



大量の情報を含んだ大容量のファイルが作成されるのは、高速応答型マルチチャンネル微粒子粒度分布計の特性です。本アプリケーションノートは、CambustionのDMS500とDMS50に搭載された新しいソフトウェアについて述べています。これらの機器は粒度分布の原理的特長を述べたいくつかのパラメータや、自動的にデータの処理を行います。本ソフトは；

- エアロゾルモードに識別
- 粒度分布の分解能を改善
- 粒度分布ノイズを削減
- 粒子のマス計算精度を高める
- データ容量を小さくして見やすくし、顕著な情報が簡単に取り出せてガス分析計や既存テストセル設備との統合に費やす労力を軽減

エアロゾルの粒度分布は特定のモード（ピーク）から成り、それぞれのエアロゾルは異なった物理的プロセスで生成されます。例えば、ディーゼルエンジンエミッションの粒度分布は、サルフェートや炭化水素、および粒径の小さな水を含んだ「核生成」と呼ばれるモードと、煤を含む粒径の大きな「凝集」モードから成っています。

ログノーマル的に分離されたエアロゾルモードは、ソフトウェアで3つのパラメータに近似されます：粒子数モードでは、平均粒径と分布の幅（幾何学的標準偏差、GSD）となります。これらのパラメータは例えばマス変換等、ダイレクトなウェイティングが可能になります。新開発のソフトウェア^{1,2}はExcelのユーティリティを用いたDMSデータの後処理や、ユーザインターフェースによるリアルタイムのパラメータ作成が可能となり、既存のテスト設備からあらゆる必要なパラメータやウェイティングを、収録用として本機のアナログアウトプットに伝えます。

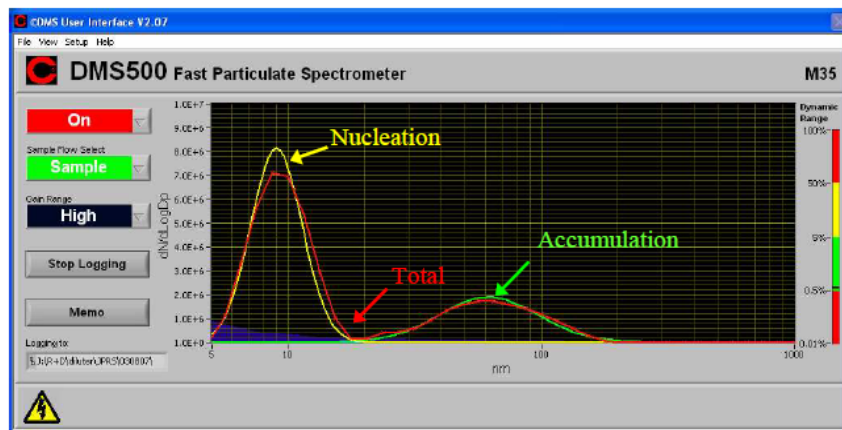


Fig. 1 : モード検出を備えたDMS500のユーザインターフェース V2.07

本ソフトウェアは、特別に編集された高度なベイズ統計学のアルゴリズムを用いています。このアルゴリズムは本機のノイズベースを考慮し、このノイズレベルより上側が真のモードに回帰するだけのものです。リアルタイムで使用すると本機は、機器自身のノイズベースを測定するため、機器ノイズの一時的な変化（周囲の劣悪な振動やクリーニング周期の怠り）は自動的に因数に分解されます。マス評価を行うアプリケーションでは、このような一時的なノイズは、ウェイティングを行うことにより粒径の大きなところにおける粒度分布ノイズが、マスを過大評価してしまう原因にならないということを意味します。これらのモードは、機器毎のキャリブレーションとエアロゾルのタイプで明記された *Aerosol Description* のファイルに基づき、粒径と粒度分布幅の情報にしたがってエアロゾルの種類に分類されます。モードとモードの間でシャープな粒径のカットオフがなく、実際のエアロゾルがモードで部分的にオーバーラップしている

ところを検出して個別に扱うため、このモード分級の手順はある意味で優れています。これはモードを識別するために使用される天然のままのサイズ切り捨て法より、はるかに正確な粒子数と粒子マスをもたらすこととなります。

† リアルタイムでの作動には高性能のPCが必要になります。最新のDMSに付属するPCでは問題ありません。

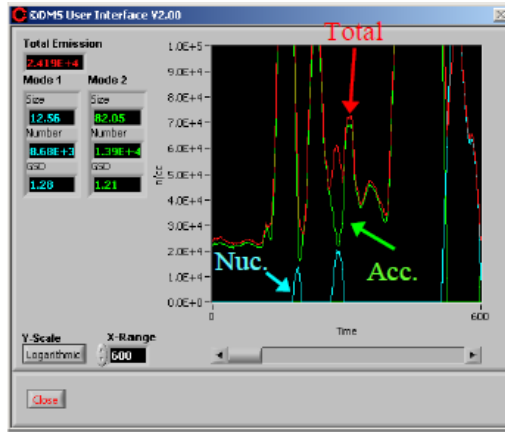


Fig 2 : トータル粒子数濃度のウィンドウを表示するDMS500のユーザインターフェースv2.00

核生成モード粒子と凝集モード粒子の分離は、核生成モード粒子の粒子数濃度を無視することができるようになるため、ハードウェアである揮発性粒子の除去器³ (VPR) を設けることなく、法令化されたPMPとコンパクトな粒子数測定が可能になることです。また、それぞれのモードを別々にキャリブレーションすることが可能になるため、球状のエアロゾルと荷電がやや異なる粒子塊より正確なサイズ決めができます。

更に自動車関連のアプリケーションでは、一般的なMatrixファイルを使うことであらゆるエアロゾルのログノーマルのパラメータライゼーションが可能となります。Fig.3 には、ポリエチレンラテックス球 (PSL) を用いたキャリブレーションエアロゾルの粒度分布を示します。このエアロゾルは、PSL球の水溶性懸濁液をネブライジングして乾燥させ、電気的に中和して作ります。ついて回る付加的なピークは、水を取り除くときの不純物と界面活性剤で形成されます。バイモーダルログノーマルフィットを行ってから、DMSのデータファイルより取り出したデータの一部をFig.4 に示します。

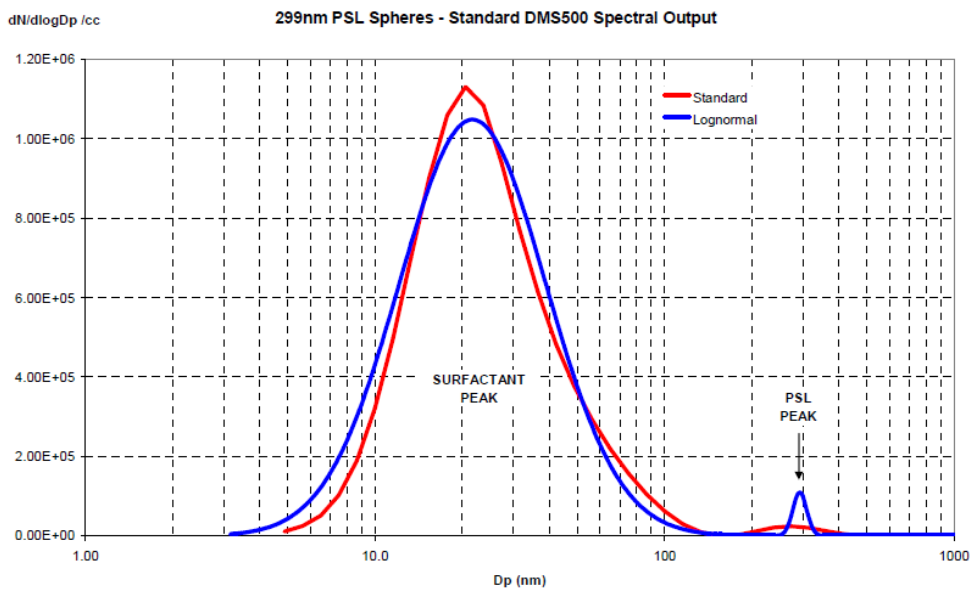


Fig. 3 : DMS500で測定した299nmのPSL球，界面活性剤の大きなピークを含んでいる

Mode #03	6.88E-01	1.60E+01	3.00E+00	1.00E+02	C:\Cambustion\WIZ5\Bimodal_25_1.dmx				
Mode Ratio	Sample Flow	Mode 1 Conc	Mode 1 CMD	Mode 1 GSD	Mode 2 Conc	Mode 2 CMD	Mode 2 GSD	4.87	5.62
1.00	7.94	6.68E+05	21.52	1.788	4.10E+03	290.75	1.071	9.88E+03	2.72E+04
1.00	7.94	6.68E+05	21.61	1.785	5.00E+03	292.14	1.061	1.02E+04	2.96E+04
1.00	7.94	6.68E+05	21.65	1.785	6.87E+03	293.60	1.050	1.05E+04	3.20E+04
1.00	7.94	6.69E+05	21.66	1.785	9.39E+03	294.18	1.044	1.08E+04	3.44E+04
1.00	7.94	6.71E+05	21.66	1.786	7.03E+03	294.06	1.102	1.12E+04	3.68E+04
1.00	7.94	6.72E+05	21.67	1.785	7.90E+03	294.35	1.146	1.08E+04	3.82E+04
1.00	7.94	6.62E+05	21.69	1.787	5.09E+03	291.77	1.055	1.29E+04	3.60E+04
1.00	7.94	6.55E+05	21.75	1.783	4.82E+03	292.00	1.050	0.00E+00	1.43E+04
1.00	7.94	6.59E+05	21.75	1.793	4.77E+03	294.32	1.057	4.78E+03	2.16E+04
1.00	7.94	6.59E+05	21.75	1.793	4.77E+03	294.32	1.057	4.78E+03	2.16E+04

Fig. 4 : 299nmのPSLに対しバイモーダルなログノーマルパラメータを示しているDMSのデータファイル

注目に値するに主要な2つのポイントを述べます. その1つ目は, 界面活性剤の分布はPSLに較べてやや歪み, ほぼ2桁高い濃度を示しているにも拘わらず, ソフトウェアがこれらのピークを正しく識別していることです. 2つ目は, PSLのピークの幅がGSDで約1.5と, 非常に狭い特性を正しく識別していることです. これは現在市販されているあらゆるリアルタイム型微粒子粒度分布計で行っている従来のデータ処理アルゴリズムに較べ, 極めて高い粒度分布の分解能を有していることとなります. このように粒度分解能の高いものは通常, SMPSのように応答性の遅いスキャン型の粒度分布計に限られています. この新しいアルゴリズムは, 通常データ処理用アルゴリズムとしてバイパスすることや, 機器の出力から強制的にログノーマル特性を見つけ出すよう働かせることも可能です.

ログノーマルフィットを行うソフトウェアのもう一つの効果は, 機器のノイズベースが小さくなるため感度を高められることです. Fig. 5 にこの効果を示します. この図では, 粒子数濃度に関する感度が約2倍改善されていることを示しています.

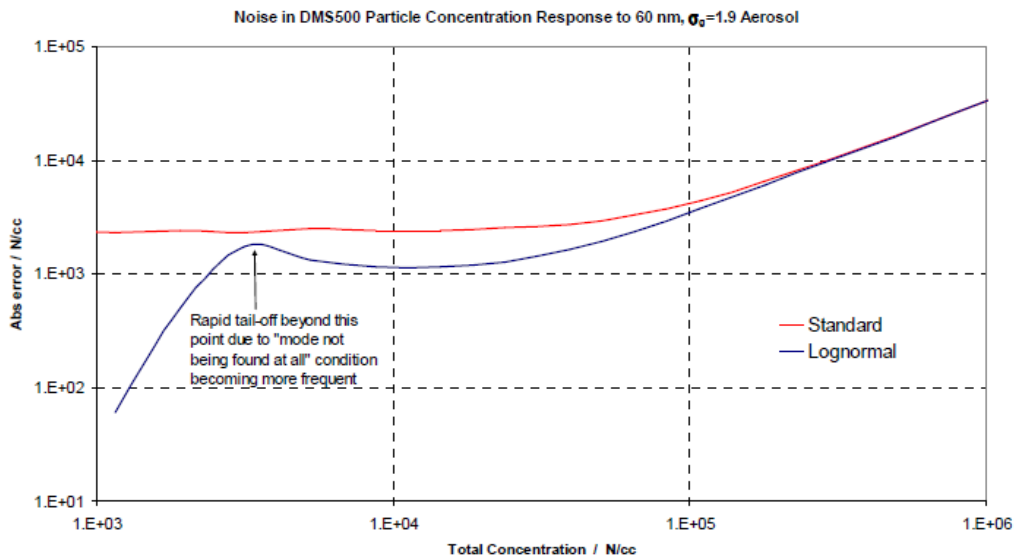


Fig. 5 : 機器本来のノイズベースを加え, DMSのデータ処理アルゴリズムを実行した平均濃度測定から得られた標準偏差

本アプリケーションノートでは, このソフトウェアを自動車用ディーゼルエミッションへ適用するという事で限定しています. 特に, EuroステージIIIのディーゼル車を対象としています. 加熱サンプルラインとプライマリ(空気)大リューション, およびセカンダリ(回転円板)ダイリューションを備えたDMS500は, DPF上流側のフィードガスをダイレクトサンプルする際に使用します. 以下に示すプロットは, NEDCドライブサイクル全体の排出粒子を示したもので, 初めに粒度分布情報の全体を, その後で各核生成と凝集モードの粒子数を個別に表示させます.

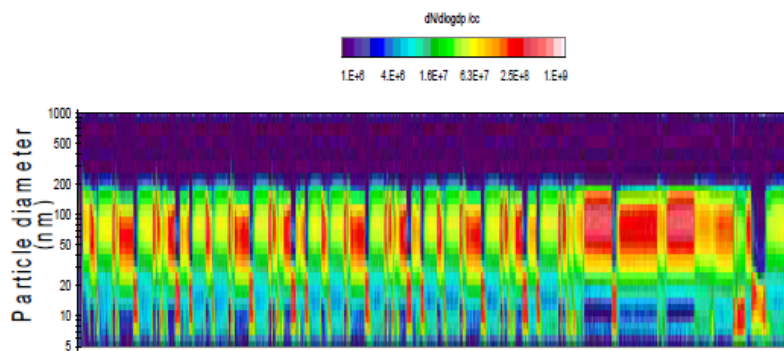


Fig. 6 : NEDCサイクル全体のカラーコンタープロット

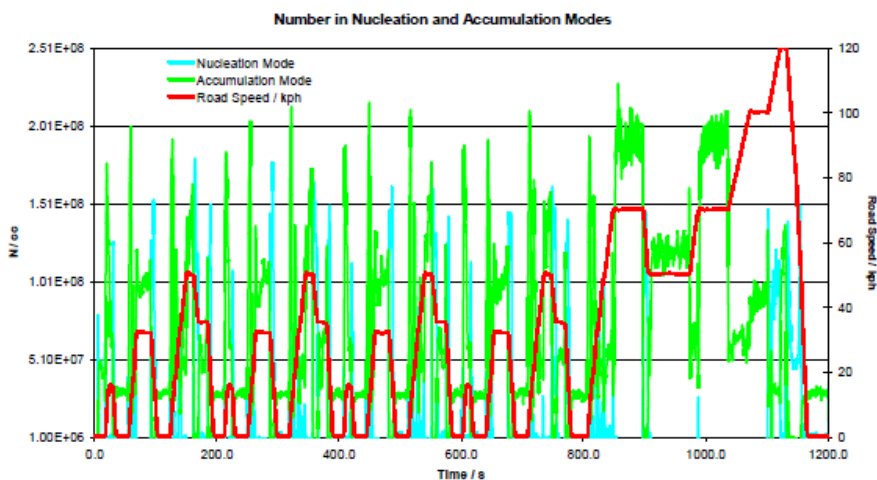


Fig. 7 : N核生成, および凝集モード粒子数

Fig. 6に示した複雑な情報を, Fig. 7に示した2つのパラメータを有する情報に絞り込みます。次に, ドライブサイクルのエクストラアーバンフェーズ部分をズームしてみます。

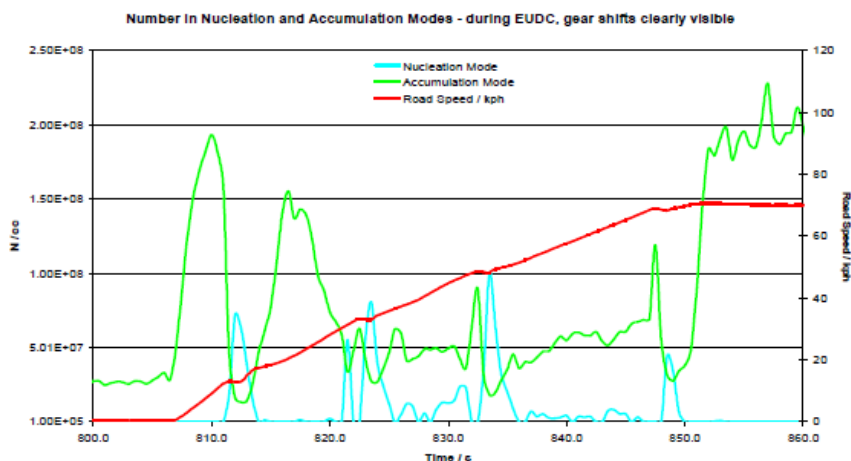


Fig. 8 : エクストラアーバンフェーズ部分

このプロットでは変速のタイミングがはっきりと識別できます；スロットルがリリースされると凝集モード粒子（煤）が減り, 核生成モード粒子が後押ししています。Fig. 9 には, 各モードの平均粒径を示します：

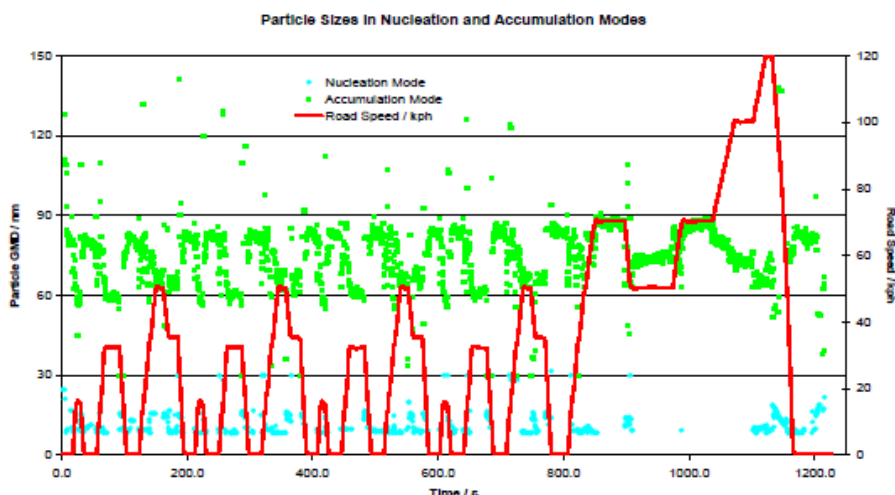


Fig. 9 : NEDCサイクル全体の平均モード粒子粒径

関心がない部分の各モードの情報は無視できるため、この場合には、核生成モードを無視してソフトウェア的な「VPR：揮発性粒子の除去器」として機能します。次のプロットは、凝集モードのパラメータ（詳細についてはDMS01のアプリケーションノート参照）でウェイトイングされた、DPFに流入するリアルタイムのマス粒子を示したものです：

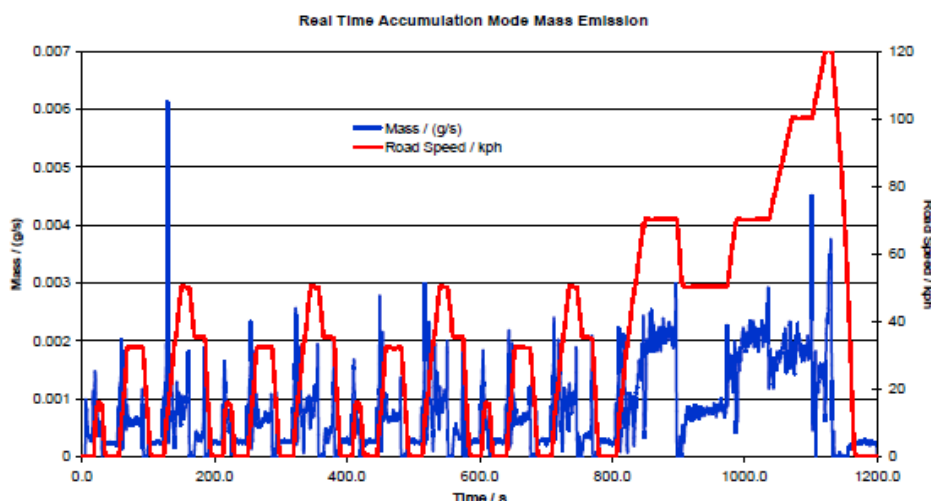


Fig. 10 : NEDCサイクル全体のマス粒子予想

最後に、DPFが再生⁴を行う4番目のイベントで、テールパイプ（DPFの下流）のエミッションを調べてみます。ECUがコントロールを行っている状況下での燃焼状態は、DPFに溜まった粒子を加熱するよう、ある時間間隔でトラップ粒子を焼き切るよう調整を行います。Cambustion社製の高速応答型ガスアナライザ2種類（HC測定用のHFR500とNO計測のCLD500）は、フィードガスの分析用やDMS500の補器として使用されます。1種類だけの粒子モード（核生成）が観られます。

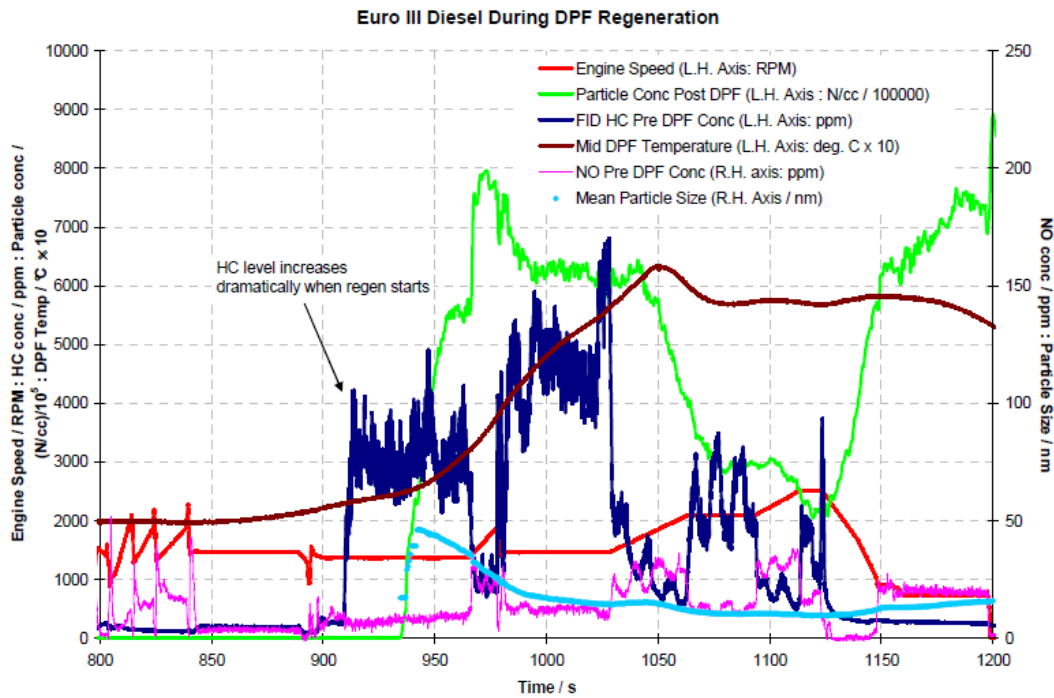


Fig. 11 : NEDCサイクル走行中のDPF再生

エンジンは次のNEDCサイクルでDPFの再生を試みましたが、この部分では粒子がないため、Fig.11に見受けられる核生成物質は、エンジンそのものというよりエキゾーストや後処理システムから発生しているといえます。

モード検出を行う新しいバージョンのソフトウェアは、DMS500のデータから簡単且つ有意義な情報を取り出し、傾向の視覚的な解析ができるということを説明してきました。

1 *Correlation of Particle Mass Measurements with Electrical Mobility Classified Spectra*. K. Reavell, J. Symonds, *9th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles*, Zurich **2005**
 2 *Diesel soot mass calculation in real-time with a differential mobility spectrometer*, J.P.R. Symonds, K. St.J. Reavell, J.S. Olfert, B.W. Campbell, S.J. Swift, *Journal of Aerosol Science*, **38** 52–68 **2007**
 3 *Calibration of Fast Electrical Mobility Spectrometers for Engine Particulate Measurement*, K. St.J. Reavell and J.P.R. Symonds, *11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles*, Zurich **2007**
 4 *Transient gas and particulate emissions measurements on a Peugeot 406 HDI diesel vehicle including a DPF regeneration event*. B. Campbell, M. Peckham, J. Symonds, J. Parkinson, A. Finch, *Society of Automotive Engineers Technical Paper* 2006-01-1079 **2006**