



#### 概要

エンジンから排出される粒子の測定を行う測定器を比較するには、サンプリング方法やダイリュージョンを考慮することがいちばん重要となります。この重要事項には次のことが含まれます：

- ・ダイリュージョンの必要性
- ・圧力変動の許容範囲
- ・水蒸気の凝縮
- ・粒子の凝集
- ・電気泳動，熱泳動，拡散および衝突による粒子損失
- ・粒子の発生



Cambustion の DMS500 は、研究開発用としてエンジン始動時からの粒子測定を目的として提供します。たとえ DPF の上流側だとしても、余分なアクセサリ類の取り付けや高価な CVS を必要とすることなく、ダイレクトにエンジンのエキゾーストへ DMS500 を接続することができます。本 DMS500 はディーゼル，ガソリン，並びにガスタービンを対象とした CPC<sup>2</sup> や，固体粒子数をカウントする PMP システム<sup>3,4</sup>，粒子マス測定テクニック<sup>5,6</sup> および DMA<sup>2</sup> のような粒径標準器と良い一致が得られるようデザインされ<sup>1</sup>，キャリブレーションされています。

本アプリケーションノートの残り部分は，以下に示す内容で構成されています：

サンプリングの問題点，DMS ができる解決策	1 ページ
開梱から DMS500 によるエンジン粒子測定まで	3 ページ
DMS500 によるエンジン粒子測定の性能に関する要点	3 ページ
DMS500 サンプリングシステムの詳細	4 ページ
参考資料	4 ページ

#### A. DMS500 で解決できるサンプリングの問題

##### 1. ダイリュージョンの必要性

エンジンのエアロゾル測定に対する多くの問題点は，サンプルのダイリュージョン（希釈）が必要<sup>7,8</sup> になることです。ダイリュージョンの詳細については，以下の 3, 4 項をご参照下さい。これに加えて多くのエアロゾル測定器では，ダイリュージョン無しで DPF 上流側の高濃度エアロゾルに耐えることはできません。CVS のダイリュージョントンネルは一般に，殆どのエアロゾル測定器が許容する粒子濃度まで十分に下げることができません。そのため通常は，付加的なダイリュージョンシステムの購入と使用が必然的なものとなります。

テールパイプから排出される車両のエミッションは，周囲の空気ですぐに希釈されます；したがって研究開発用に要求されるエアロゾルはリアルワールドを代表するものとなり，ダイリュージョンすることが優位となります。

解決策：DMS500 は内蔵された 2 ステージのダイリュージョンを備えています。ユーザインターフェースのダイリュージョンファクタを設定すると，設定したダイリュージョンで自動的にデータ補正されます。ダイナミックインジケータは，どの程度のダイリュージョンを使用するかを指針をユーザに知らせます。ダイリュージョンはユーザインターフェース，またはリモートのアナログ信号を介して

設定することができます。ダイリューションシステムから戻ってくる連続的なフィードバック信号は、サンプル圧力が変化するとサンプル流量に影響するため、ダイリューションレシオ（希釈比）が自動的に補正されるということを意味しています。入念にダイリューションを用いると、クリーニングの周期を大幅に減らすことができます。

CVS トンネルが使えるところでは、セカンダリダイリュータで更に十分なダイリューションを行うことができます。CVS のダイリューショントンネルからサンプリングを行う際の、導電性シリコンチューブも供給できます。

## 2. 圧力変動の許容範囲：DPF 上流側のサンプリング

過渡的な圧力変動は、多くのエアロゾル測定器やサンプリングシステムで問題を引き起こすことがあります。このような場合には、DPF を取り外してダイレクト測定を行うときの背圧を減らすか、またはエンジンの性能に影響を及ぼす CVS トンネルを使用します。したがって DPF を装備した車両のエンジンアウトエミッションを、多くのエアロゾル測定器具類を使ってもオンラインで最適化するのには難しく不可能です。

解決策：DMS のチャージャと分級器（カラム）は、サンプルが臨界オリフィスを通る際に一定の圧力となります。したがって荷電と分級に対する圧力変動影響の補正は必要ありません。トランジェント的な圧力変動で補正を行うことは難しいと思われます。圧力変動で引き起こされるサンプル流量の変化は計測され、ダイリュータの動作と分級システムの両方に関してダイナミック的に補正されます。ダイレクトサンプリングシステムは、エンジンにかかる背圧影響を失うことなく CVS が使える有利性を意味しています。この強力な組合せは、DMS500 が DPF 前の粒子評価用として最初の選択肢にすることができ、また DPF の最適化をします。

## 3. 感度の高い測定器内における水蒸気の凝縮

多くの装置は水の進入に敏感です；特に水が進入すると、マスフローメータやエレクトロメータの性能に影響します。ガソリンエンジンのエキゾーストガスは露点が 55 °C です（理論混合比運転の場合）。  
解決策：DMS500 は水の分圧を下げるため、サンプリング点で圧縮空気を使ったダイリューションを行います。更にサンプリングヘッドとラインの圧力を 250mbar に制御し、これを助長します。加えてサンプルラインを 150°C に加熱しているため、サンプルエアロゾルは露点以上の温度になります。

## 4. 粒子の凝集

濃度の高いエアロゾルの流れは、煤粒子の凝集を助長することがあります。したがって、粒子のサイズと粒子数が変わる<sup>9</sup>こととなります。

解決策：サンプリング点でダイリューション（ファクタ 5）を行うと濃度が低くなり、凝集の可能性が下がります。サンプルラインの圧力を低くしておくと粒子間の平均自由軌道が小さくなり、また長さ 5m のサンプルライン内部の通過時間は凝集が起こる 100ms 以内なので、この可能性は更に少なくなります。サンプルエアロゾルが装置のメインボディに到達すれば、更に 500 倍のダイリューションを行うことができます。粒子がサンプルポイントからエレクトロメータに到達するまでのトータルの通過時間は 2 秒以内です。

## 5. 電気泳動、熱泳動、拡散および衝突による粒子損失

ナノ粒子は上記の影響<sup>10</sup>等により、サンプリングシステム壁面でかなり大きな粒子を損失をすることがあります。静電気が溜まると、粒子が凝結することがあります。熱泳動力も粒子損失を起こすことがあります。特にエアロゾルの温度が高い場合には、ゆっくりと冷やす必要があります。粒径の一番小さな粒子では拡散損失が重要となります。粒子の衝突は大きな粒子に影響し、これらの粒子が高速で突然流れ方向を変えるときに損失が起こり、これがサンプリングシステム方式のひとつとなっています。

解決法：一番目は、DMS500 のサンプルラインを流れる高速の通過時間は、これらの 3 つの影響に関する可能性を減らします；単に壁面へ付着する時間が少なくなっています。二番目は、サンプルライ

に導電性のチューブを使うと、静電気によって起こる問題を防ぎます。三番目は、ダイリューションする前にダイリューションエアーを加熱すると、エンジンのエアロゾルがラインの温度で冷やされるので熱泳動を小さくします。自分達のサンプリングシステムを使って拡散による損失を厳密に調べ上げたので、最も小さい粒子に関心のある方々には、サンプルラインの中で粒子のサイズに依存した損失を計算するスプレッドシートを提供できることになりました。

## 6. 粒子の生成

揮発性成分（炭化水素、サルフェート等）が凝縮すると、エアロゾル測定器の中で人工的な測定結果を引き起こすことがあります。特にガソリンエンジンからサンプリングする場合には、このようなことが事実となって現れます。分解によって熱とストレスに曝された際、ある材質が粒子を発生します。

解決法：プライマリダイリューションとサンプルラインの低い圧力が揮発性成分の分圧を下げます。DMS500 の加熱サンプルラインは、凝縮が起こらない 150°Cに加熱することができます。加えて炭化水素を取り除くため、活性炭入りの HEPA フィルタをセカンダリダイリュータに取り付けることができます。詳細についてはアプリケーションノートの DMS08 をご参照下さい。加熱ラインは粒子を発生することなく、安全に 150°Cで加熱できます。

## B. 開梱から DMS500 によるエンジン粒子測定まで

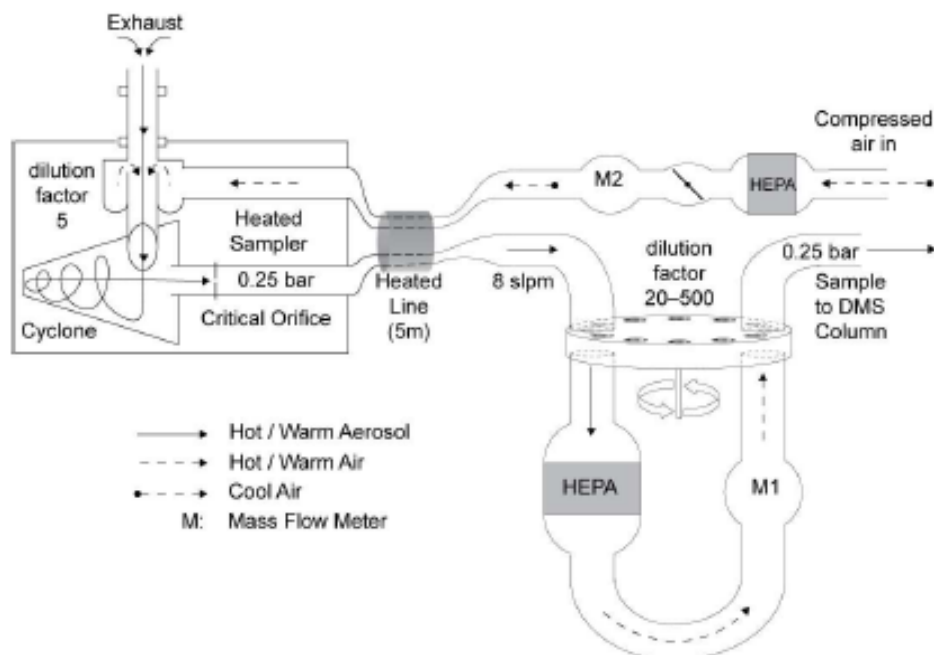
1. DMS500 とバキュームポンプを、テストする場所まで移動します（エアロゾル専用のベンチ室へ移動する必要はありません）。
2. サンプルラインと圧縮空気を接続し、バキュームポンプの電源とコンピュータを DMS に導きます。
3. Swagelok を使ってステンレス製の短い配管をエキゾーストパイプに取り付け、サンプルラインを接続します。
4. 必要に応じてアナログ入出力を接続する。DMS のデフォルトではアナログ出力のうち、2 つからの信号として固体粒子の粒子数とマスを出力するよう設定されており、データファイルにも収録されます。アナログ入力、リアルタイムで DMS のソフトウェアによりダイレクトに粒子数またはマス濃度を計算できるよう、エキゾーストまたは CVS トンネルの空気流量を入力することができます；積算エミッションにすることもできます。データの瞬時におけるプレゼンテーションや、他の機器類との時間合わせ用として車速またはその他の信号も収録できます。
5. DMS のスイッチを入れ、PC またはラップトップ（100m 遠方から）のソフトウェアを起動します。
6. 加熱ラインの温度設定をします（一度設定すると記憶されます）。20～30 分の暖機時間を要します。
7. "High"ゲインに設定します（殆どの場合）。
8. サンプルのアベレージング回数とダイリューションを設定します。凝縮と凝集を防ぐようプライマリダイリューションを "5" に、DPF 上流の計測を行うにはセカンダリダイリューションを "50～200"、下流側の場合には "1" または "50" に設定することをお奨めします。テスト中でも必要な場合には、ダイナミックレンジのインジケータにしたがってダイリューションの変更ができます。
9. "Autozero"をクリックします。数秒後に測定された感度レベルがディスプレイ上に表示されます。
10. "Sample"をクリックします。
11. ファイル名を入力してエンジンを始動し、"Start Logging"をクリックします。テストが終了したら"Stop Logging"をクリックします。
12. タブで区切られたデータファイルを Excel で開き、自分のソフトウェアを使ってプロットすることや（マトラボ等）、Cambustion が提供するフリーソフトの Excel マクロで "Summary data" を作成し、カラーコンチャートプロットや 3-D アニメーション等々をクリックして使用することができます。

### C. エンジンの粒子測定に対する DMS500 の能力

- 1 台の測定器で以下のことを同時にリアルタイム測定：ユニークなエアロゾルモード識別の特長<sup>3,4</sup>による個体粒子数測定を含む粒子数測定，粒子マス<sup>5,6</sup>および粒度分布測定。
- ダイレクトエキゾーストサンプリング用の 2 ステージ型ダイリュータを内蔵。外付けのダイリューションや高価な CVS 装置を必要としません。
- DPF 前の圧力変動をある程度許容。
- 何らかの流量信号が得られる場合には，エミッションの量や指定したエミッションをリアルタイムで自動的に計算できます。
- 比類のない応答性 ( $T_{10,90}$  200ms, 5m のサンプルライン付きで 300ms) . 10Hz のデータレート
- 実験室への統合が簡単：非線形にスケールリングできる 4 系統のアナログ入力とプログラマブルな 4 系統のアナログ出力，デジタル制御入力，セカンダリダイリューションのリモートアナログ制御
- 9 桁のダイナミックレンジが得られる 2 系統のゲインレンジと組み合わせた内蔵式ダイリュータ，小型ディーゼルの DPF 下流側測定から，大型ディーゼルのフィードガス測定のアプリケーションまで対応可能。

Cambustion は自動車のエミッション測定機器類の開発や委託研究，サンプリングに関するアドバイス，テクニカルサポート，およびユーザのエミッションデータ解釈のお手伝い等に 20 年以上の経験があります。

### D. サンプリングシステムの詳細



### E. 参考文献

- <sup>1</sup> Symonds, J.P.R., & Reavell, K.St.J. (2007). Calibration of a Differential Mobility Spectrometer, European Aerosol Conference, Salzburg, T02A034
- <sup>2</sup> Lobo, P., Hagen, D.E., Whitefield, P.D., & Alofs, D.J. (2007). Physical Characterization of Aerosol Emissions from a Commercial Gas Turbine Engine, Journal of Propulsion and Power, 23 919.929
- <sup>3</sup> Reavell, K.St.J., & Symonds, J.P.R. (2007). Calibration of Fast Electrical Mobility Spectrometers for Engine Particulate Measurement, 11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles.
- <sup>4</sup> Cambustion Application Notes DMS06 and DMS08

- <sup>5</sup> Symonds, J.P.R., Reavell, K.St.J., Olfert, J.S., Campbell, B.W., & Swift, S.J. (2007). Diesel Soot Mass Calculation In Real-time With A Differential Mobility Spectrometer, *Journal of Aerosol Science*, 38 52.68
- <sup>6</sup> Cambustion Application Note DMS01
- <sup>7</sup> Kittelson, D.B., Abdul-Khalek, I.S., Graskow, B.R., Brear, F., & Wei, Q. (1998). Diesel Exhaust Particle Size: Measurement Issues and Trends, SAE 980525
- <sup>8</sup> Kawai, T., Goto, Y., & Odaka, M. (2004). Influence of Dilution Process on Engine Exhaust Nanoparticles, SAE 2004-01-0963
- <sup>9</sup> Hinds, W.C. (1999). *Aerosol Technology* (2nd Edition), Wiley-Interscience, Chapter 12.
- <sup>10</sup> Ibid., sections 7.4, 8.1 & 15.8.
- <sup>11</sup> Symonds, J.P.R., Olfert, J.S., & Reavell, K.St.J. (2007). Sample Line Efficiency Measured with a Real-Time Particulate Size Spectrometer, American Association of Aerosol Research Congress.
- <sup>12</sup> Kumar, P., Fennell, P., Symonds, J., & Britter, R. (2008). Treatment of Losses of Ultrafine Aerosol Particles in Long Sampling Tubes During Ambient Measurements, Submitted to Atmospheric Environment
- <sup>13</sup> SAE 2005-01-0185