

大気中における浮遊ナノ粒子の粒度分布計測装置

菅原敏博*

Toshihiro Sugawara

1. はじめに

近年、ディーゼルエンジン排出ガスクリーン化技術の進歩に伴い、質量濃度 (mg / m^3) の大部分を占める粗大粒子は減少してきている反面、質量が小さく個数濃度 ($\text{個} / \text{m}^3$) が高いナノサイズの浮遊粒子状物質 (SPM: Suspended Particulate Matter) は増加傾向にあると言われている。SPMの増加と健康影響の相関については内外で研究が進んでおり、呼吸器への沈着や肺胞壁を通過して血液循環による全身への影響まで危惧されているという¹⁾。大気環境の保全を考える上でSPMに代表される浮遊ナノ微粒子の地域や時間帯における浮遊状態把握の必要性は今後高まると予想される。本報ではフィールドにおいてナノ微粒子の粒度分布が計測できる装置であるELPI (Electrical

Low Pressure Impactor: 電子式低圧インパクト) の計測原理と同装置による粒度分布計測例を紹介する。

2. ELPIの概要

表1にELPIの仕様を示す。図1にELPIの構成および計測原理を示す。ELPIは本体に収納されているインパクト、コロナチャージャー、エレクトロメーター、外付けのエアポンプ、制御・計測用PCで構成されている。運転・停止、運転パラメータ設定、データ表示・集録等は専用ソフトを組み込んだPCで行うことができる。また、連続的かつリアルタイムに粒径と粒子個数を把握でき、運搬と設置が容易にできるので室内、フィールドを問わず計測できる特長がある。

表1 ELPI仕様 (DEKATI社製)

分級特性	0.007 ~ 9.97 μm	捕集板径	25 ϕmm
ステージ数	12 段	インパクト寸法	65 $\phi\text{mm} \times 300\text{mm}$
吸引流量	10 L / min	全体寸法 (本体)	H540 \times W400 \times D230
吸引圧力	100mbar	全体重量 (本体)	25kg
データ検出時間	5 秒	チャージャー	コロナ放電で粒子を荷電
インパクト耐熱	最大 200 $^{\circ}\text{C}$	インパクト材質	ステンレス
周囲温度	0 - 40 $^{\circ}\text{C}$	絶縁体材質	テフロン
周囲湿度	0 - 60% R.H	吸引ポンプ	16 m^3 / h

* 計測事業部 試験エンジニアリング部 次長

空気と共に吸引された微粒子は、コロナチャージャーで荷電された後に12段のインパクターに入り、各段のノズル内流速に応じ慣性質量が大きい粒子順に各ステージに衝突し捕集される。また各ステージ入り口のノズル口径（ノズル流速）はステージ毎に変えて、後段になるほど流速を大きくして小さい粒子を捕捉できるように設計されている。

このステージに捕集された粒子の粒径を空気動力学的粒径と言ひ、レーザー回折散乱法^{*1}や動的散乱法^{*2}とは異なり、粒子の慣性を利用した分級方式に依っている。ステージに衝突した荷電粒子は電荷量をエレクトロメーターにより測定

され、粒子個数が求められる。

なお本報で紹介する ELPI は最小レンジが7nm（通常は34nm）の extension range になっており、より微細領域まで計測が可能である。

- * 1：粒子にレーザー光が当たったときの光の回折と散乱の強度パターンが粒子径に依存することを利用した測定法。粒子形状に係わらず球体として捉える。
- * 2：溶媒中の分散している粒子は溶媒分子と衝突して激しく運動（ブラウン運動）する。この運動速度が粒子径に依存することを利用している。粒子にレーザー光を当て、球形換算の粒子サイズに応じた周

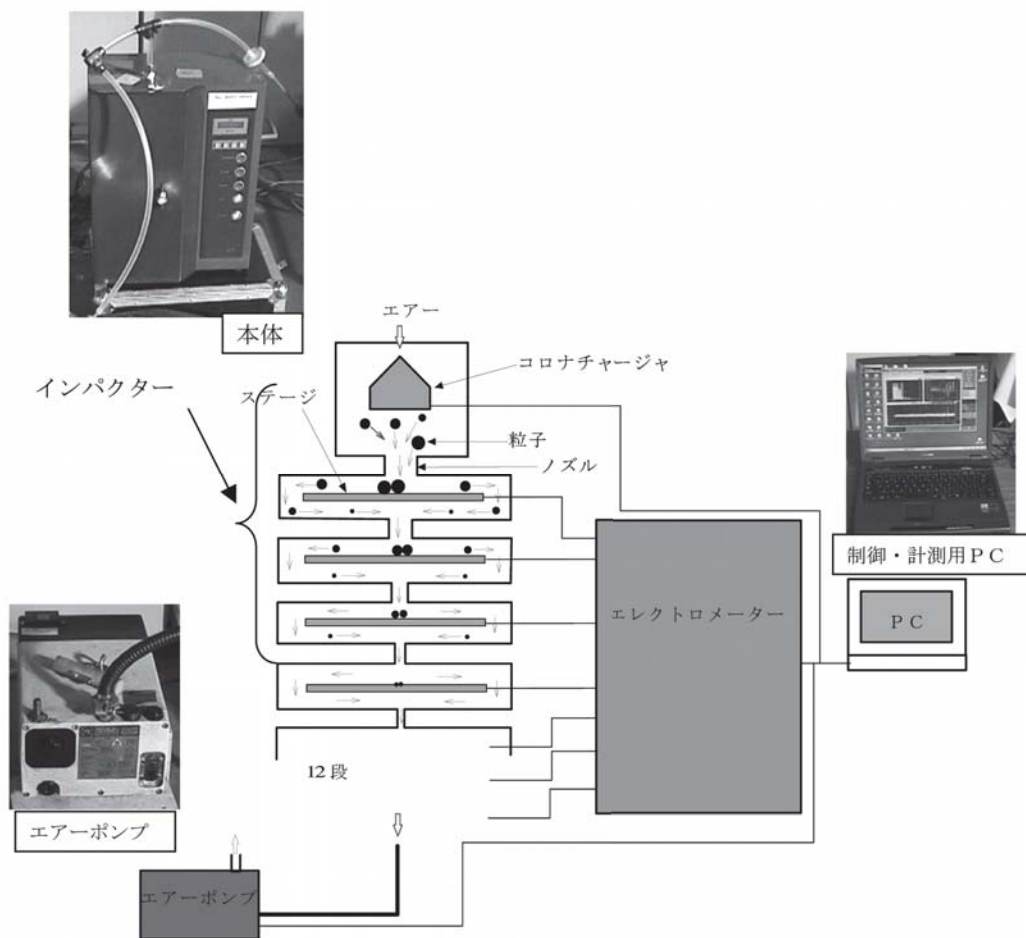


図1 ELPIの構成と計測原理

波数ドップラーシフトを捉えるため粒子形状に左右される。

3. ELPIによる粒度分布計測例

粒径範囲が既知のナノ粒子（カーボンナノチューブ）および文献等で大凡の粒径範囲が示されているディーゼルエンジン排ガス中の粒子状物質（PM：Particulate Matter）に対してELPIで計測し計測精度を検証した。

3.1 カーボンナノチューブの粒度分布計測

カーボンナノチューブ（以下CNT）はその名の通りごく微小な物質であり、そのサイズは粒径として表され、通常、チューブの外形を指すが、長さが外径の何十倍、何百倍と正に長いチューブ形状をしている。また、チューブ長は0.1～10 μ mの範囲でばらばらの長さをもっており、このチューブをレーザー光による動的光散乱法で計測すると、長径の大きい長細い粒子と判断されるため、チューブ外径で言うところの粒径とは乖離した計測結果となる。

ELPIでは、物体の慣性の大きさを表す慣性質量の差異によりインパクターで分級捕集されるため、チューブ外径の大きさが2乗倍で質量に寄与

すると考えられるCNTでは、ほぼチューブ外径に等しい計測結果が得られると考えられる。

写真1にELPIによるCNTの粒度分布計測状況を示す。CNTを無菌パック内に微量添加し密封した後無菌パック内にフィルターを介してエアを充填する。無菌パック内のCNTをエアと共にELPI本体に吸引し粒度分布を計測する。

図2にカーボンナノチューブ（公称チューブ外径10～30nmおよび20～50nm）の粒度分布計測結果を示す。比較のために動的光散乱法による計測結果を併載した。

一般に粉体はある範囲の粒径を持つ粒子が混在しており、CNTの場合も公称値として範囲で示されている。ELPIでは12段のインパクターで7～10,000nmの広いレンジをカバーするため、ナノ領域の一範囲については図に示すように粒度範囲の中のモード（最頻値）として表現されることになる。計測の結果、CNTの公称粒径範囲の中にモードが現れ、また1回目と2回目の計測結果において両者とも公称値範囲にモードが現れるという再現性も確認できた。なお動的散乱法による計測では1桁大きい粒子径にモードが現れ、公称値から大きく外れた結果となっている。理由は上述した通りである。

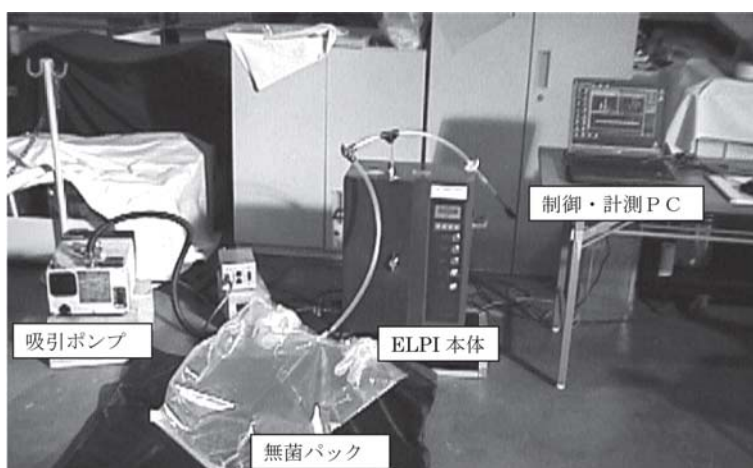


写真1 ELPIによるカーボンナノチューブの粒度分布計測

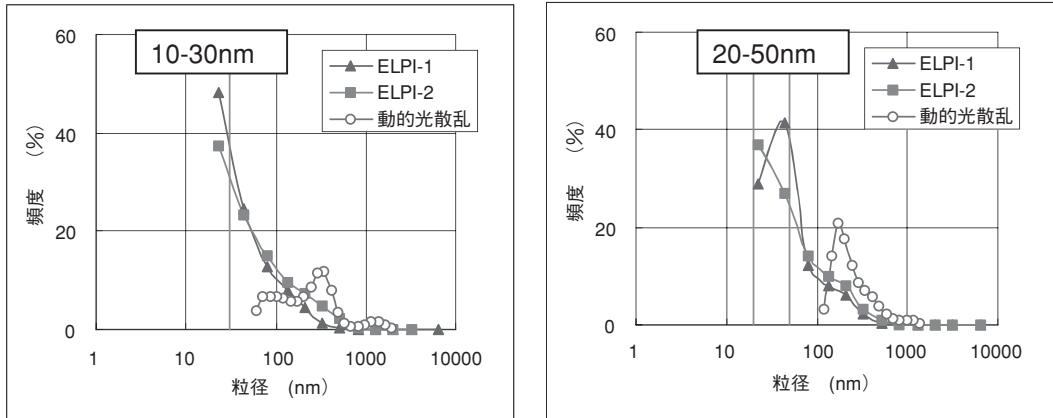


図2 カーボンナノチューブの粒度分布計測結果

3.2 ディーゼルエンジン排ガス中の粒度分布計測

ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べて排ガス中のCO₂が少ない代わりにNO_x、黒煙、粒子状物質（PM：Particulate Matter）が多量に発生するとされている。

実際のディーゼルエンジン車の排ガスを無菌パック内に吸引サンプリングし、ELPIで計測し粒度分布を確認した。

PMは、ディーゼルエンジン車（写真2）をパーキング状態でエンジンをアイドリング（600回転）および2000回転の2条件で運転し、排気管近傍においてエアポンプで排ガスを吸引し無菌パッ

クに導入してサンプリングした。図3にサンプリングした排ガスをELPIで計測した結果を示す。アイドリング運転時において85nm前後にモードがあり、エンジン出力を上げた2000回転運転時では45nm前後にモードが現れている。このモードの出現はディーゼルエンジン排ガス中のPMの粒度分布として他の研究報告²⁾でも確認できるところであり、本計測方法の信頼性を裏付けている。

4. おわりに

高性能のディーゼルエンジン等の開発によりディーゼルエンジン車が増加傾向にあり、それに



写真2 ディーゼルエンジン車

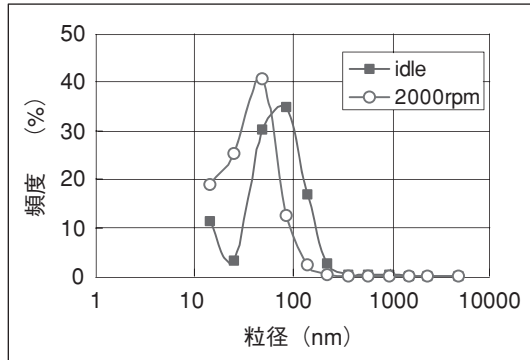


図3 ディーゼルエンジン排ガス中の粒度分布計測結果

伴って浮遊粒子状物質（SPM）も増加傾向にあるとされている³⁾。技術の進歩によって高付加価値、高品質の製品が開発される一方で、これまで経験しなかったナノサイズ大気汚染物質の浮遊による健康被害が懸念され、その浮遊状況を監視することが重要になって来ると考えられる。ELPIによるナノ粒子粒度分布計測技術はこのような時代の要請に答えられる機動性と正確さを備えた有用な計測方法の一つであると考え。今後はナノ粒子の種類や計測環境が精度に及ぼす影響等について更に研鑽を積んでいきたい。

参考文献

- 1) 古山 昭子：「ナノ粒子の沈着、体内動態」(2005), (株) エヌ・ティー・エス.
- 2) 久保 修一：「自動車排出ナノ粒子の性状と生成メカニズム」(2005), (株) エヌ・ティー・エス.
- 3) 押尾 茂他：「ディーゼル排ガスの生態系および脳神経への影響」(2005), (株) エヌ・ティー・エス.



計測事業部
 試験エンジニアリング部
 次長
菅原 敏博
 TEL. 045-759-2281
 FAX. 045-751-0357