適した $PM_{2.5}/PM_{10}$ の分級捕集法であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

和田匡司, 塚田まゆみ, 近藤光, 小暮信之, W. Lenggoro, W.W. Szymanski, 内藤牧男, 金岡千嘉男, 神谷秀博: “固定発生源煙道内 $PM_{10}/PM_{2.5}$ 質量濃度測定用 multi-stage

VIS-impactor の分級特性”, 粉体工学会誌, 46, 467-475 (2009)

〔学会発表〕(計 6 件)

- 1) M. Wada, N. Mao, M. Takayanagi, A. Soga, C. Kanaoka: “Test method of durability of filter media for dust collection under simulated running gas conditions”, The 16th Asian Symposium on Ecotechnology, p., Dairen, China, Oct. 22-23 (2009)
- 2) M. Wada, M. Tsukada, W. Lenggoro, W.W. Szymanski, C. Kanaoka, H. Kamiya: “Multistage virtual impactor for in-stack sampling of $PM_{10}/PM_{2.5}$ from flue gas of stationary sources”, The Fourth Asian Particle Technology Symposium, APT2009, p.727-734, New Delhi, India, Sep. 14-16 (2009)
- 3) 和田匡司, 塚田まゆみ, 近藤光, 小暮信之, W. Lenggoro, W.W. Szymanski, 内藤牧男, 金岡千嘉男, 神谷秀博: “固定発生源煙道内 $PM_{10}/PM_{2.5}$ 質量濃度測定用 multi-stage VIS-impactor の分級特性”, 第 44 回粉体に関する技術討論会, p.90-98, 東京, Jne.17, 2009
- 4) 和田匡司, 杉山喜見人, 金岡千嘉男, W.W. Szymanski, 塚田まゆみ, 神谷秀博: “二段バーチャルインパクト及びカスケードインパクトによる固定発生源排ガス中の $PM_{10}/PM_{2.5}$ 質量濃度測定”, 第 14 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム, 129-132, 大阪, Dec, 2008
- 5) M. Wada, K. Sugiyama, C. Kanaoka, A. Kondo, M. Naito, W.W. Szymanski, N. Kogure, M. Tsukada, W. Lenggoro, H. Kamiya: “ $PM_{10}/PM_{2.5}$ mass concentration measurement in flue gas of stationary sources by means of multi-stage VIS-impactor”, The 15th Asian Symposium on Ecotechnology, p.107, Kanazawa, Japan, Oct. 18-19 (2008)
- 6) 和田匡司, 近藤光, 塚田まゆみ, 小暮信之, W. Lenggoro, W.W. Szymanski, 内藤牧男, 金岡千嘉男, 神谷秀博: “固定発生源からの $PM_{10}/PM_{2.5}$ 排出挙動測定用 in-stack 型バーチャルインパクト”, 第 49 回大気環境学会年会, 192, 金沢, Sep, 2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 匡司 (Masashi Wada)

石川工業高等専門学校・環境都市工学科・助教

研究者番号: 00413766