煙道用 $PM_{2.5}$ 濃度測定装置「バーチャルインパクタ VI-PM2.5」

東　充延（ひがし・みつのぶ）
ホソカワミクロン㈱
企画管理本部 企画統括部 経営企画課

は　じ　め　に

$PM_{2.5}$（微小粒子状物質）とは，大気中に浮遊する粒子のうち大きさが 2.5 マイクロメートル以下の小さな粒子であり，昭和 48 年に環境基準が定められ，対策が進められてきた 10 マイクロメートル以下の浮遊粒子状物質（SPM）よりもさらに小さな粒子状物質を指す。この粒子状物質は，髪の毛の 1/30 程度と非常に小さいため，肺の奥深くまで入りやすいとされ，ぜんそくや気管支炎などの呼吸器系への影響に加え，循環器系への影響や肺がんの危険性を高めると懸念されている。この物質は，単一の化学物質ではなく，炭素，硝酸塩，硫酸塩，金属を主な成分とするさまざまな物質の混合物であり，発生源としては，自動車の排ガス，火力発電に用いる石炭，各種工事，産業排ガスなどが主なものと考えられている。

中国での $PM_{2.5}$ の濃度上昇や大気汚染の実態報道が日本への越境汚染の危惧を招いているが，発生源は国内にも多く存在する。発生源からの排出実態や成分などの本格的な分析はこれからだが，さまざまな発生源からの排出量（濃度）の高精度な測定法は，この問題の解決に欠かせない要素技術といえる。

本稿では，当社が産学共同で開発した煙道用 $PM_{2.5}$ 濃度測定装置「バーチャルインパクタ VI-PM2.5」について紹介する。

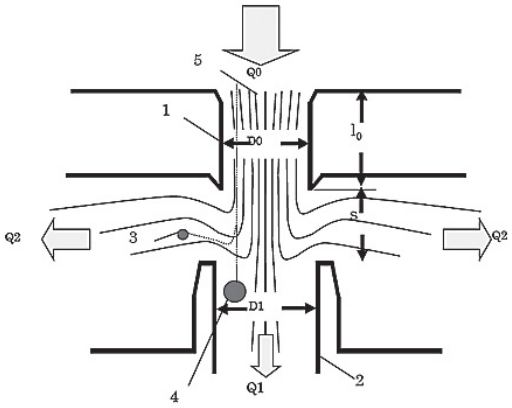
1．製品開発の背景

本装置は，$PM_{2.5}$ の主要な固定発生源と考えられる工場などの煙道中での $PM_{2.5}$ 濃度測定法として，2012 年 6 月に国際標準規格 ISO13271 に定められた要求性能に準拠して製作されている。2006 年に WHO（世界保健機構）でもガイドラインが策定された $PM_{2.5}$ の煙道中での濃度測定法としては，ドイツが中心となって提案するカスケードインパクタ法が先に ISO23210 として国際規格化されていた。しかし，大気環境に比べて粒子濃度が高い煙道中では，バーチャルインパクタ法の方が，機構上，精度の高い計測が可能なため，日本が中心となって 7 年間にもおよぶ討議・交渉を経て，当手法が新たに ISO（国際標準化機構）で規格化されることになったのである。

2．装置の概要

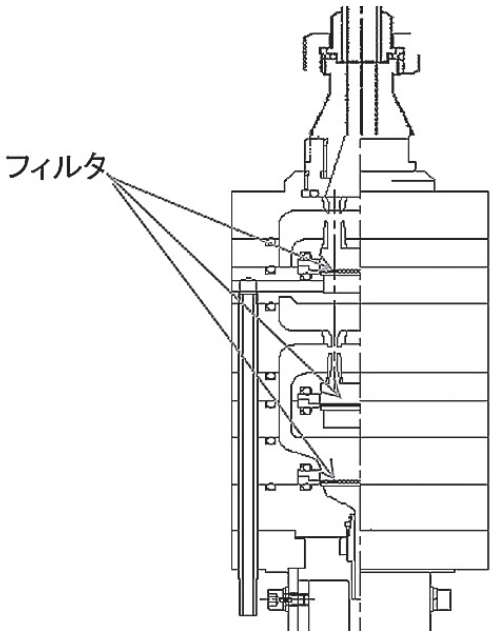
本装置は，粒子の慣性力と遠心力を利用した慣性分級方式であるバーチャルインパクタ法を用い，基本理論と計算機シミュレーション，実験の裏付けに基づいて設計されたノズル径と流速によって $PM_{2.5}$ を国際規格（ISO7708）で規定した性能で分級する計測用サンプラーである。また，その構造は，ウィーン大学シマンスキー教授らが大気環境用に作製した 3 段式バーチャルインパクタを基本とし，固定発生源の煙道中で PM_{10} や $PM_{2.5}$ を分級・捕集できるようマルチノズル型マルチステージバーチャルインパクタへと改造を加えたものとなっている。

段階の粒子捕集構造を有し，上部から順に 1 段目が PM_{10} 分級部で 10 μm 以上の粗大粒子，2 段目が $PM_{2.5}$ 分級部で 2.5～10 μm の粒子（$PM_{10\text{-}2.5}$）を分級・捕集する。そして，3 段目には $PM_{2.5}$ 捕集部があり，目的とする $PM_{2.5}$ をフィルタで捕集する。また，分級部は，加速ノズルと捕集ノズルを同軸上に配した構成で，加速ノズル通過流量の



1 粒子加速ノズル
2 粒子捕集ノズル
3 主流内微粒子の軌跡
4 副流内粗粒子の軌跡
5 ガス流線
D0 粒子加速ノズル直径
D1 粒子捕集ノズル直径
l_0 粒子加速ノズル長さ
s 粒子加速ノズルの出口と捕集ノズルの入口の距離
Q0 全流量
Q1 副流流量
Q2 主流流量

第 1 図　バーチャルインパクタ概念図



第 2 図　VI-PM2.5 構造図

約 1 割を捕集ノズルで吸引する形式にすることで，含塵気流は捕集ノズル手前で方向を変えて次段へと流れ，設定したカットオフ径以上の粒子は

写真 1　VI-PM2.5 一次試作機（外観）

写真 2　VI-PM2.5 改良機（外観）

写真 3　VI-PM2.5 改良機（部品外観）

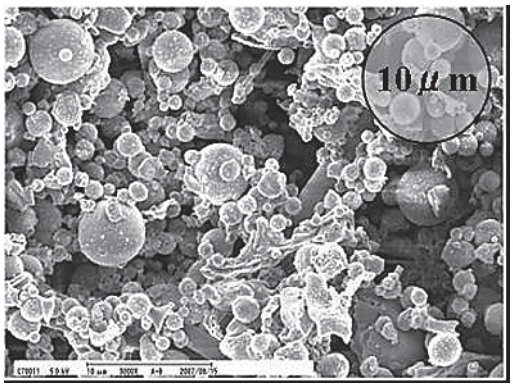
主流を外れて直進し，捕集ノズルを通ってフィルタで捕集される。そして，その $PM_{2.5}$ 粒子を捕集したフィルタ重量を測定することで，$PM_{2.5}$ 濃度を測定する。

3．特　　長

大気環境測定器のように捕集粒子のβ線吸収量から計算して濃度を測定するものとは異なり，微粒子発生源での濃度測定の標準化を目的とし，煙道での直接測定に耐える仕様となっている。そのため，排ガス濃度や温度が高く，大流量測定が必要とされる微粒子発生源（製鉄炉や火力発電炉など）の煙道中など厳しい条件下での測定が可能である。

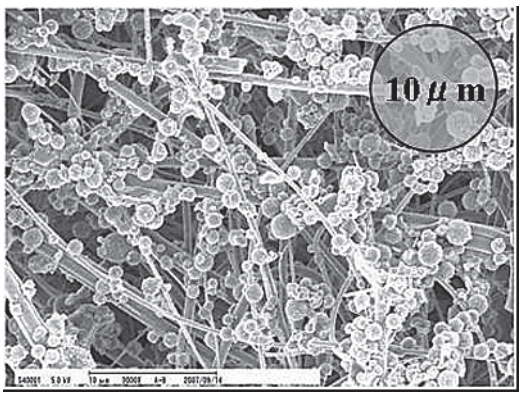
また，バーチャルインパクタ法では，捕集板を使わず吸引ノズルで粗粒子を吸引する形式のため，カスケードインパクタ法で問題となる捕集板上での粒子の跳ね返りや再飛散が生じないため，捕集量にかかわらず分級性能は安定しており，PM2.5 濃度を過大評価することがない。また，捕集板にグリースなどの粘着剤を用いないため，大気中よりも高温で反応性ガスを含む場合が多い煙道中などでのグリースの揮発や分解，反応などによる質量変化が生じない。そのため，高温や高粉塵濃度での正確な測定に適している。さらにサイクロン法との比較においても，捕集量が多い場合の微粒子搬送気流への粗粒子の巻き込みや分級された粗粒子の壁面付着などの問題を回避できるため，特に高濃度測定では優位性が高い。

このように，厳しい条件下で正確な $PM_{2.5}$ 濃度の測定を可能とする当測定装置は，$PM_{2.5}$ 対策として企業に過剰な設備投資を強いることなく，それぞれの施設に適切な能力を有する抑制設備の設置に効果を発揮する。そればかりか，正確な現状認識を可能にする測定装置の提供は，今後ますます強化が予想される環境規制をクリアする投資を適切な範囲に抑えることで，企業の環境問題への取り組みを支援することにもつながる。



2.5 μm 以上の粒子の混入が見られる。

写真 4　カスケードインパクタによる $PM_{2.5}$ 捕集



粗大粒子の混入はなく，大きさがそろった円球状物質がフィルタ繊維で捕集されている。

写真 5　バーチャルインパクタによる $PM_{2.5}$ 捕集

4．適　用　例

バーチャルインパクタ法を用いた当装置の国際的な規格面での適用例としては，2012 年 6 月の ISO13271 規格化に続いて，2013 年には英国規格協会（BSI）が ISO13271 と整合をとった英国規格（BS）として BS/ISO に当規格を採用しており，バーチャルインパクタ法の優位性は国際的に立証されつつある。さらに，同国際規格は日本でも 2013 年 8 月に JIS（日本工業規格）化された。

5．ま　と　め

$PM_{2.5}$ は，都心部での大気汚染が深刻な中国からの飛来懸念で急速に注目が高まったが，発生源となりうる各種施設からの排出実態の調査は，日本のみならず世界各国でもこれから開始される段階にあり，特にアジア圏での関心度は高まる傾向にある。このような時期にあって，$PM_{2.5}$ の発生濃度が高く，影響力の大きい固定発生源施設での正確な実態把握のために求められる測定装置の果たす役割は大きい。しかし，ただ発生源での実態

を把握するだけでは問題の解決にはならない。該当施設での実態を明らかにすることで，関係者の問題意識を高め，排出抑制対策へと導く契機としていくことが肝心である。この意識向上のために高い精度を持つ測定装置がきっかけとなることを期待する。

今後，$PM_{2.5}$ による大気汚染の問題がさらに深刻化していけば，業界団体や地方自治体，政府・省庁などによる $PM_{2.5}$ 排出の自主規制や法規制が行われることも考えられる。また，社会や住民の環境意識のさらなる高まりが，この動きを加速することにもなろう。世界的に環境意識が高まる傾向に疑いの余地はない。当汚染問題には，新興国での急速な工業化の進展や人々の生活様式による文化的側面，そして汚染物質捕集装置の不完全使用などの人為的側面に起因する部分があると考えられるが，少なくとも人為的要因の解消は至急実行されなければならない。そのためには，起点となる実態把握の役割を担う高精度測定装置が果たす役割は大きい。

参 考 文 献

1）和田匡司ら：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，Vol.46，No.6，2009，467－475.

2）小暮信之：発生源 $PM_{2.5}$ の測定技術，産業総合技術総合研究所，環境管理技術研究部門研究成果発表会資料（2011 年 7 月 14 日）.

3）東京ダイレック，VI－PM2.5 カタログ .

■トピックス ■

日本エコシステム

千葉県に「ニコハウス」テナント初出店

日本エコシステムは「アリオ市原」（千葉県市原市）に 2013 年 11 月 28 日，住宅用太陽光発電システムの情報ステーション「ニコハウス」をオープンした。千葉県ではニコハウスのテナント初出店となる。

日本エコシステムは主に全国の大型ショッピングセンターに住宅用太陽光発電システムを取り扱う販売店を出店し，2010 年 1 月オープンのイオンモール直方（福岡県）を皮切りに，北は北海道札幌市から南は宮崎県宮崎市に出店しており，販売店は全国 19 都道府県にある。新店舗「ニコハウス アリオ市原店」は 2013 年 11 月 28 日にグランドオープンした「アリオ市原」内に出店した。アリオ市原はアリオ最大の敷地面積（約 12 万 3,200m^2）を有し，JR 五井駅東口から約 1km 離れた「市原市五井駅前土地区画整理事業地」内に位置する。

ニコハウスは太陽電池パネルの実物展示のほか，自宅へ導入した際の発電シミュレーションなどができ，さらに震災以降に関心の高まるリチウムイオン蓄電池も紹介していく。

JFE エンジニアリング

岡山県倉敷市でメガソーラーの稼働開始

JFE エンジニアリングはこのほど，岡山県倉敷市に自ら発電事業を行なう大規模太陽光発電所（メガソーラー）「鶴の浦ソーラーパワー」を完成し，2013 年 10 月 2 日に竣工式を行なった。

同メガソーラーは同社 100%出資の特定目的会社，JFE ソーラーパワー倉敷が，JFE スチールが同地区に保有する旧社宅跡地に設置したもの。発電所の設備容量は 7MW であり，年間発電量は 650 万 kWh を想定している。

このメガソーラーは JFE スチールの西日本製鉄所内で数多くの電気工事を手がけている JFE 電制が請負い，JFE グループの技術を結集して建設されたもの。架台には JFE スチールグループでメガソーラー向けに新たに開発した超軽量鋼製架台システム「JFE ソーラーアレイ」を採用している。この架台は風洞実験など各種検討によって極限までの軽量化をすすめたほか，素材に JFE 鋼鈑の高耐食性溶融めっき鋼鈑「エコガル」を使用して長期耐久性を確保するとともに，基礎には鉄鋼スラグ水和物固化体「フェロフォーム」を使用している。