



概要

本アプリケーションノートは、ガソリン直噴エンジン（GDi）車および、高速微粒子粒度分布計DMS500を用いたエミッション粒子の測定等に関する2つの研究について述べます。それに続きCVSトンネルを使わず、ダイレクトにサンプリングする方法も含めて測定に関するアドバイスをします。

実験A： ECU制御の効果； 成層／均質運転，NO_xトラップパーズィング

本研究には、2種類のエンジンを使用しました。最初のエンジンはエンジンダイナモへ搭載し、CVSのダイリュेशनトンネルを通してDMS500にサンプリングしました。NEDCモードの最初の200秒を、次のフェーズの200秒と比較した測定結果をFig. 1に示します。最初のフェーズでは、燃焼が主としてエンジン暖機中の均質（理論混合気）となっています。2番目のフェーズは同じ走行抵抗ですが、制御方法としてこの区間の大部分で成層（リーン）燃焼を要求しています。成層運転では、凝集モード粒子がかなり増える原因になることは明らかです。

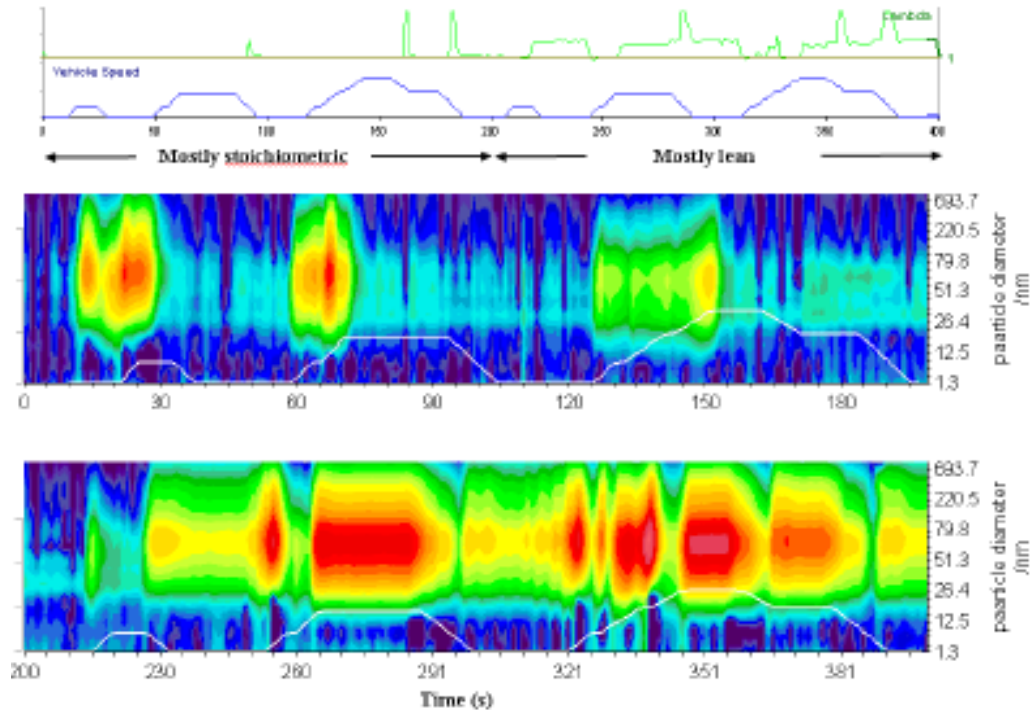


Fig. 1： 均質燃焼対成層燃焼： 粒子への影響

3番目のクルーズ前で得られたデータをFig. 2に示します。400秒の直前はエンジンの負荷が低いため、エミッション粒子が低い成層燃焼モードのアイドリング状態となっています。402秒から406秒までの加速時におけるエンジンは、均質燃焼に切り替わります（λのトレースで分かるように）。モード切替えスイッチは短時間で低いレベルに落ち、粒子エミッションのトランジェントピークを作る原因となります。加速部の最後の燃焼は再び成層に切り替わり、いくぶん低濃度となるトランジェント粒子が観測される部分が1秒間あります。

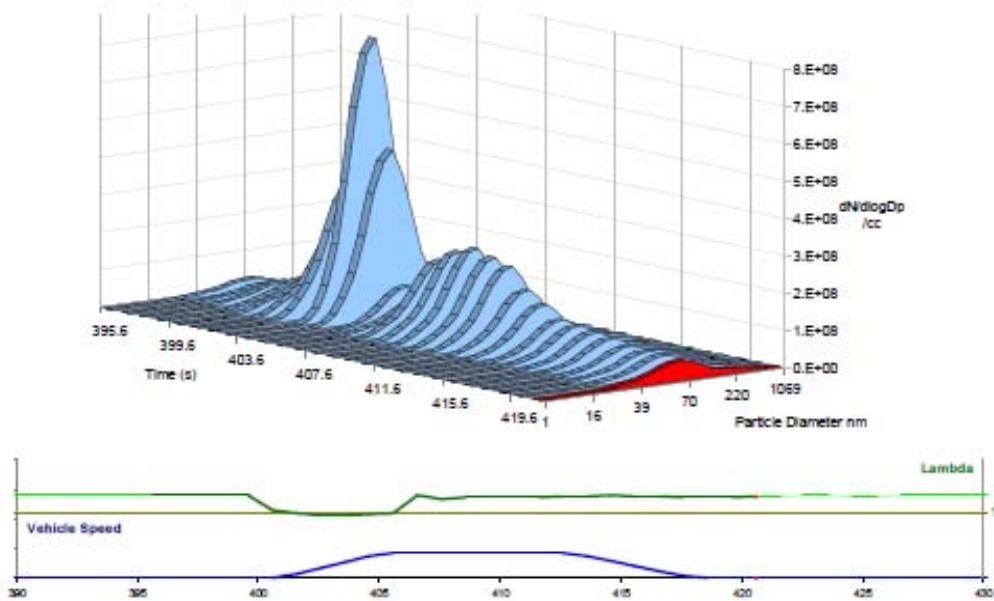


Figure 2: モード切り換えのトランジェント影響

AudiのFSI 2.0lに搭載された2番目のエンジンをシャシーダイナモに載せ、ウォームスタートでNEDCを走行しました。 Fig. 3 には400 秒と600 秒のところで起こる、最低速度のクルーズ走行で排出されるPMエミッションパターンを示しています。このエンジンは通常、このクルーズ走行部分で成層燃焼を行います。とはいえ600 秒のクルーズ部分で排出される大量の粒子は、NO_xトラップの部分再生を行う際のリッチ燃焼によるものです。

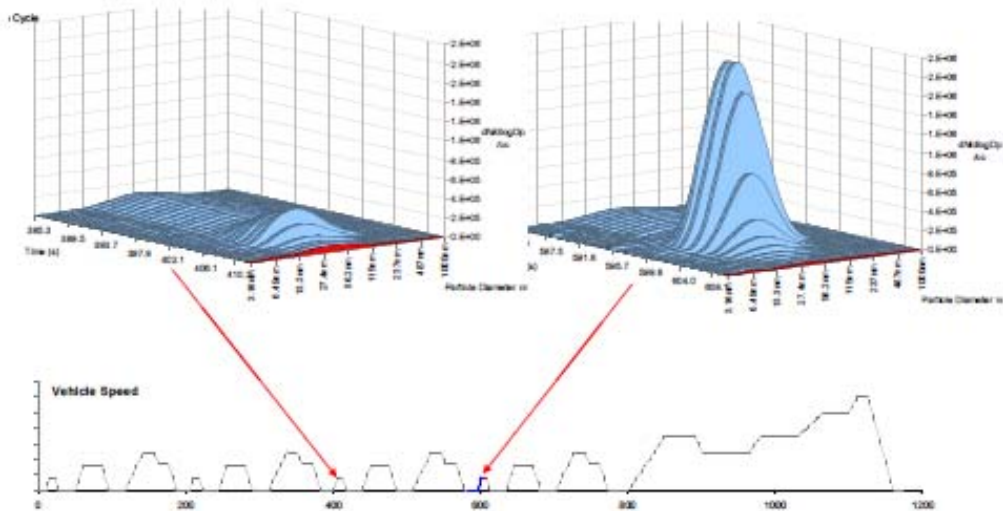


Fig. 3: NO_xトラップの再生

最後にFig. 4 には、本ドライブサイクル2 フェーズ目の部分を示します。この区間の殆どは、加速中に時々均質燃焼に切り替わる成層燃焼に費やしています。この部分には、凝集モードサイズのかなり大量の粒子発生が観られます。

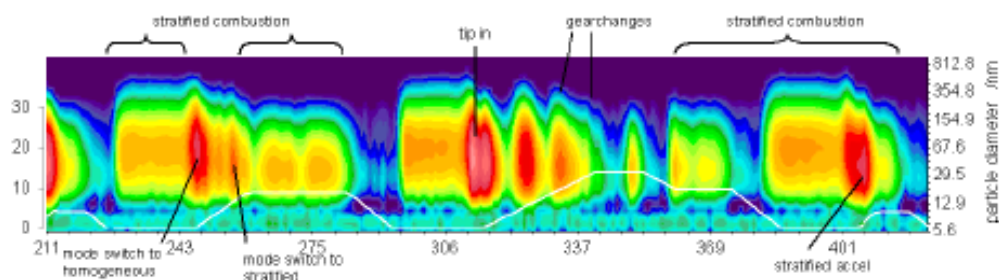


Figure 4: 負荷の関数としての粒度分布変化

実験B： PMPタイプシステムの比較

続いて次の実験では、直噴エンジンを装備した乗用車をシャシーダイナモに載せ、DMS500とPMPタイプの粒子数計測システムを計装しCVSトンネルから両システムにサンプリングしました (Fig. 5) . 本車両のエンジンは理論空燃比だけの運転を行っています. PMPシステムのフロー図を巻末のAppendixに示します. 揮発性粒子除去器 (VPR) をCPCの前段にだけ取付け、DMSはアプリケーションノートのDMS06で述べたソフトウェアを使って核生成モードの粒子を取り除きます. PMPのダイリユータはPND1のダイリユーションファクタ (DF) を100, PND2を10にセットし、DMSのセカンダリダイリユーションファクタは20にセットしました.

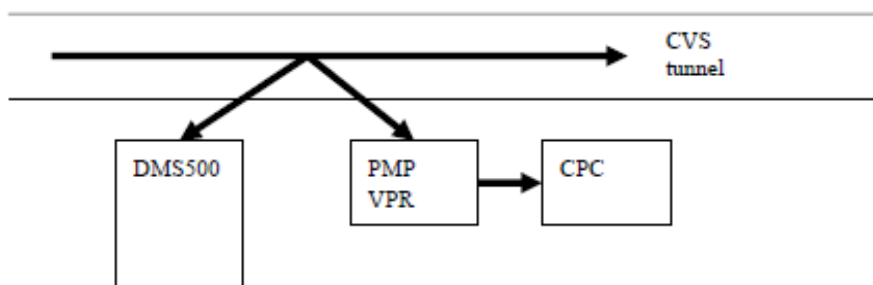


Fig. 5: DMSとPMPシステムによるサンプリング

より精度の高い絶対粒子数測定¹ができるようDMSシリーズは、本器の内部に備えたコロナチャージャで、粒子塊と球による荷電の違いを考慮したディーゼルエンジン用の特別なキャリブレーションを用いることができます. とはいえGDi エンジンから排出される粒子は、ディーゼルエンジンに較べてより「球に近い」と考えられています². よって標準のキャリブレーションでは、NISTでトレーサブルされたPSL球をベースとしてDMAがエアゾールをカットし、この研究では標準のエレクトロメータを使用しました.

Fig. 6 には、3 回目のコールドスタートにおけるNEDCで排出された固体粒子を示します. 一方、Fig. 7 にはそれぞれのテストにおけるエミッションを示しています. 本データはダイリユータのロスによる補正を除き、スケーリングはしていません. 標準のキャリブレーションで使用したDMSは、トータル固体粒子数に関してPMPシステムの9-12%以内を示しています.

¹ Calibration of a Differential Mobility Spectrometer, J.P.R. Symonds & K.St.J. Reavell, *European Aerosol Conference 2007 T02A034*, Salzburg.

² Density of particles emitted from a gasoline direct injection engine. J. Symonds, P. Price, P. Williams, R Stone. *12th ETH Conference on Nanoparticles*, 2008

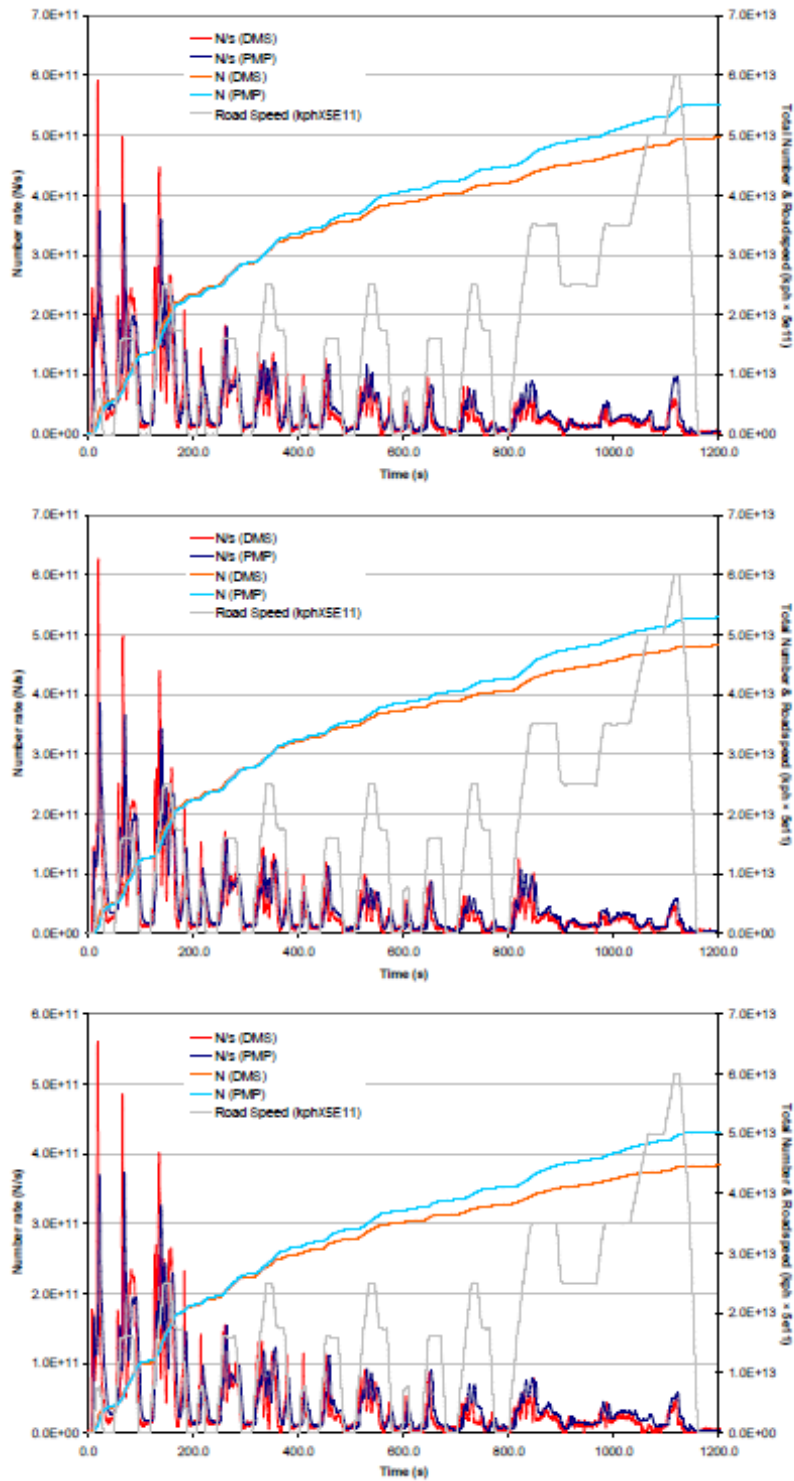


Fig. 6 : GDiのエキゾーストでDMS500とPMPタイプのシステムを比較 : NEDCのコールドスタート3回

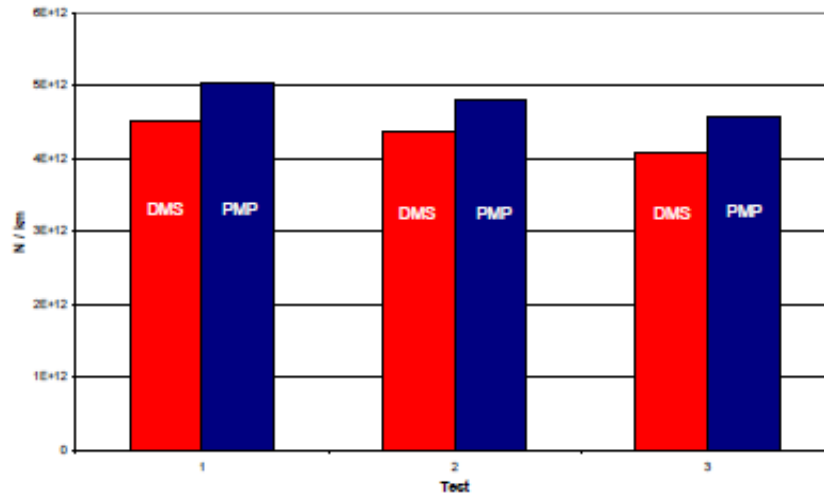


Fig. 7 : 3回のテストによるエミッション特性

GD_i エンジンのサンプリングと測定に関するアドバイス

ダイレクトサンプリング

上記の例で示したように、CVSトンネルからのサンプリングは簡単です。エキゾーストからダイレクトサンプリングを行う場合には、炭化水素に起因した人為的な粒度分布 (Fig. 8) となる凝縮を避けるため、加熱ラインを150°Cで加熱することをお奨めします³。

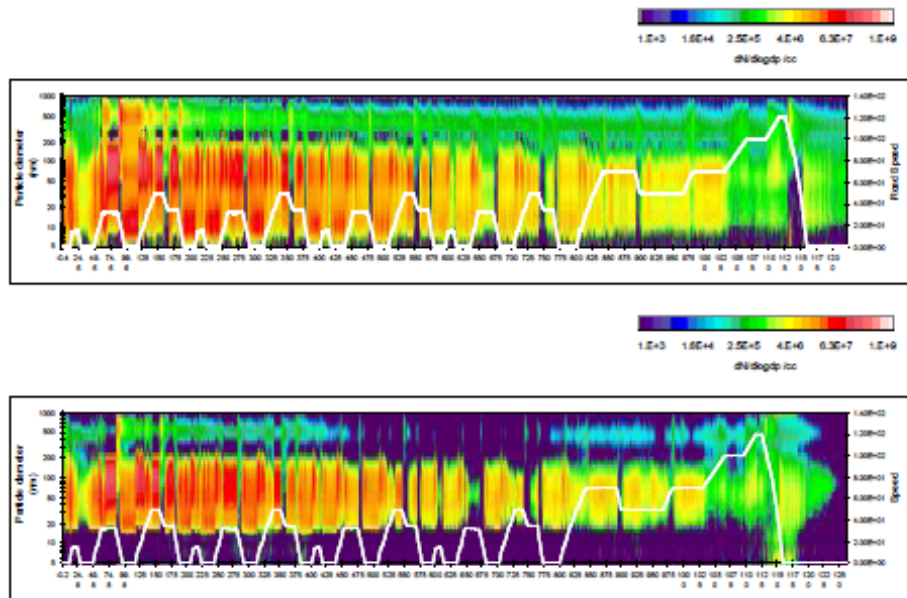


Fig. 8: 加熱サンプルラインを使ったダイレクトサンプリング: 上側の図はライン温度が55°C, 下側は150°C

³ 最新のDMSは、サンプルラインの内部配管がPTFEとなっているため、高温でも安全に使用することができます。旧モデルはシリコン配管を使っているため、100°C以上で使うことはできません。内部配管の詳細やアップグレードについては、cambustion@cambustion.com 宛にご連絡ください。

それでも炭化水素の影響が観られるようであれば、DMS500の回転円板型ダイリュータの流路にあるHEPAフィルタを、活性炭入りのHEPAフィルタに取り換えることもできます。DMS50の希釈空気には大気を使っているため、このフィルタの交換をする必要はありません。

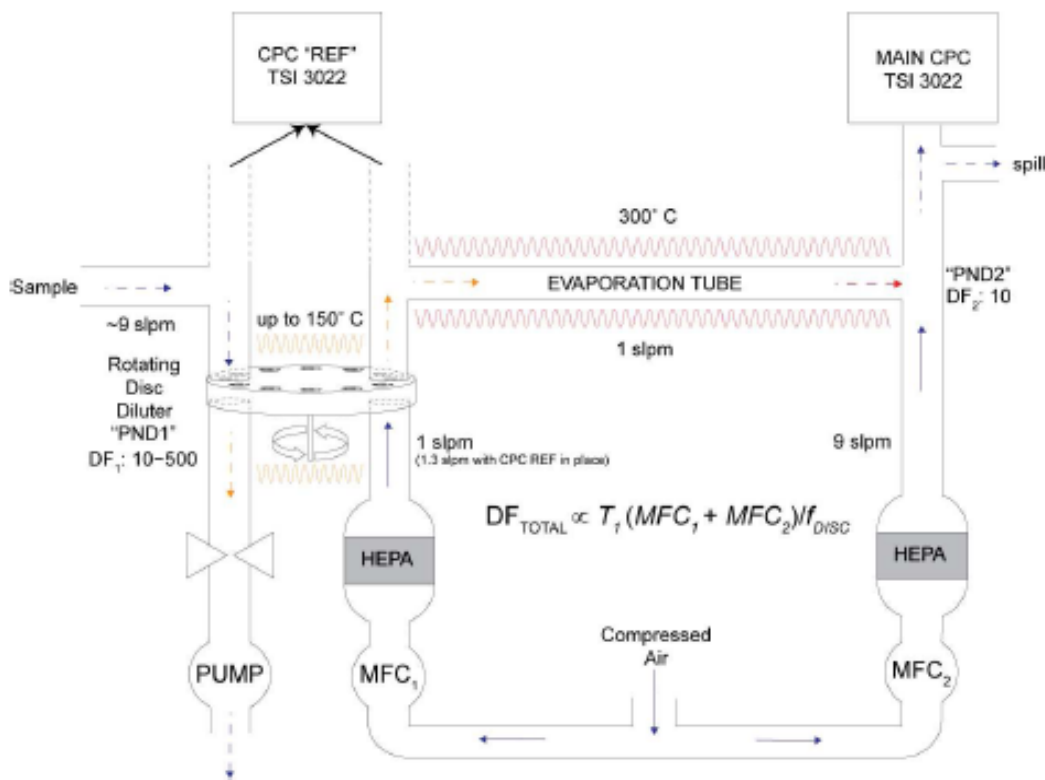
ディーゼルのダイレクトサンプリングを行う際は、プライマリダイリュータのファクタを最低でも4に設定します。

ログノーマル近似とマス粒子の算出

ログノーマル近似に対し殆どの場合には、「Diesel.....dmd」ファイルが核生成モード粒子と凝集モード粒子の正しい識別をします。GDiエンジンの凝集モード粒子はディーゼルに比べ、さほど「フラクタル的形状」ではなく、より「球に近い形状」の粒子と考えられています。したがって、水に近い密度を用いることをお奨めします。例えば、 $Mass \approx 5.20 \times 10^{-16} \times Dp^3$ となります。粒径の単位はnm、マスは μg で表します。

この数値を「Analogue output」のセットアップウィンドウに入力します。

Appendix : 使用したPMPタイプのシステム



このテストでは、CPCの「REF」には何も接続していません。