



**よりよい大気をめざして
自動車と燃料のさらなる挑戦**

未規制物質WG

微小粒子計測法の検討



未規制物質WGに期待される役割

健康影響が懸念されている自動車排出ガス中の
微小粒子や未規制物質に関して

- 測定法を比較検討し、妥当性のある測定法を明らかにする。
- ゼロエミッションを目指したエンジン技術と燃料技術の微小粒子や未規制物質に及ぼす影響を明らかにする。

未規制物質WG活動概要

テーマ 番号	研究テーマ	期待される成果
4-1	微小粒子の測定法の研究	各種測定法の測定値を比較検討し、妥当性のある測定法を明らかにする
4-2	ガソリン車・ディーゼル車からの微小粒子の排出量測定	最先端のガソリン車 (MPI, SIDI) , ディーゼル車 (DPF有・無) からの微小粒子排出量測定値
4-3	大気放出における微小粒子排出と実験室での測定結果との比較検討	1) 各種走行条件下での大気放出を想定した微小粒子の測定 2) 大気放出における微小粒子排出と実験室測定値との関係把握
4-4	燃料・潤滑油性状が微小粒子に及ぼす影響の把握	1) ガソリン性状と微小粒子の関係把握 2) 軽油性状と微小粒子の関係把握
5	ガソリン車、ディーゼル車からの有害大気汚染物質排出実態の正確な把握	最先端のガソリン車、ディーゼル車からの有害大気汚染物質を現時点で最も精度の高い測定法で測定し、その排出量を明らかにする。

微小粒子の特性と健康影響への懸念

健康影響

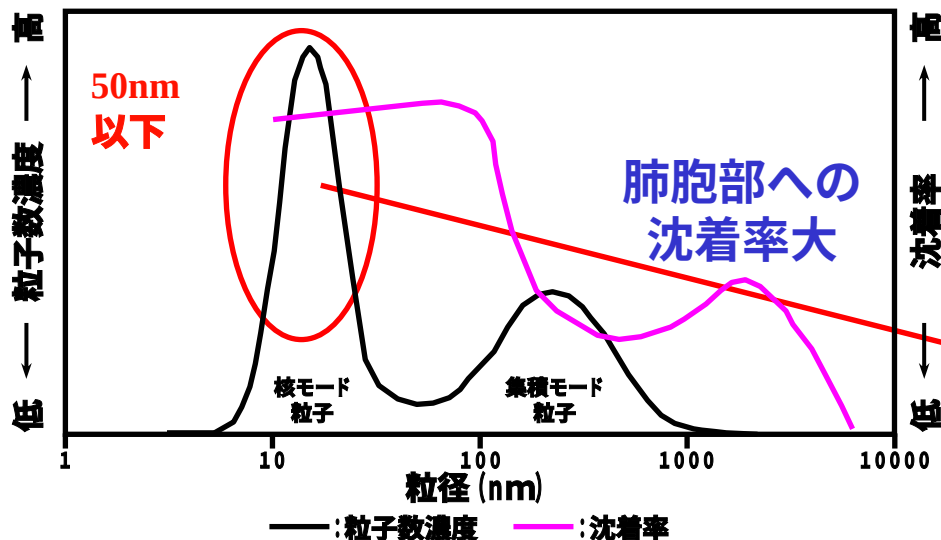
- 肺胞部への吸入による沈着率の高いナノ粒子 (粒径50nm以下) の影響が懸念されている

大気環境

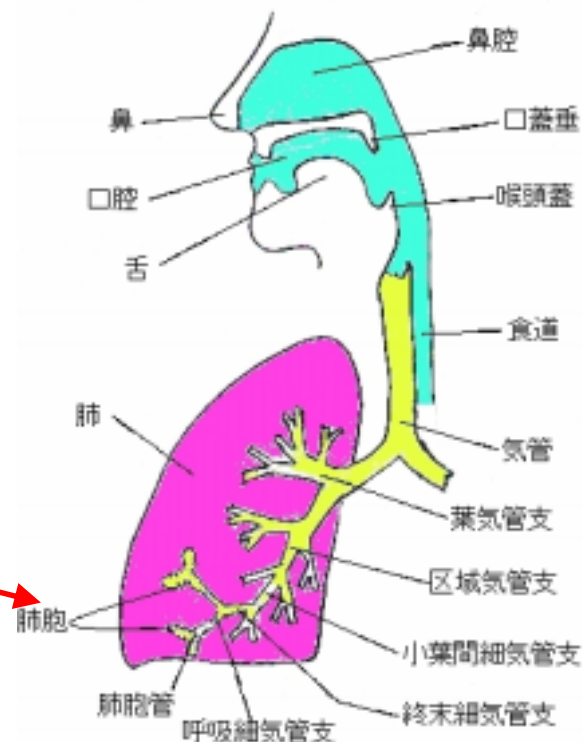
- 沿道で観測されるナノ粒子への自動車排出物の寄与が不明

⇒自動車排出微小粒子の実態把握が必要

ディーゼル排気粒子の粒径分布と沈着率



呼吸器系



自動車排出微小粒子測定上の問題

排出微小粒子の粒径分布

- 2種類の粒子が生成：**核モード (50nm以下)** / **集積モード粒子 (100nm前後)**
- 排出ガスの**希釈・サンプリング条件**により分布が大きく変化
 - 大気放出時の実態はどうか？
 - その実態を実験室的に再現する方法は？

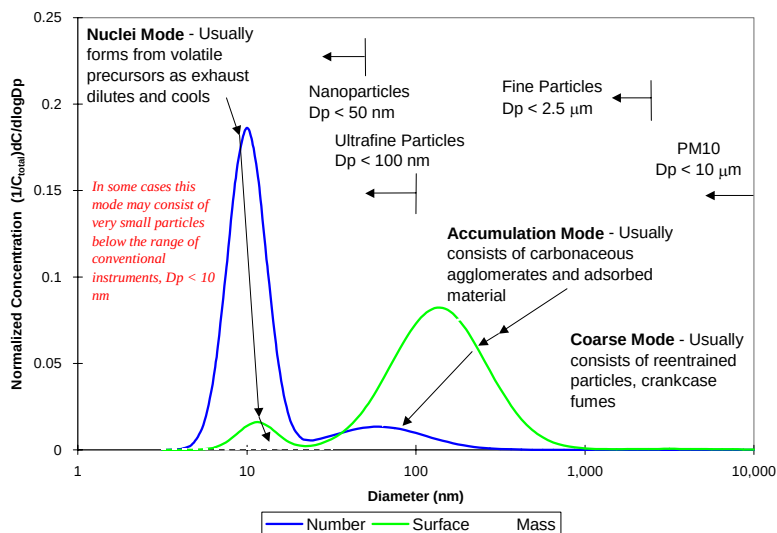
エンジン技術・燃料技術の排出レベルへの影響

- エンジン技術**の影響は？⇒後処理装置の有無、G車、D車
- 燃料性状**の影響は？⇒硫黄分の影響 (サルフェートが核生成？)

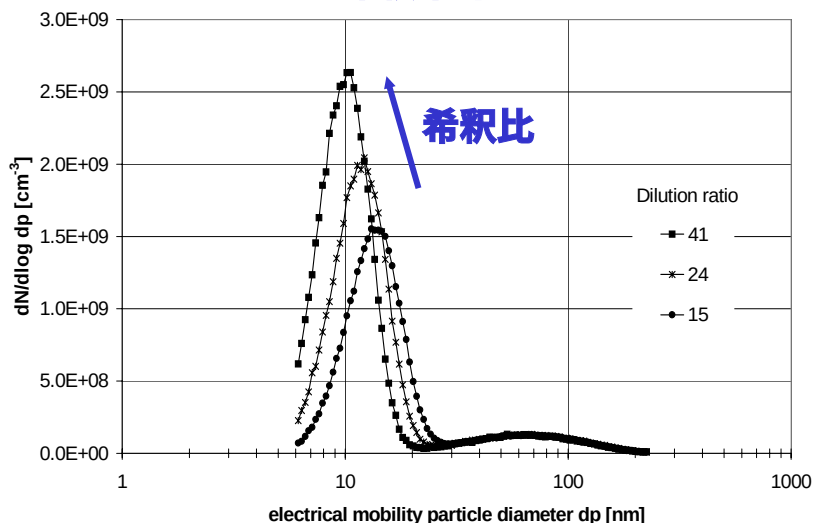
微小粒子測定機器の校正方法

- 測定機器の**標準校正方法**が未確立⇒器差・再現性の確認が必要

核モード／集積モード粒子の分布



希釈条件



現在まで実施した検討項目

- 排出微小粒子の粒径分布に関する検討
 - 大気放出時の実態把握 (追従走行試験)
 - 測定の再現性
 - 車種別微小粒子排出実態の把握
 - 核モード粒子の排出条件把握
 - 燃料硫黄分が微小粒子排出に及ぼす影響の把握
- C/D試験による車輦追従試験結果の再現検討
 - 排出ガス希釈装置 (PPFD) を用いた検討
- 車輦技術と燃料技術が微小粒子排出に及ぼす影響の把握
 - ディーゼルエンジンベンチ試験による検討
- 微小粒子測定装置の校正方法に関する検討
 - 同一粒子発生源を用いた各種測定装置のクロスチェック試験実施
 - SMPSのクロスチェック試験
 - ELPIのクロスチェック試験

大気放出時の実態把握 (追従走行試験)

- 実走行時の微小粒子排出の測定
 - 先行する**試験車**の大気放出時の微小粒子を, 追従走行する**計測車**により測定 (JARIテストコース)



試験車両

A車：酸化触媒付DI車
(DI w DOC)



B車：SIDI車
(SIDI)



C車：DPF付DI車
(DI w DPF)



D車：DI車－基準車
(DI)



追従計測車

• 搭載装置

– 粒径分布測定装置

- SMPS 
 - モビリティ径分布
- ELPI 
 - 空力径分布

– 微小粒子測定装置

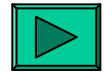
- CPC 
 - 総粒子数計数
- NanoMet 
 - DC: 活性表面積
 - PAS: 固体粒子量



サンプリング
プローブ

SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)

- SMPSはDMAで分級しCPCで計数する

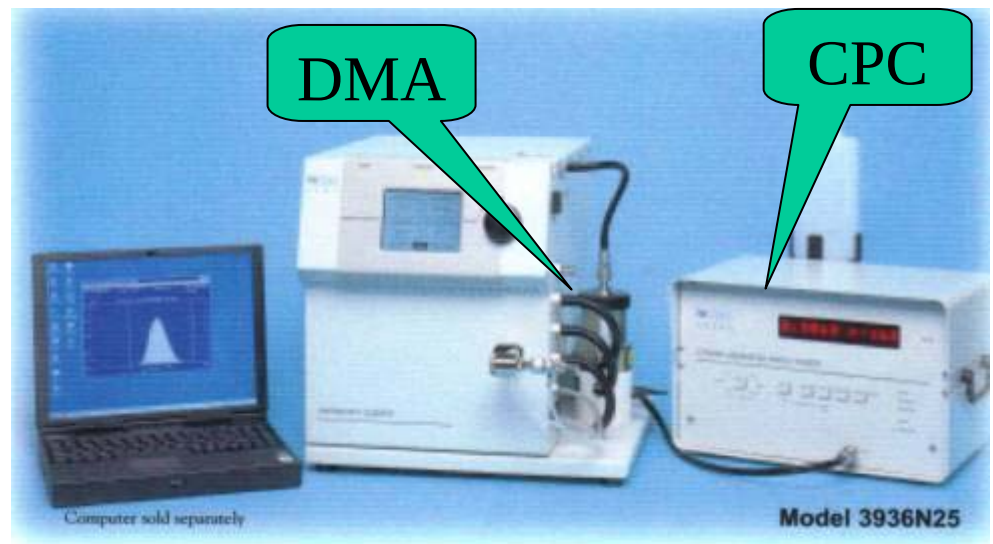


- 分級部: DMA (Differential Mobility Analyzer)

- DMAは電気移動度の差により特定の粒径範囲の粒子のみを分級・通過させ, CPCへ送る。

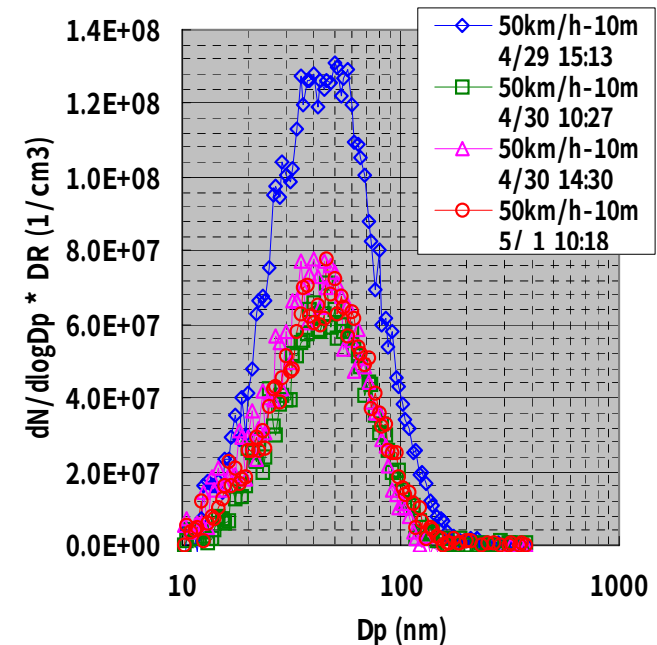
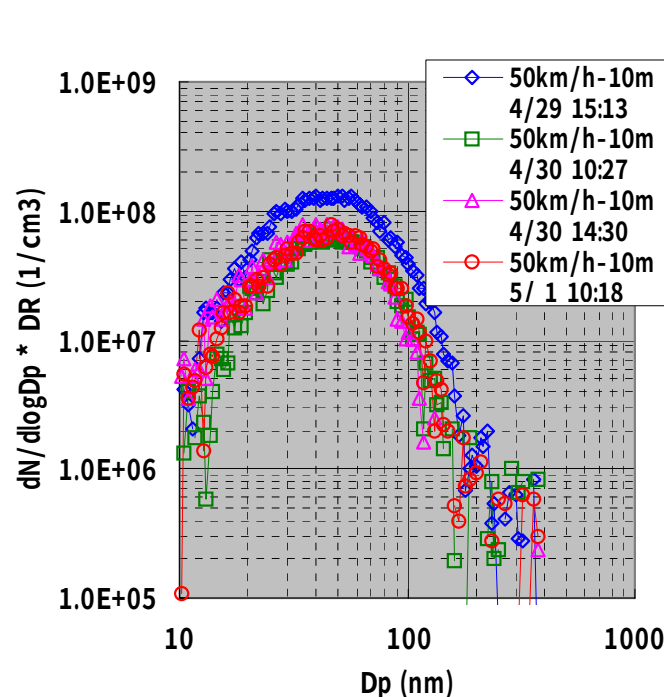
- 計数部: CPC (Condensation Particle Counter)

- CPCは粒子にアルコールを凝縮させて粒径を大きく揃えて光学的に計数する。



追従走行試験－測定の新現性

- 追従走行試験の測定新現性を同一条件の繰返し測定により確認
 - D車 (DI) で実施し、(集積モード粒子では) 分布形状はよく再現し、粒子数濃度も最大2倍程度のばらつきに収まり、屋外走行でも測定の新現性はそれ程悪くない。



追従試験結果－車種比較

• 粒径分布の比較 (希釈比補正後)

－ 粒子数濃度:

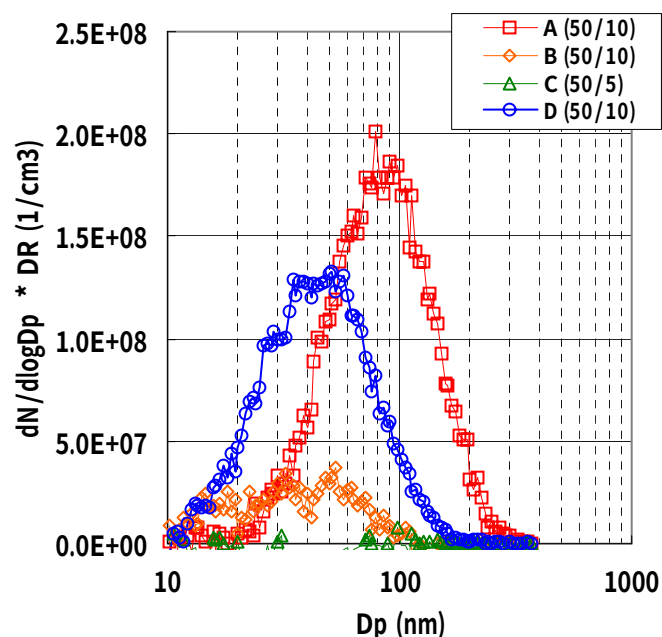
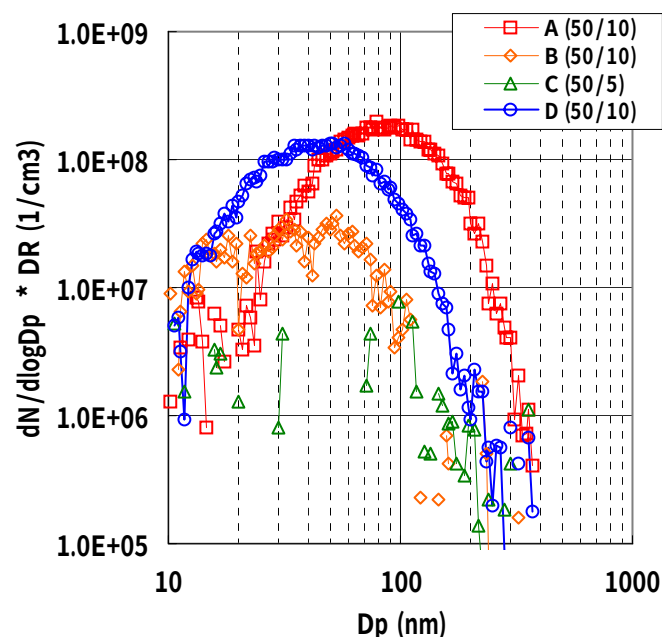
A(DI w DOC), D (DI) > B(SIDI) >> C (DI w DPF) ~ BG

－ Mode径: A (DI w DOC) > D (DI), B (SIDI)

⇒ (核モード粒子が生成しない条件下では)

DI, SIDI, DPF付DIの順の排出量という結果が得られた。

－ 欧州のC/D試験結果と同様



追従走行試験－核モード粒子排出条件

- **限界の運転条件** (50km/h－高回転) で核モード粒子生成を観測。

- － D車 (DI)

- 50km/h-2000rpm (4速) では集積モード粒子のみ
 - 50km/h-3150rpm (3速) では核モード粒子も生成

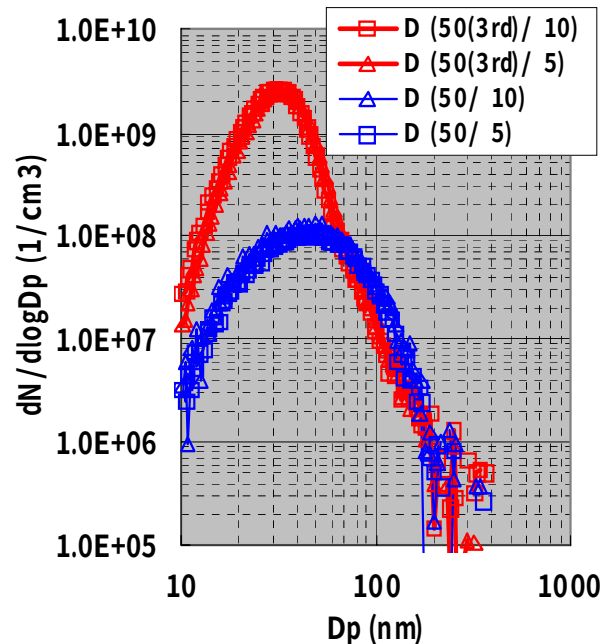
- － A車 (DI w DOC)

- 50km/h-1500rpm (Dレンジ) では集積モード粒子のみ
 - 50km/h-4000rpm (1速) では核モード粒子も生成

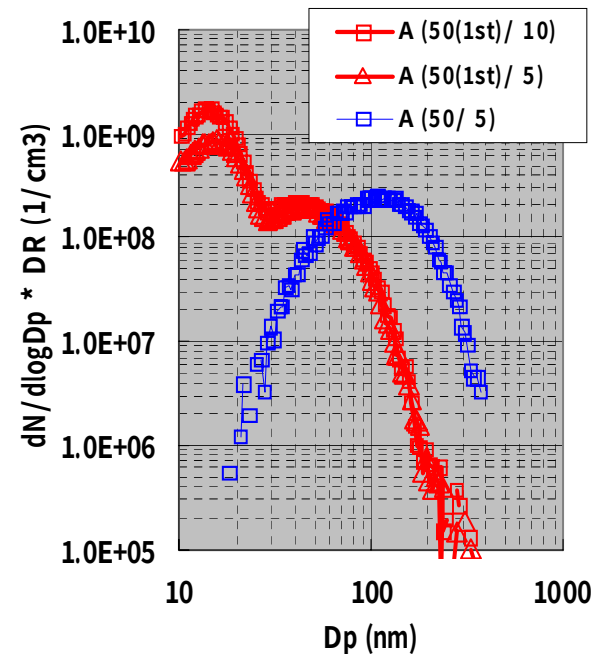
⇒核モード粒子は定常走行時には生成しにくい

(加減速時 (過渡条件) の実態把握が課題)

D車 (DI)

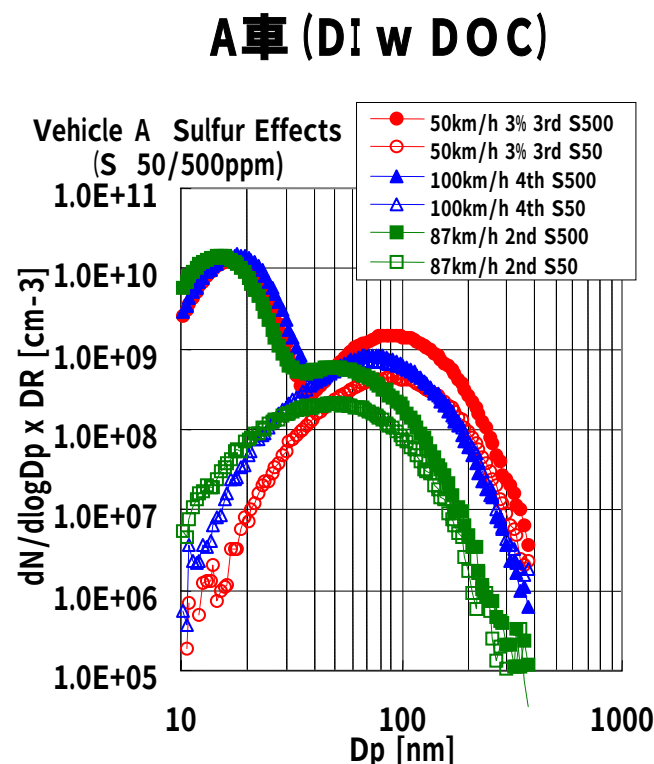
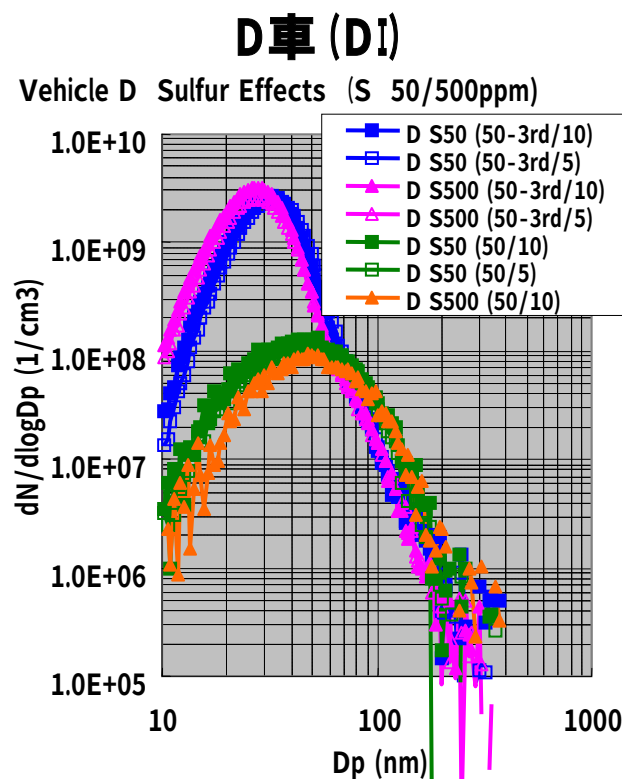


A車 (DI w DOC)



燃料硫黄分の影響

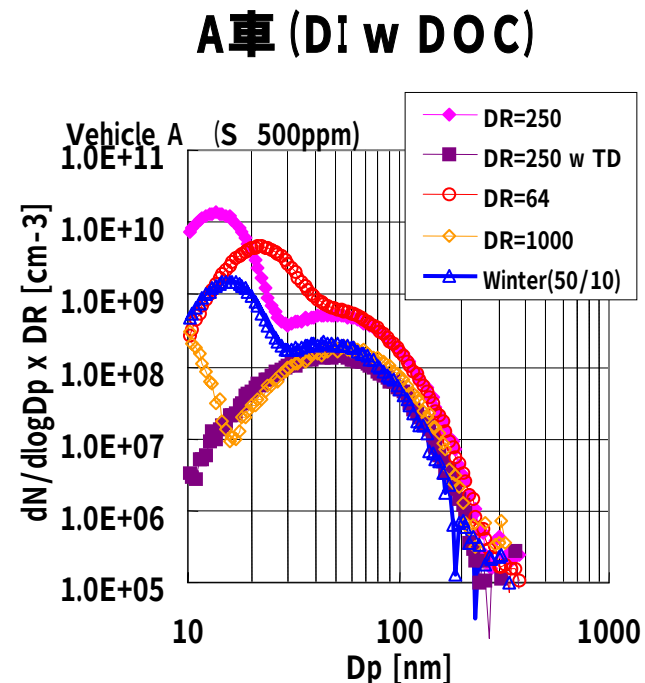
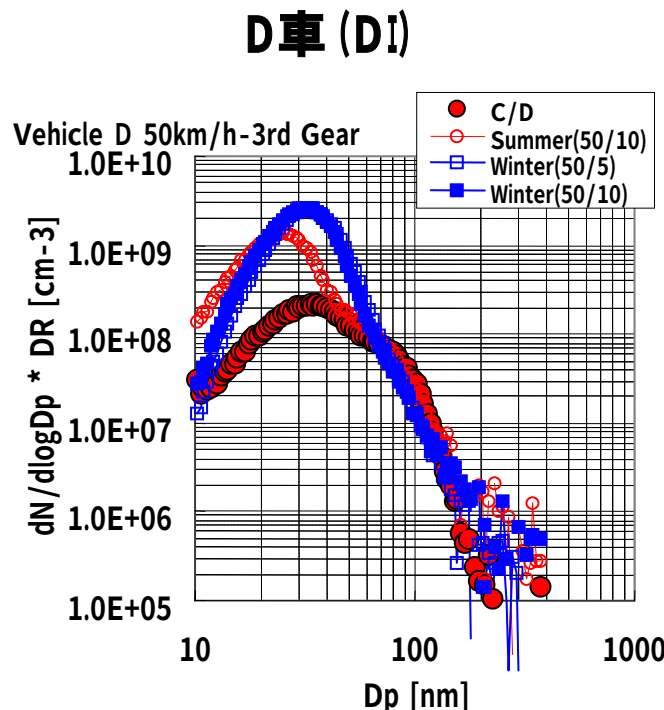
- **D車 (DI) 追従走行試験－硫黄分：50ppm/500ppmの比較**
 - 集積モード・核モード粒子共に大きな影響は認められず.
 - **A車 (DI w DOC) C/D試験－硫黄分：50ppm/500ppmの比較**
 - 500⇒50ppmとすると核モード粒子の生成が抑制される傾向がある.
- ⇒**A車では硫酸 (塩) 主成分の核モード粒子, D車ではそれ以外 (炭化水素?) 主成分の核モード粒子を示唆**



C/D試験での追従走行試験結果の再現

- JARI開発の分流希釈装置 (PPFD) を用いて再現を試行
 - D車 (DI)
 - 同程度のMode径を持つ核モード粒子を生成できたが、個数濃度は追従走行試験に比べ1桁程度低い
 - A車 (DI w DOC)
 - 個数濃度は追従試験に比べ数倍以上過大、Mode径はDR=250の場合概略等しい

⇒PPFDの改良 (1段希釈→2段希釈:PPFD II), 希釈条件の調整 (希釈比, 希釈温湿度) が必要



追従試験・C/D試験のまとめ

試験結果

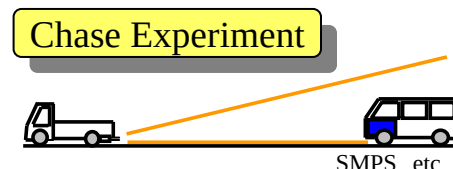
追従試験

集積モード粒子

- 試験範囲の希釈 (DRが数100以上) は単純な希釈であり, 粒子の (生成, 凝集等による) 個数変化は小さかった.
- 希釈温度 (気温) の影響は小さかった.

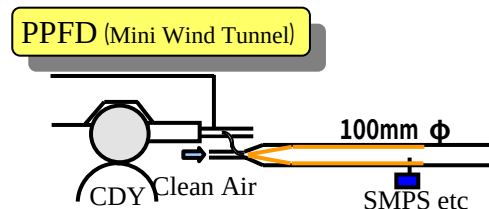
核モード粒子

- 通常より高回転での走行条件で核モード粒子が生成
- D車では硫黄分の影響が少なく, A車では硫黄分の低減により核モード粒子の生成が抑制された.



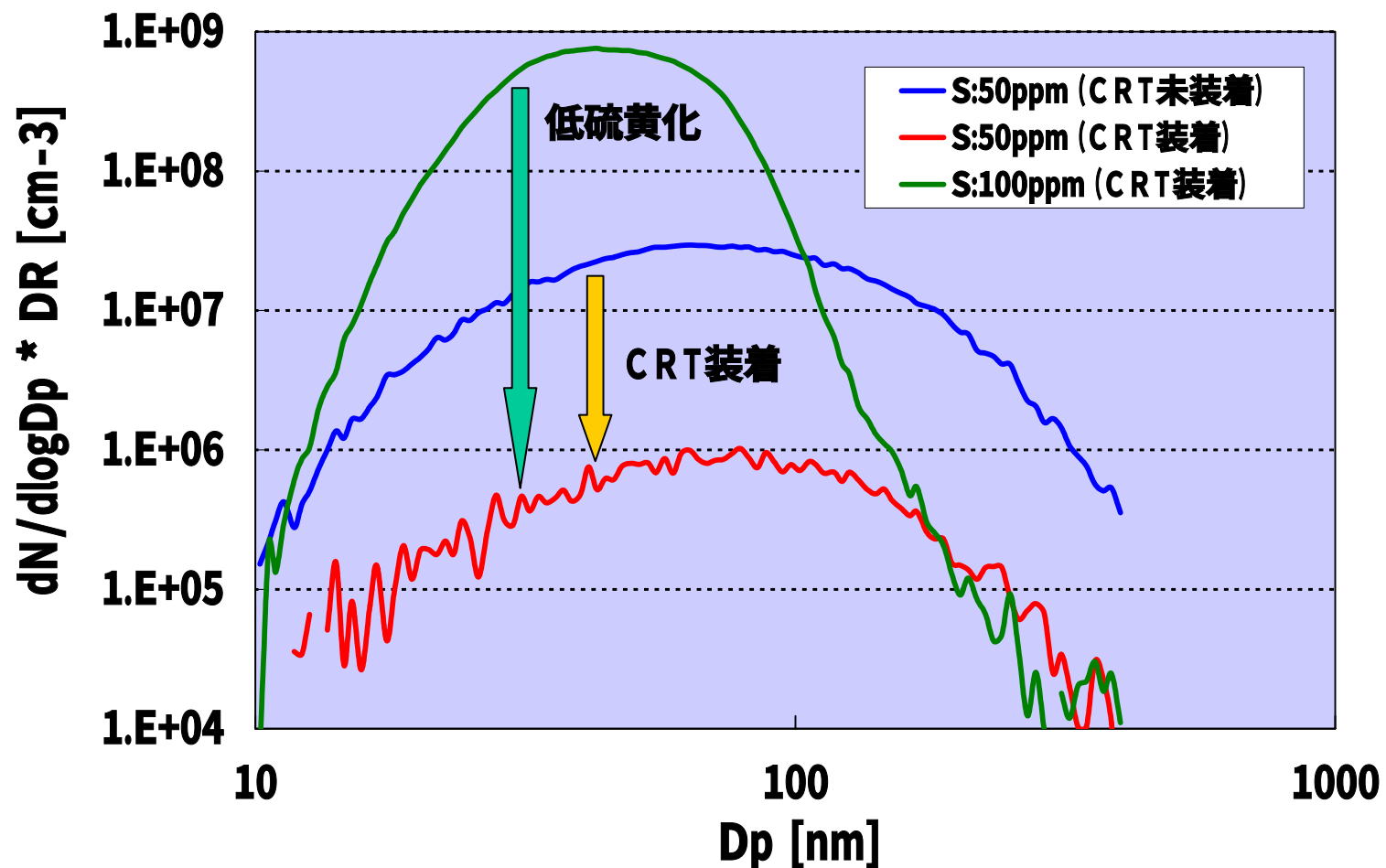
排出ガス分流希釈装置 (PPFD) を用いたC/D試験

- 集積モード粒子の粒径分布の再現はできている.
- 核モード粒子は, 希釈比への依存が大きく, 追従試験に近い分布形状も得られたが, 定量性には課題がある.



ディーゼルエンジンベンチ試験結果

- 排出ガス後処理装置 (CRT) 有無及び燃料低硫黄化の影響
⇒排出ガス後処理装置と燃料低硫黄化との組み合わせによりディーゼルエンジンから排出される微小粒子は低減できる可能性がある

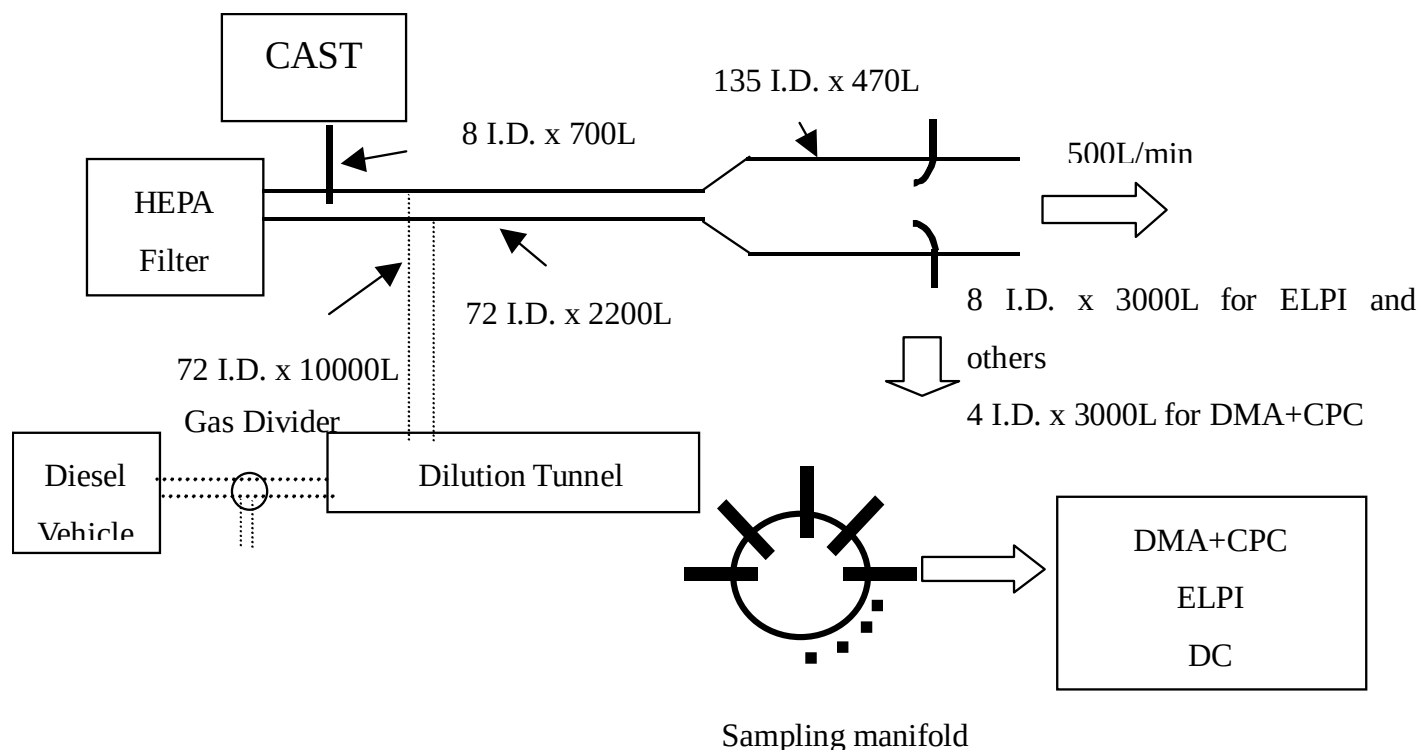


※希釈率及び運転条件は同一

微小粒子測定装置クロスチェック試験

- 微小粒子測定の代表的装置の精度を同一粒子発生源を同時に測定することにより把握する。

- 測定装置:
SMPS, ELPI, NanoMet, Thermodenuder
- 粒子発生源
 - CAST (Combustion Aerosol STandard) , ディーゼル車希釈排出ガス

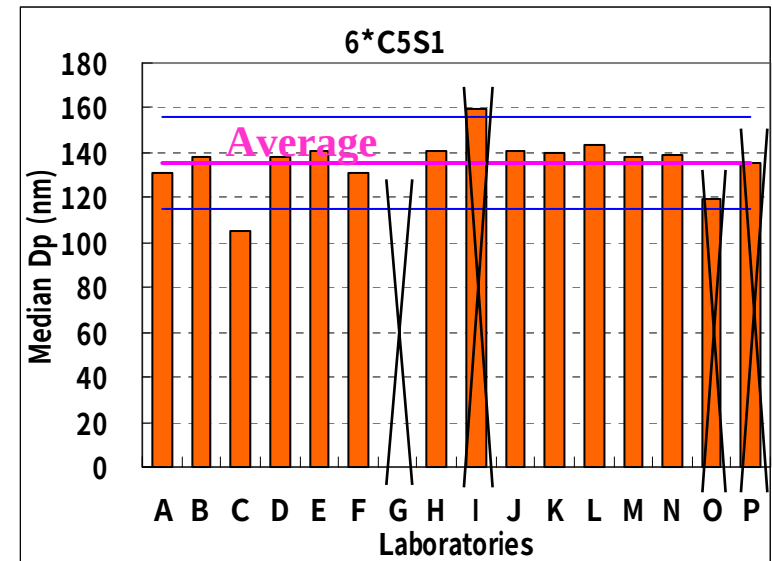
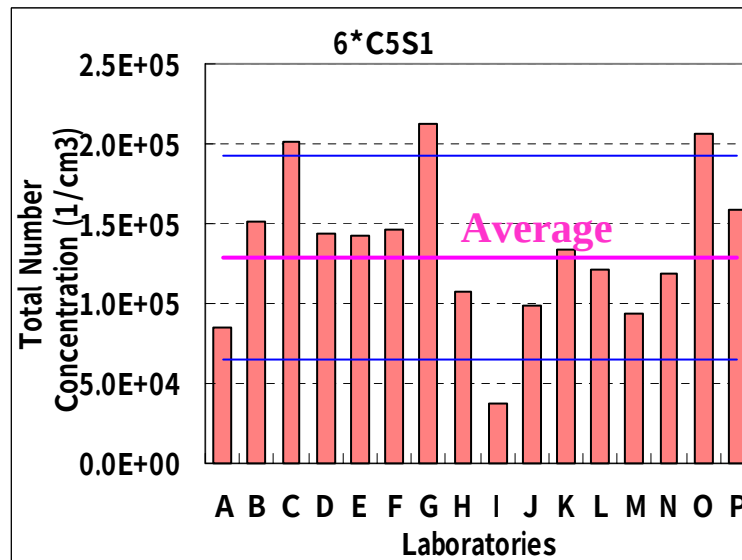


SMPSのクロスチェック結果

- 装置間で、**粒子径は概略一致**するが、**粒子数濃度の相違は大きい**。
 - 機種ハード・ソフトが異なると粒子数濃度の相違は大きい
⇒**機種を統一して比較する必要あり**

粒子数濃度COV 全体35%⇒同一仕様25%

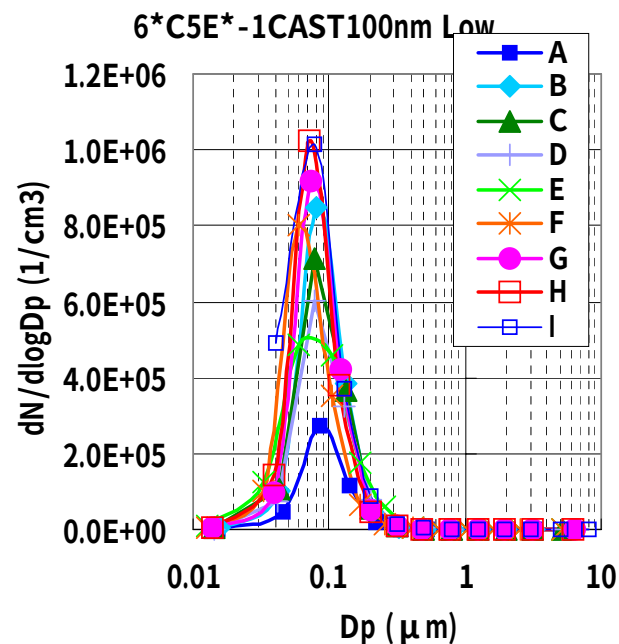
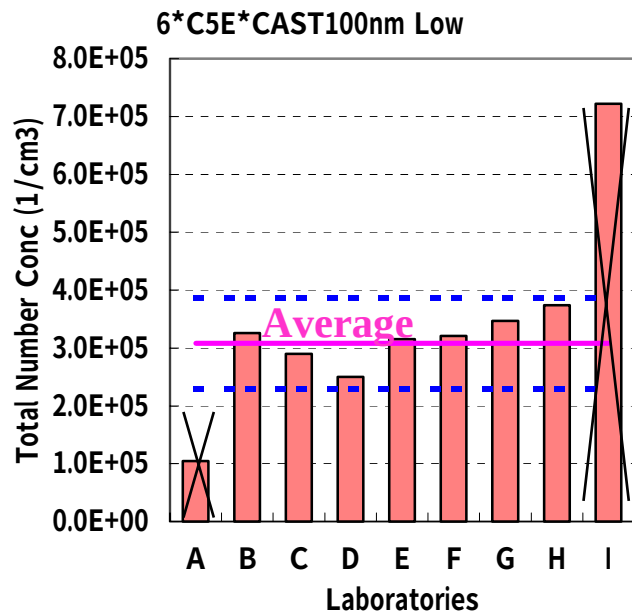
粒子径COV 全体9%⇒同一仕様8%



ELPIのクロスチェック結果

- 仕様の異なるもの (フィルターステージ無: 装置I) と不具合のもの (装置A) の測定値が乖離
⇒ 単一メーカーであり同一仕様の装置間では測定値の比較可能

粒子数濃度COV 全体40%⇒同一仕様13%



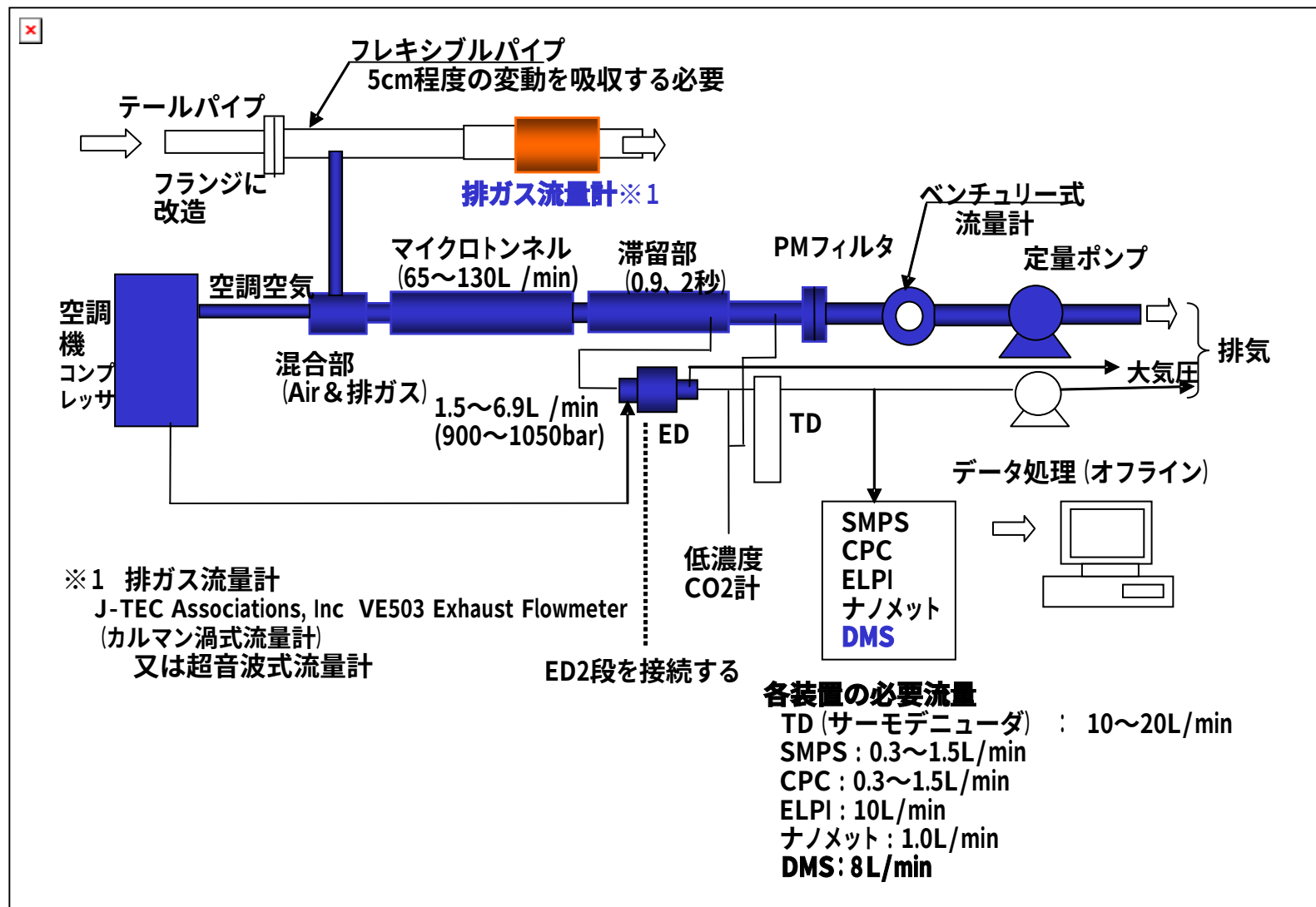
現在までの検討結果まとめ

- **排出微小粒子の粒径分布に関する検討**
 - **大気放出時の実態把握 (車輦追従走行試験)**
 - 繰り返し性は概ね良好
 - 微小粒子排出量はDI, SIDI, DPF付DIの順で少なかった
 - **燃料硫黄分の低減**により核モード粒子 (サルフェート由来?) の生成が抑制される傾向
 - **定常走行時**における核モード粒子の生成条件は限定的
- **C/D試験による車輦追従試験結果の再現検討**
 - **排出ガス分流希釈装置 (PPFD) の改良が必要**
- **車輦技術と燃料技術が微小粒子排出に及ぼす影響の把握**
 - **ディーゼルエンジンベンチ試験による検討**
 - **排出ガス後処理装置 (CRT) 装着及び燃料の低硫黄化**により微小粒子は低減できる可能性がある
- **微小粒子測定装置の校正方法に関する検討**
 - **同一粒子発生源を用いた各種測定装置のクロスチェック試験実施**
 - SMPS、ELPIともに**メーカー・仕様を統一**してデータを比較する必要がある

今後の予定

- **過渡試験対応装置**の導入による過渡モード含めた希釈・サンプリング条件の検討と実態把握
 - PPFD II: **排ガス分流希釈サンプリング装置** 
 - マイクロトンネル技術の応用
 - 欧米の希釈サンプリング検討結果を参考
(CRC-E43, EU "Particulates")
 - **DMS: 高速粒径分布測定装置** 
 - **超音波排ガス流量計**

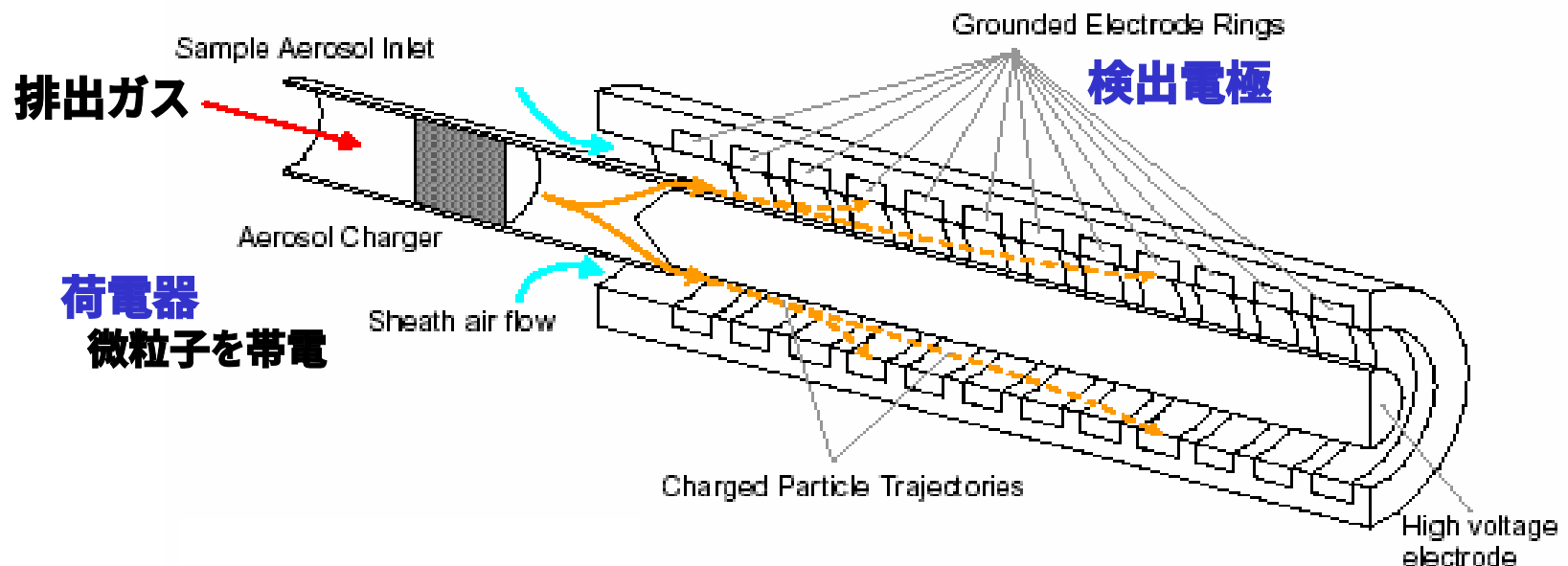
PPFD II による微小粒子の計測



- 荷電器で帯電した微小粒子は、強力な放射状電場のかかった分級カラムを通過し、その外壁の検出電極の配列に粒径別に衝突する
- 計測範囲5～1000nmを同時に**高速(～5Hz)**に計測可能



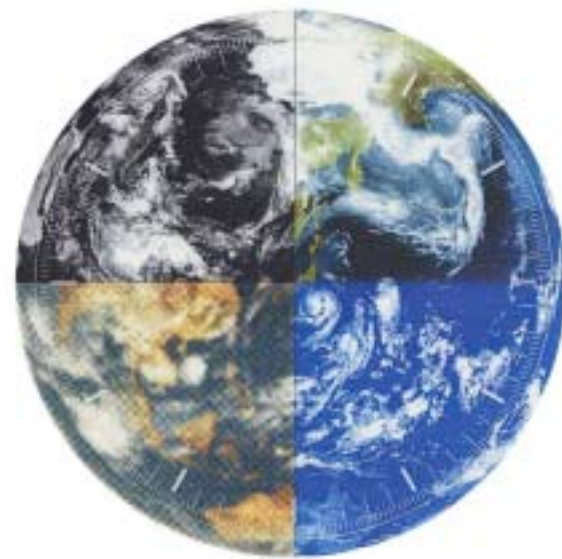
Differential Mobility Spectrometer.





よりよい大気をめざして 自動車と燃料のさらなる挑戦

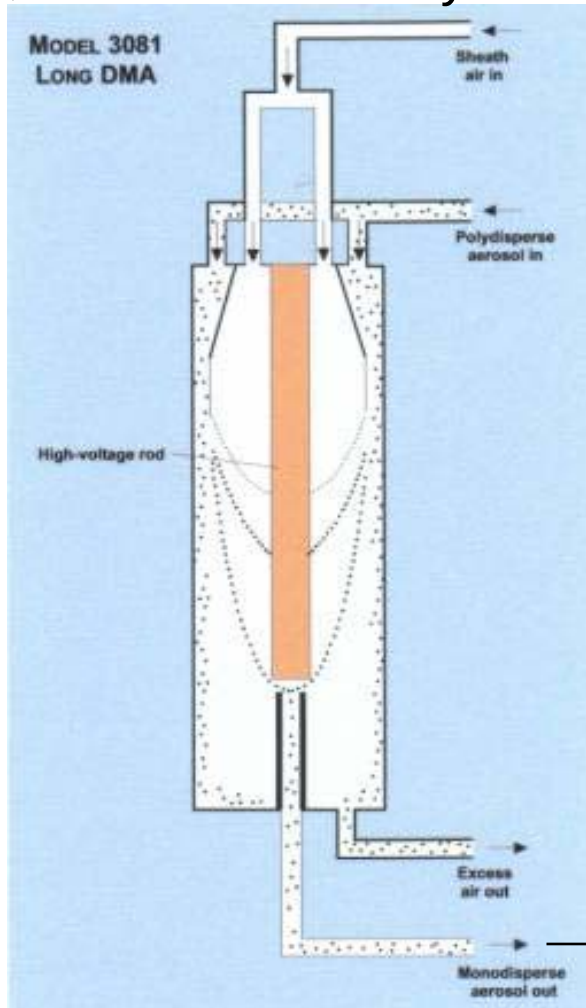
End of Presentation



SMPSの構造

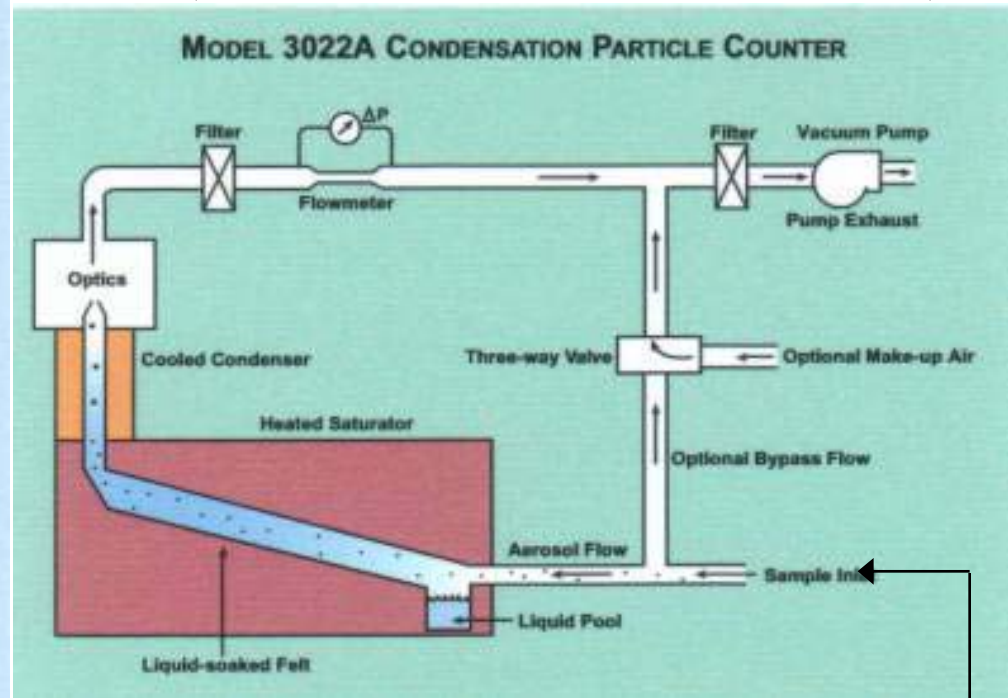
DMA

(Differential Mobility Analyzer)



CPC

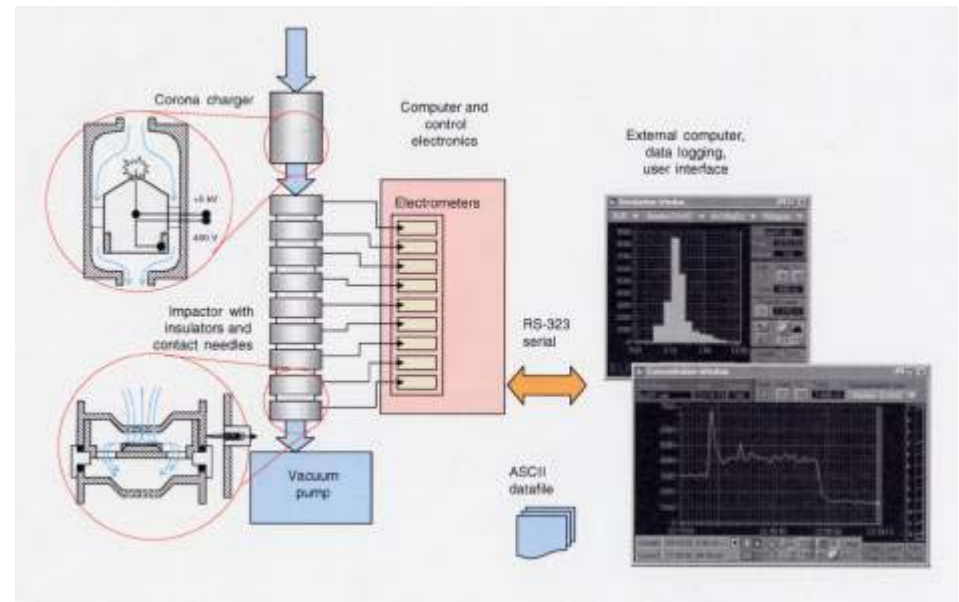
(Condensation Particle Counter)



Monodisperse aerosol

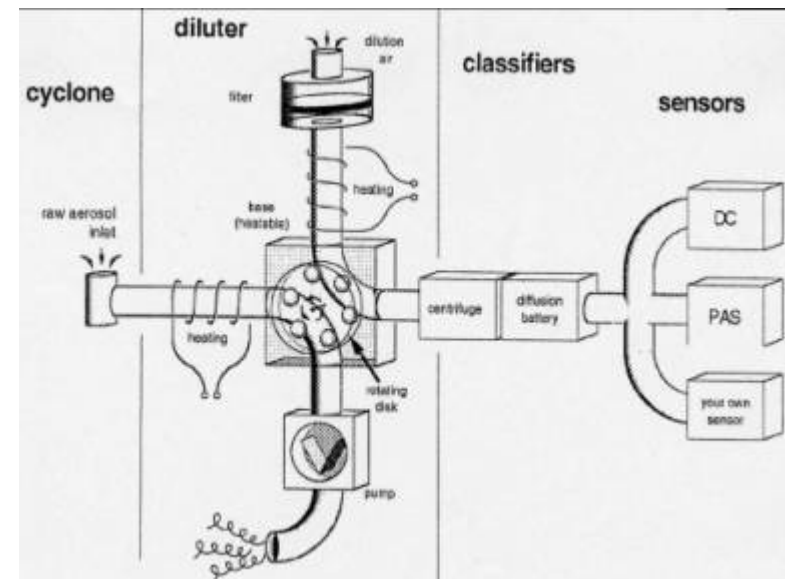
ELPI (Electrical Low Pressure Impactor)

- **ELPIはコロナ荷電器で粒子を帯電させ、カスケードインパクターにより分級し、捕集板に衝突する粒子による電流を検出して連続測定する。**
 - カスケード・インパクターは粒子を空力直径の違いにより分級し、大きな粒子程、上流の捕集プレートで捕捉される。



NanoMet (Nanoparticle Measurement Technique)

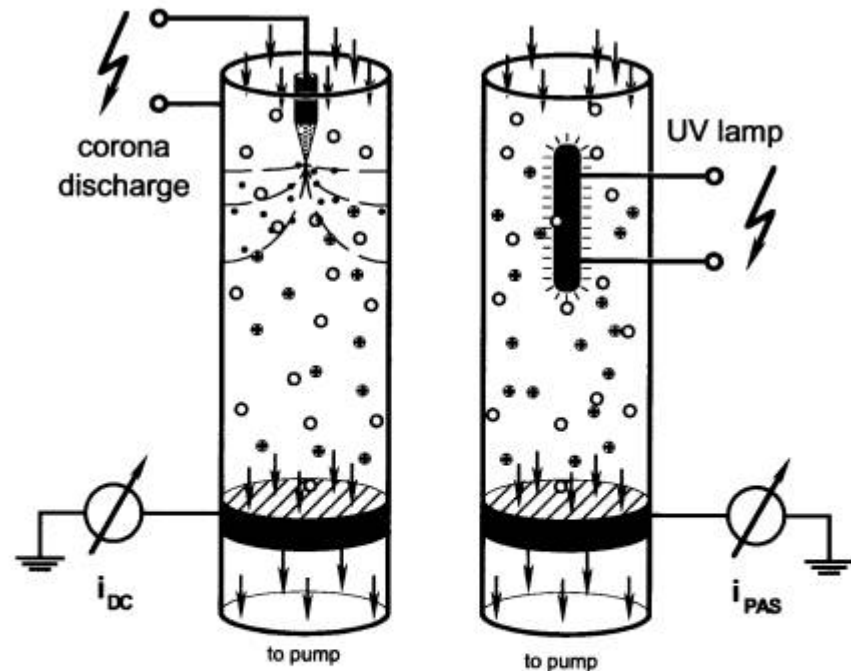
- NanoMetは希釈器とセンサー (DC, PAS) で構成される。
 - 希釈器: 回転ディスク式で加熱可能
 - DC (Diffusion Charger) : 全粒子の活性表面積を測定
 - PAS (Photoelectrical Aerosol Sensor) : 炭素質粒子のみの表面積を測定
 - DC/PASの比から粒子の物性に関する情報が得られる。



DCとPASの測定原理



- DC (Diffusion Charger)
 - コロナ放電の陽イオンにより粒子を帯電する
- PAS (Photoelectrical Aerosol Sensor)
 - UVランプの光電効果により粒子を帯電する



$$i_{DC} \propto \sum S_{active}$$

$$i_{PAS} \propto \sum S_{active} \cdot \phi$$

i_{DC}, i_{PAS}
 S_{active}
 ϕ
 Σ

filter current of DC sensor / PAS
 active surface of a single particle
 material coefficient of the aerosol
 sum over all particles