


自排粒子の計測装置、 及びその計測例

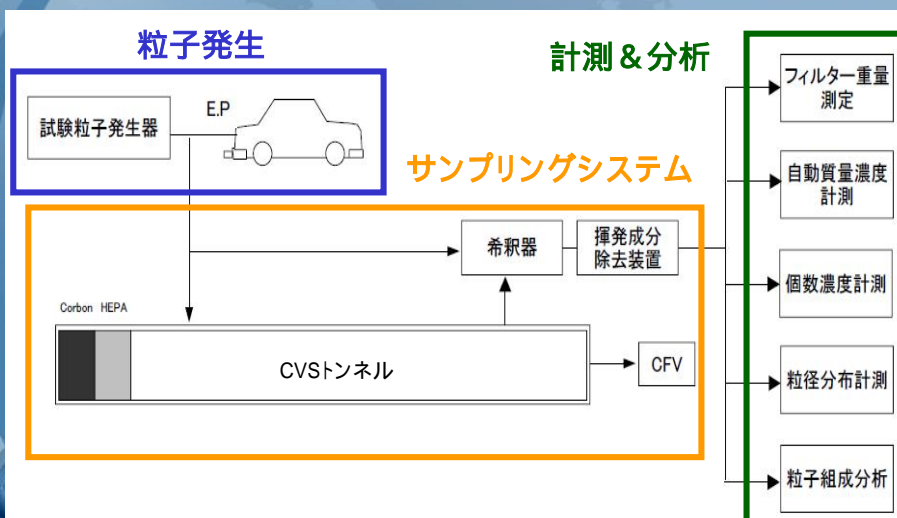
東京ダイレック株式会社
高木 由紀

内容

- 自排粒子の計測方法について
 - フィルター重量測定法に関する課題
 - 新たな自排粒子計測法の検討
 - サンプルングについて
 - 自動質量濃度計測
 - 個数粒径計測
 - 実車計測例
- 

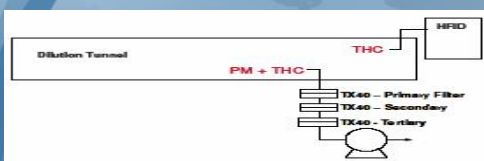
- 自排粒子の計測方法について
- フィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプルングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

自排粒子の計測方法について

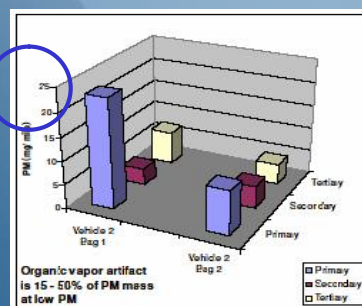
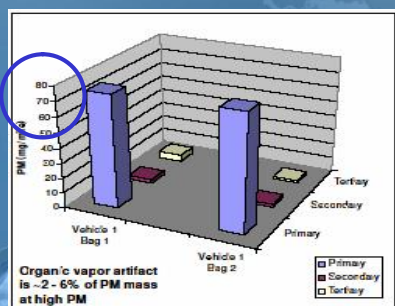


- 自排粒子の計測方法について
- PMのフィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプルングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

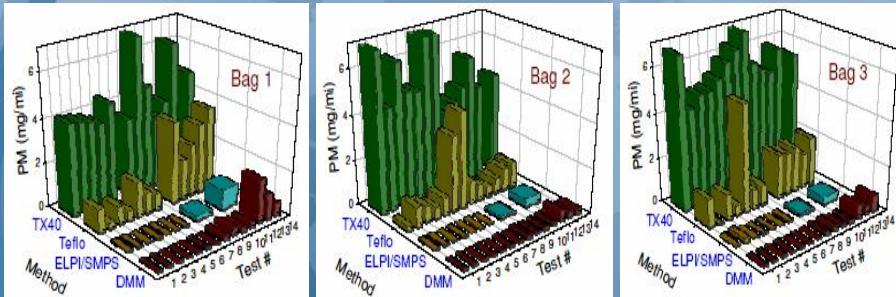
PMのフィルター重量測定法に関する課題



対象とするPM濃度の低減に伴い、VOC Artifacts の存在比が上がり、無視出来なくなる。



VOCのフィルターへの吸着



プロトタイプDPF装着車からの排ガスを、2種類のフィルター、3種類の自動計器にて測定。
PM低濃度下にてフィルター (TX40及びTeflo) に差が見られ、Artifactsによる、誤差を危惧している。

- 自排粒子の計測方法について
- PMのフィルター重量測定に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプルングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

新たな自排粒子計測法の検討

EU PMPの目的と動向

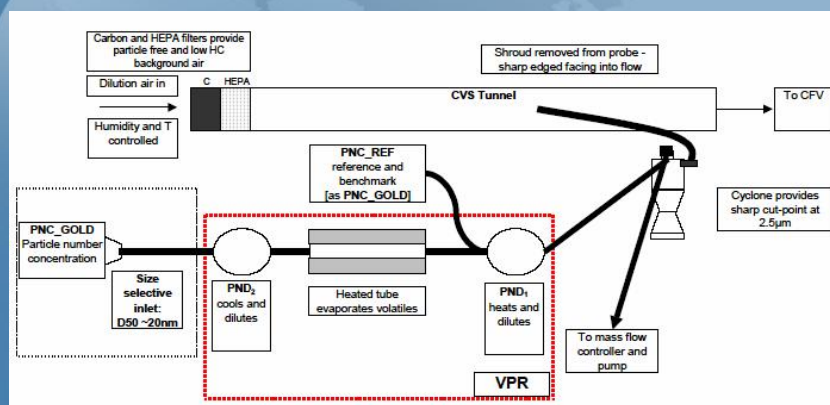
PMPはGRPEのメンバーであれば、政府機関、研究所、計測メーカー、NGO等誰でも参加できる“ワーキンググループ”であり、その主な目的は現行基準重量法の補足あるいはそれに置き換えられる新しい自動車排出粒子計測法の開発とサンプリング手法の見直しである。

2003年7月には下記Preliminary Recommendationが述べられている。

- ・Modified 2007PM (質量計測)
- ・CVS + Thermodiluter + CPC (個数計測)



粒子個数計測における推奨システム



Draft Amendment R83 (LDV)(Doc#GRPE-48-11) Appendix5より抜粋



仕様概略 1

サンプリングプローブ: 内径約12.5 mm 52 以下
プリセパレーター: 50% cut off 径 2.5 μ m
第1次希釈器(PND1): 希釈率最大1000倍 150 \pm 5
気化部: 長さ350mm \pm 10mm 内径6mm \pm 0.1mm
加熱温度 300 \pm 20 滞留時間 0.2sec \pm 0.05sec
第2次希釈器(PND2): 希釈率最大10倍 10000p/cc未満、カウンター直前で35 未満
揮発性粒子除去率: C40 30nm粒子を99%以上除去。固体粒子30・50・100nmの
損失は10%以内の事
カウンター(PNC)性能: 精度 \pm 10% (100~10000p/cc内にて)
分解能 0.1p/cc
リニアリティー 1~10000p/ccにてリニア
応答 T90にて5~15 Sec
カウント効率 (下表に示す)

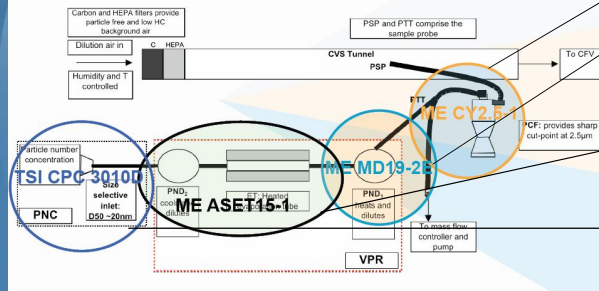
Efficiency	Lower Limit,nm	Mid Size,nm	Upper Limit,nm
10%	15	16	17
25%	16	18	20
50%	20	23	26
75%	26	30	34
90%	33	37	41

仕様概略 2

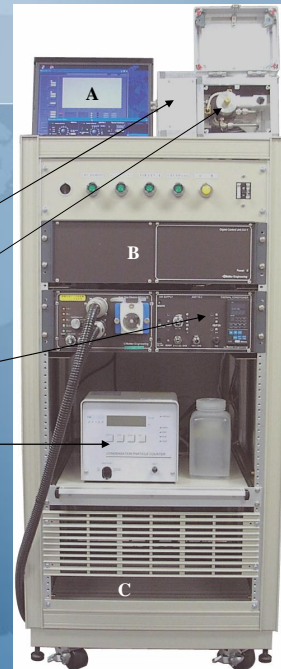
サンプリングライン: TYGON R3603・導電性チューブ・またはステンレス管を使用
PNC較正: DMAで単分散化し、エレクトロメーターとの相関を確認
または、それにより、較正した2次的基準器との相関を確認
いずれも相関係数R2が0.95以上の事
希釈器較正: トレーサーガスを用いて較正。0~1000倍において最低5ポイントを較正。許容度10%
気化器較正: 固体粒子30・50・100nmそれぞれ1000p/cc以上用い、最低90%透過する事を確認、および、C40 30nm粒子を上流に10000p/cc用い99%以上除去する事を確認

システムの構成

PMP Set-up for Particle Number Count

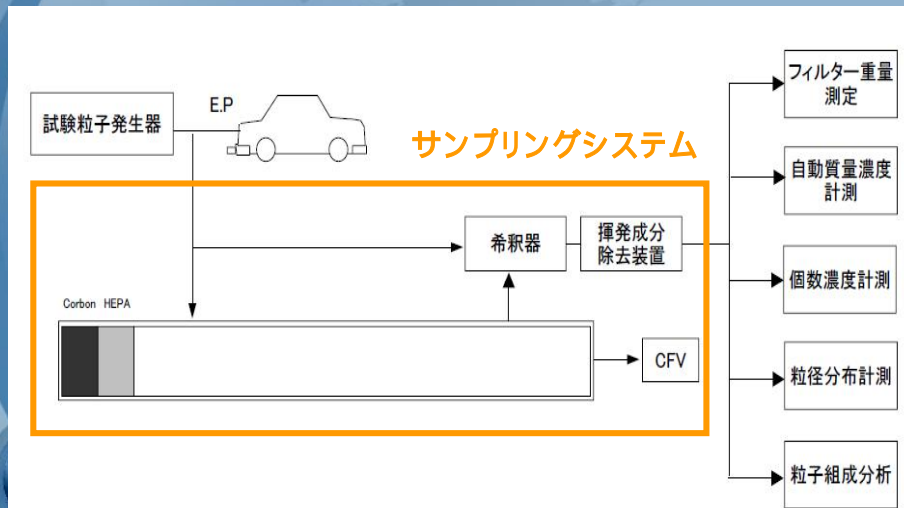


A: データ収集&コントロール用PC
B: PCインターフェース
C: CPC用ポンプ内蔵部



- 自排粒子の計測方法について
- PMのフィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプリングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

サンプリングについて



希釈装置

自動車排ガス粒子の濃度、粒径、形状は
テールパイプと計測器間でのサンプリング条件により大きく変化する。

- 凝集
- 凝縮
- 蒸発
- 熱泳動、静電気による壁面沈着
- 核生成 etc...

計測結果に影響

一定濃度にするにより、計測結果の
再現性を良くする

希釈システム

- CVS
- マイクロダイリューショントンネル
- MD19-2E (Matter Engineering社)
- FPS (Dekati社)

etc...

ロータリーディスク型希釈器 MD19-2E

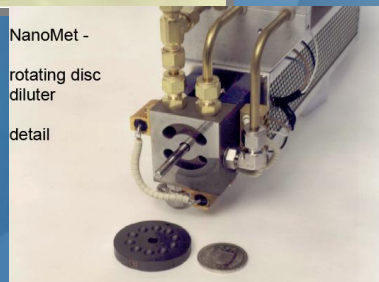
Rotating Disc Diluter with Control Unit



概要

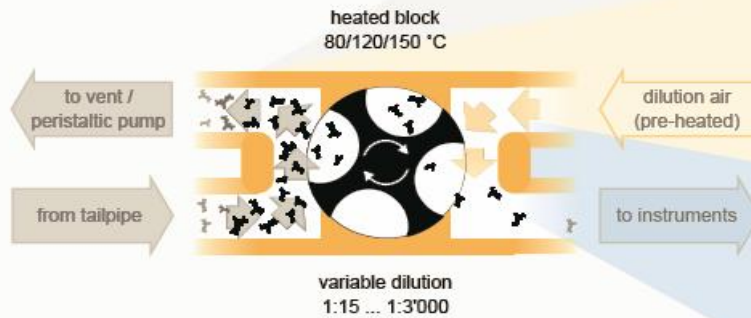
MD19-2E希釈器を用いることで自動車の排気管から直接高倍率希釈サンプリングできる。小さな窪み(キャビティ)のあるディスクの回転数を変化させる事で15 - 3000倍の希釈率に可変。計測センサーのサンプル流量は0.5 - 1.5LPMの間で適応。軽量・小型なので車載計測用の希釈装置として使用可。

NanoMet -
rotating disc
diluter
detail



Matter Engineering AG

Rotating Disc Diluter Revolving Door for Aerosol Particles



Dekati Fine Particle Sampler FPS-4000



概要

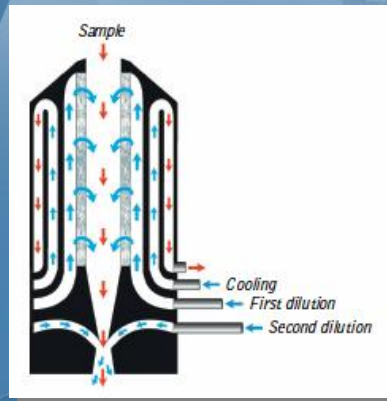
FPS-4000燃料粒子希釈システムは、高濃度及び高温多湿条件下での測定を目的とした希釈システムである。希釈率は2段階で調整し、自動車や発電所等からの燃焼粒子の濃度を各測定器に適したレベルへ変換する事の出来る、燃焼粒子計測に最適な希釈システム。

特徴

- ・ 希釈倍率 1:20 (10) – 1:200
- ・ 希釈温度をオンラインで調整及び測定
- ・ 応用性に富んだ希釈温度調整機能
- ・ 希釈倍率の連続記録
- ・ 粒子の損失を最小限低減



Dekati Fine Particle Sampler FPS-4000



希釈原理

本装置は、原理の異なる2段階の希釈器から構成される。

第1希釈器はサンプルプローブ前段で、結晶金属性の多孔チューブがあり、このチューブ内部に流れるサンプルガスに向かって希釈エアが均一流入し、混合される。

第2希釈器はイジェクター型希釈器で、第1希釈器の下流に位置している。一次希釈されたサンプリングエアを更に希釈する。

- 自排粒子の計測方法について
- PMのフィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプリングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

自動質量濃度計測

計測方法・原理

TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance フィルター上に粒子を捕集し、このフィルター支持部(テーパードエレメント)は固有の振動が与えられており、この振動数の減衰量より質量濃度をリアルタイムに計測する。
DMM	Dekati Mass Monitor 2.5 μ以下粒子のみ捕集対象としたリアルタイムマスモニター
LII	Laser Induced Incandescence レーザー照射により、高温度になったスス粒子からの熱輻射の減衰を検出し、粒径及び濃度を計測する。基本的にスス凝集ではなく一次粒子を対象としている。
QCM	Quartz Crystal Microbalance 静電捕集法において、粒子を水晶発振子上に捕集し、振動数の減衰量より質量濃度をリアルタイムに計測する。

ディーゼル用TEOM1105



TEOM1105は、R&P社特許の一次的、連続的に質量を計測するTEOM秤量原理(JISにおいてはフィルター振動法と称す。)を用いており、ダイリュージョントンネルから吸入したディーゼル粒子のトータルマス、マスレート及びマス濃度をリアルタイムに計測できる自動連続質量モニターである。一秒以内の高レスポンス性を有し、トランジェント計測にも充分対応可能。TEOMの心臓部である秤量素子は極めて簡素な構造であり、感度は素子の物理的性質に依るため、再較正は不要である。

本モニターの質量計測には、TEOM秤量原理が用いられており、本体に内蔵されたセンサー部に左図のような秤量素子がある。秤量素子の先端にはフィルターカートリッジ(11φmm)が取り付けられ、固有の周波数を出しながら振動している。フィルターカートリッジに粒子が通過捕集されると共に周波数が減衰し、この周波数変化量を計測することで捕集質量を算出。又、さらにマイクロプロセッサにおいて濃度換算が行われる。

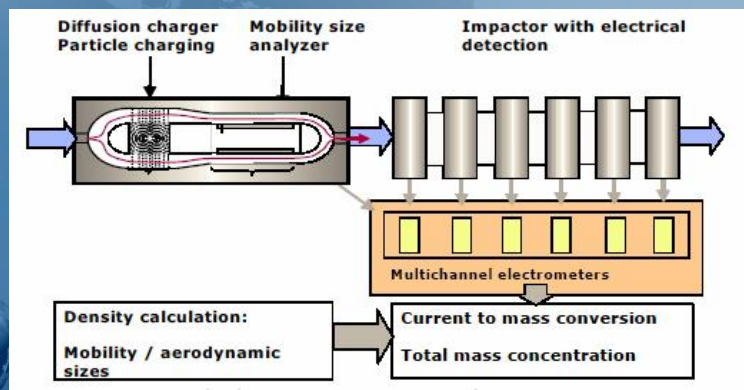


仕様

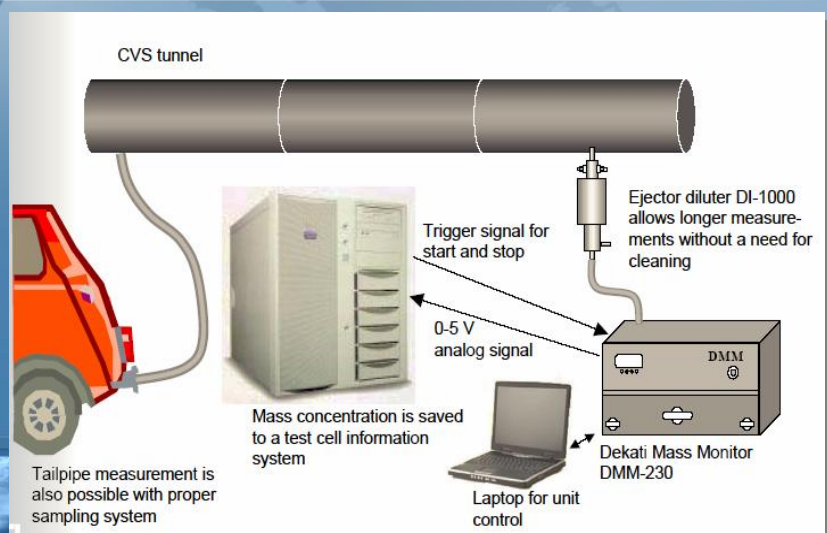
サンプル流量	: 0.5 ~ 5 LPM
検出素子部温度	: MAX60
適応濃度	: 0.2 mg/m ³ ~ 数 g/m ³
検出感度	: 0.01 μg
検出質量の分解能	: ±0.01 μg/sec
検出濃度の分解能	: ±0.2 mg/m ³
検出濃度の平均時間	: 0.42 ~ 300 秒
フィルター材質	: TX40、12φ (専用フィルター)
データ出力	: RS-232C、アナログ 3ch(0 ~ 5VDC)
寸法	: W425 × H280 × D500mm
重量	: 約25kg
電源	: 120VAC2A

Dekati Mass Monitor DMM-230

- 拡散チャージャーにて粒子を荷電
- 低圧インパクターで粒子分級
- 粒子の荷電検出
- 空気動力学径とモビリティ径により比重測定 (インパクターVS モビリティ径アナライザー)



DMM セットアップ

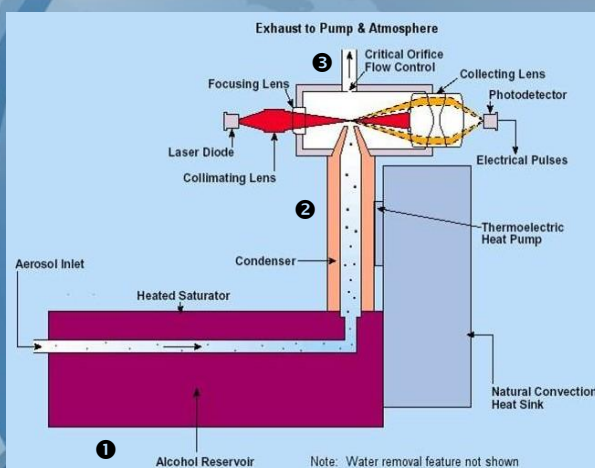


- 自排粒子の計測方法について
- フィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプリングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

個数粒径計測

CPC	Condensation Particle Counter 粒子を核にして蒸気凝縮させ、成長した粒子光散乱によって全粒子個数を計測する。
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer CPCと静電式エアロゾル分級器(DMA)を組み合わせる事により、粒径分布(5nm~1000nm)を計測する。
EEPS/DMS	Engine Exhaust Particle Spectrometer/ Differential Mobility Spectrometer 粒子を帯電させ、電気移動度の違いにより、分級捕集後、電気を計測する事により粒径別、個数、濃度分布を表示する。
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor 粒子を帯電させ低圧型カスケードインパクトターにて分級捕集後、電気を計測する事により粒径別、個数、濃度分布を表示する。

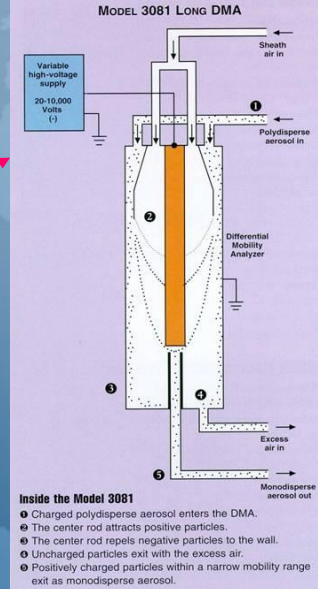
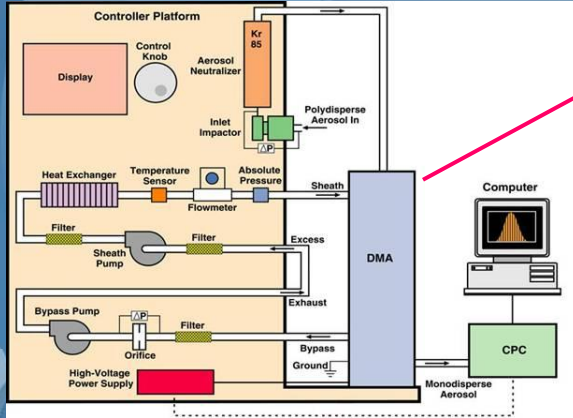
CPC



エアロゾルはまず、加熱されたサチュレーター部でアルコール蒸気と混合される。次いで、冷却されたコンデンサー部に入る。ここでアルコール蒸気は過飽和となり、化学組成に関係なく、一次粒径が10nm以上あるもの全てが核となって凝縮し、検出可能な大きさに成長する。この凝縮成長した粒子が一つずつ光学系検出器を通過する。粒子からの光散乱光のパルスが電気信号に変換される。

Scanning Mobility Particle Sizer SMPS

SMPS CPC+DMA (静電分級器)



SMPS Model 3936-series



SMPS 3936シリーズ構成表

Model	粒径サイズレンジ (nm)	粒子個数濃度 (# / cm ³)	計測時間 (Sec)	トータルチャンネル	チャンネル分解能	DMA	CPC	凝縮溶液
3936L72	10 - 1000	1 - 10 ⁷	30 - 600 (selectable)	最大167チャンネル (2.5 - 1000nm) * Model により異なる	4, 8, 16, 32, 64 (selectable)	3081	3772	n-butyl alcohol
3936L75	4 - 150	2 - 10 ⁸				3085	3775	
3936N75	4 - 1000					3081 & 3085	3776	
3936L76	10 - 1000	3081						
3936N76	2.5 - 150	10 - 10 ⁷				3085		
3936NL76	2.5 - 1000	2.5 - 1000				3081 & 3085		
3936L82	10 - 1000	1 - 10 ⁷				3081	3782	water
3936L85	5 - 150	1 - 10 ⁸				3085	3785	
3936N85	5 - 1000					3081 & 3085	3786	
3936NL85	10 - 1000	3081						
3936L86	10 - 1000	2 - 10 ⁷				3085		
3936N86	2.5 - 150					3081 & 3085		
3936NL86	2.5 - 1000	2.5 - 1000	3081 & 3085					
3034	10 - 487	1 - 10 ⁷	180	54チャンネル	32	内蔵型	内蔵型	n-butyl alcohol

Engine Exhaust Particle Sizer EEPS



概要

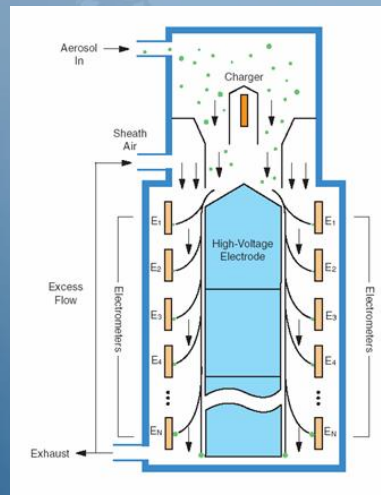
モデル3090 Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) Spectrometer は、自動車排ガス用の計測装置として開発され、エンジンより排出される粒子(5.6 ~ 560nm) の個数濃度及び粒径分布をリアルタイム(0.1秒毎)に計測でき、トランジェントモードにおける粒子計測に適する。

特徴

- **ハイスポンス**: 全てのエレクトロメーターにおいて、1秒間に10個のデータが検出される。この高い時間分解能が0.1秒毎のリアルタイムな粒径分布計測が可能。
- **高分解能** : EEPSは、5.6 ~ 560nmの粒径範囲においてトータル32chの高分解能を有している。また、エレクトロメーターは低濃度時における電荷量も高精度で検出する。
- **ソフトウェア** : Windows上で作動する3Dグラフの表示等が行え、簡単に操作できる高性能なAIM-3034ソフトウェア。

EEPS 計測原理

1. インレットより毎分10Lのサンプル粒子が吸入され、チャージャーにて全粒子が+に荷電される。
2. 中央のelectrodeも+の電圧が印加されており、粒子は反発し、円筒外壁へ移動し、外壁に捕集される。
3. この際、DMAと同様に粒子の持つ電気移動度(モビリティ)の差異により、マルチチャンネルエレクトロメーター上に分級される。
4. 分級された粒子の荷電量はエレクトロメーターで0.1秒毎に検出され、個数濃度として表示される。

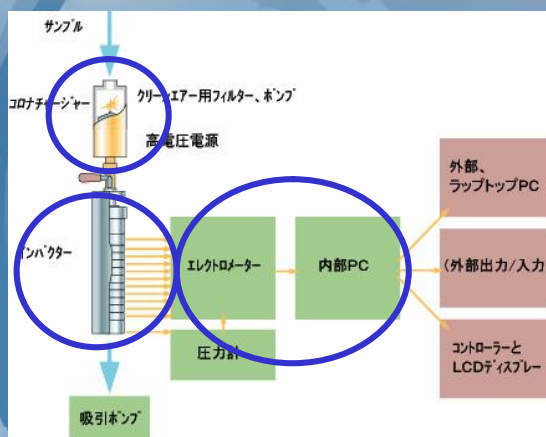


Electrical Low Pressure Impactor ELPI

- リアルタイム個数粒径計測
- 粒径範囲 7nm-10 μm (フィルターステージ付)
- 粒子捕集 - 捕集板を回収し、化学組成分析や電子顕微鏡による形状確認も可能
- 高い時間分解能により過渡モード対応



ELPI計測原理



まず、粒子はコロナチャージャーで荷電される。

多段多孔低圧型インパクターに導入され、空気動力径により分級される。

粒子によって運ばれた荷電量は、各エレクトロメーターで検出され、粒径濃度に変換される。

- 自排粒子の計測方法について
- PMのフィルター重量測定法に関する課題
- 新たな自排粒子計測法の検討
- サンプルングについて
- 自動質量濃度計測
- 個数粒径計測
- 実車計測例

EEPSによる自排粒子計測例 (車載、加温希釈サンプルング)

試験目的:

米国TSI社にて開発されたEEPS (Engine Exhaust Particle Sizer)は、モビリティ分級機能及びエレクトロメーターと二つの原理特性を用いており、0.1秒という高時間分解能でナノ粒子を計測します。本試験では、上記特性を活かし、EEPSを乗用車に搭載して走行し、テールパイプより排出されたDEP、GEPのリアルタイム計測を試みました。

本試験で使用した車はディーゼル車、直噴型ガソリン車、ガソリン車の3種で高速道路でのランダム走行を中心に試験を実施しました。

試験ルート:

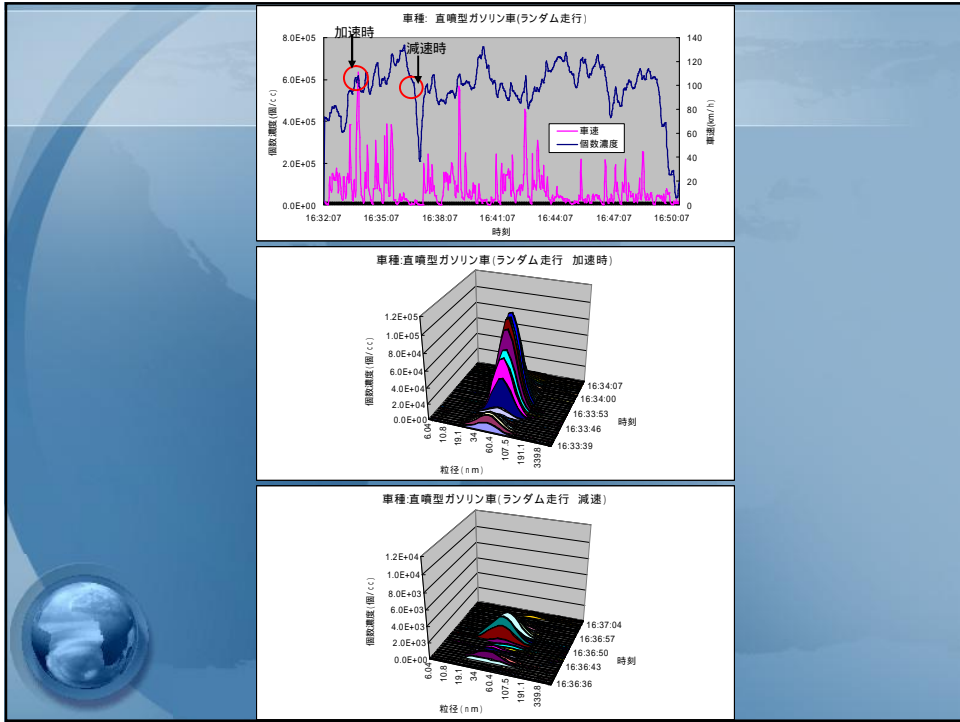
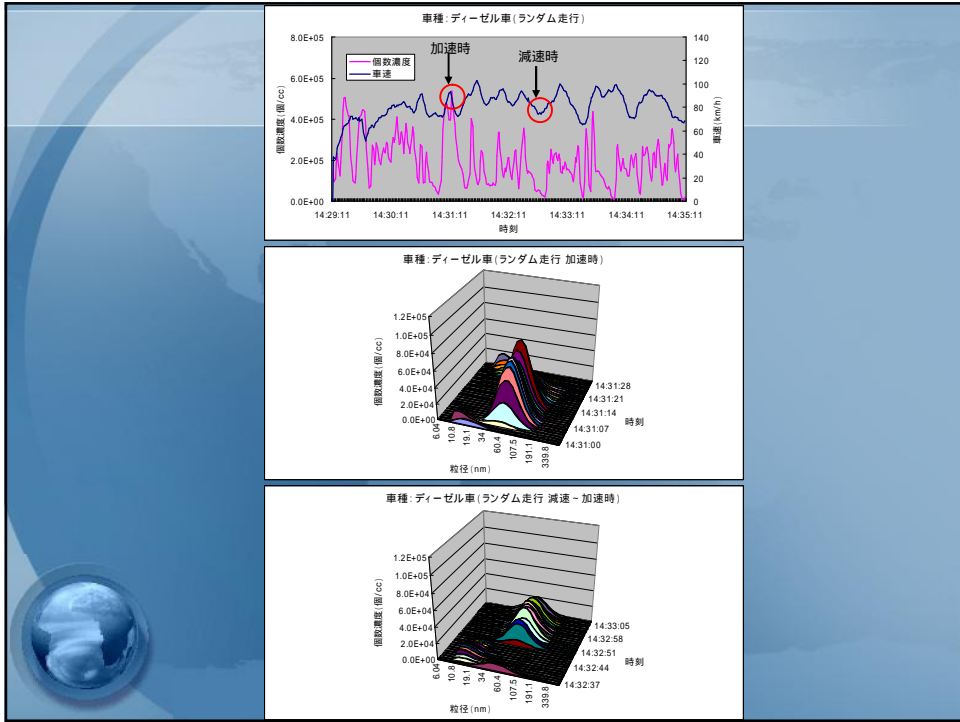
中央道藤野PA～八王子IC間上り (約 20km)

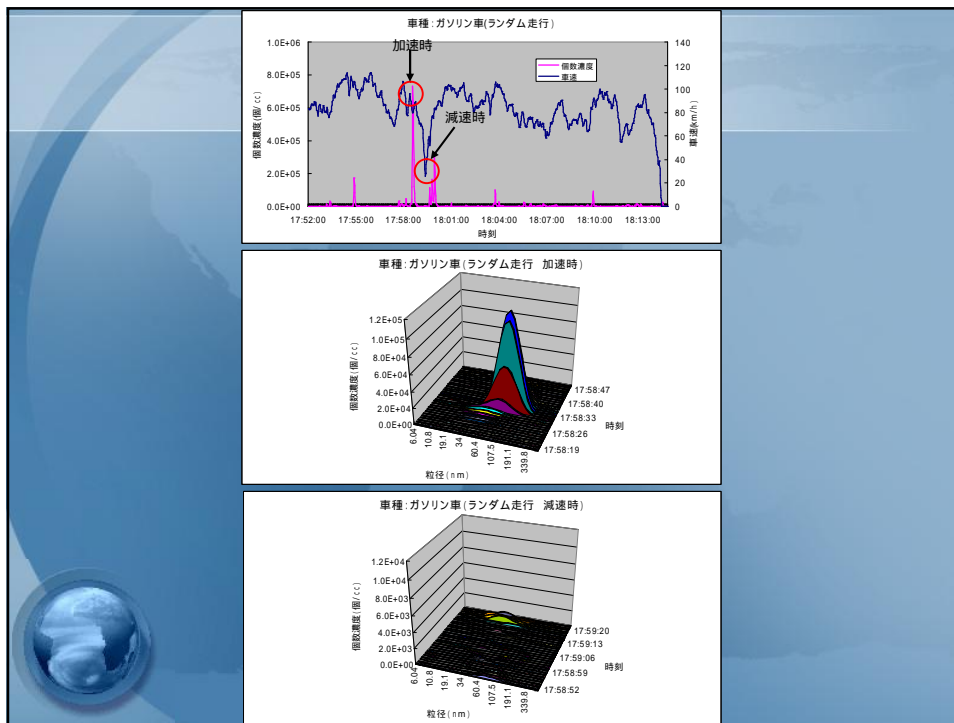
1. 試験日: 2004年9月29日(水)～10月1日(金)
2. 使用車種:
- | | |
|----------|---------------|
| ディーゼル車 | 燃料:軽油 |
| | 排気量:2000cc |
| | 走行距離:約9万3千km |
| 直噴型ガソリン車 | 燃料:ガソリン |
| | 排気量:2000cc |
| | 走行距離:約1万2千km |
| | 走行場所:高速道路 |
| ガソリン車 | 燃料:ガソリン |
| | 排気量:3000cc |
| | 走行距離:約13万2千km |

3. 試験機器:
- 希釈器 ロータリー式ダイリューター(型式MD19-2E)
Matter Engineering社
希釈倍率:100倍
ヒーター温度:150
- 計測器 自排用パーティクルサイザー EEPS(型式3090) TSI社
計測機種:粒径計測器
粒径範囲:5.6nm～560nm
吸引流量:10LPM

4. 試験方法:上記3台の車にEEPS及びMD19を搭載し、高速道路をランダムに走行する。このときテールパイプより排出される微小粒子をMD19にて100倍にホットダイリューションし、その後にEEPSで計測する。車速計に関しては、 ± 1 km/hの精度を持つGPS車速計を用いる。

本レポートにおいて、車載計測試験の個数濃度値は希釈後の濃度値を表示しておりますので、実際の生ガスの濃度値は100倍を乗じた値になります。





所見

高速道路でディーゼル車をランダム走行させた際、道路状況等にもよるが、アクセルを強く踏み込むような加速時には、70 nm付近にピークを持つ高濃度の粒子生成が見られた。一方減速時に到っては、70 nm付近の粒子は見られず、代わりに10 nm付近のナノ粒子が微量だが計測された。

直噴型ガソリン車についても加速時に高濃度粒子が発生しており、60 nm付近にピークを持ち、裾幅の狭い粒径分布が見られた。しかし、減速時ではほとんど粒子の生成はなく、加速時の1/10以下の個数濃度であった。

ガソリン車については、加速時でも全体的に微量の粒子しか発生しておらず、坂道で急激にアクセルを踏んだ時のみ、単発的に高濃度粒子が見られた(ピーク径は90 nm付近)。減速時ではほとんどゼロに近い濃度を示していた。

今回の試験では、Nuclei modeの生成はほとんど見られませんが、これはMD19のホットダイリュージョンの効果が要因の一つではないかと思われる。