

講演 3

電動化技術搭載乗用車からの PN 排出実態評価

環境研究部 研究員

松本 祐太



# 電動化技術搭載乗用車からの PN排出実態評価

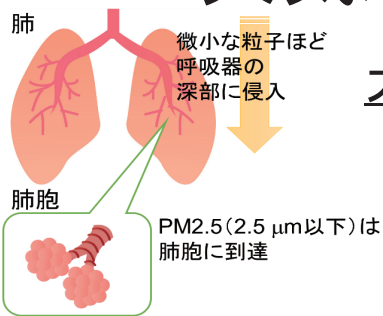
環境研究部 研究員 松本祐太

## 講演内容

1. 背景
2. 本検討における計測対象と目的
3. 試験条件
4. 計測結果
5. まとめと今後の展望

# 1. 背景

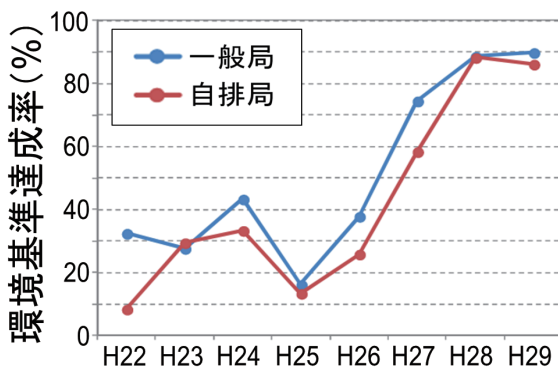
## 大気環境における粒子



### 大気環境における粒子

= 人体に悪影響を及ぼす有害物質

- 呼吸器疾患の増加
- より微小なものほど有害



### 大気中における 2.5 $\mu\text{m}$ 以下の粒子

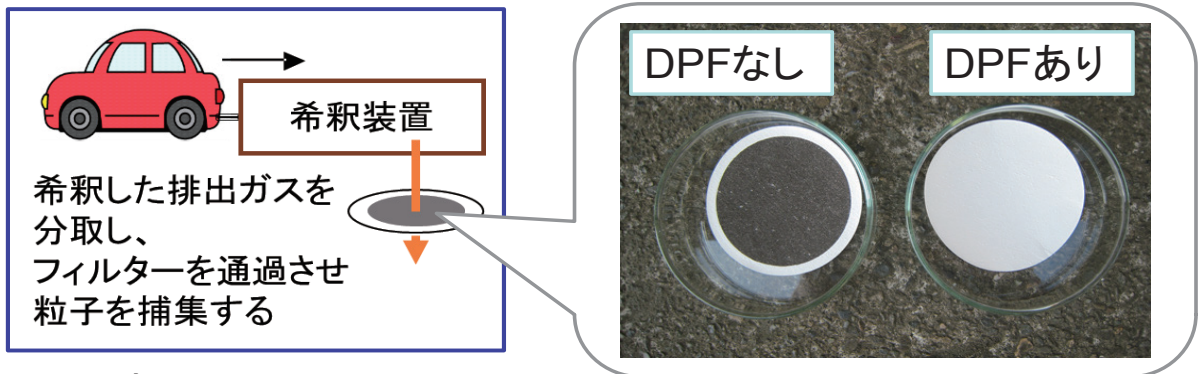
- 全体としては改善傾向
- 都市部などで局所的に高排出

更なる改善が望ましい

# 自動車排出ガスと粒子状物質

自動車も、PM2.5の排出源である

かつて、ディーゼル車排出ガスの「黒煙」として社会問題化  
⇒ 後処理装置”DPF”の普及により解消 ※ Diesel Particulate Filter

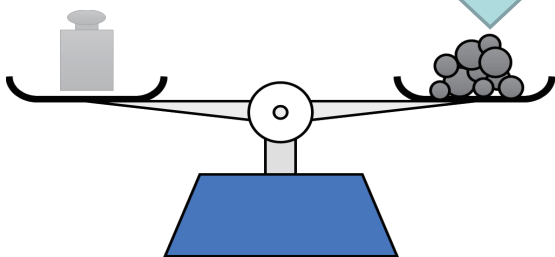
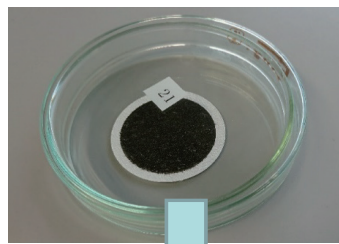


一方で...  
ガソリン車の排出ガスに含まれる粒子にも注目

## 自動車排出ガスに含まれる 粒子の計測

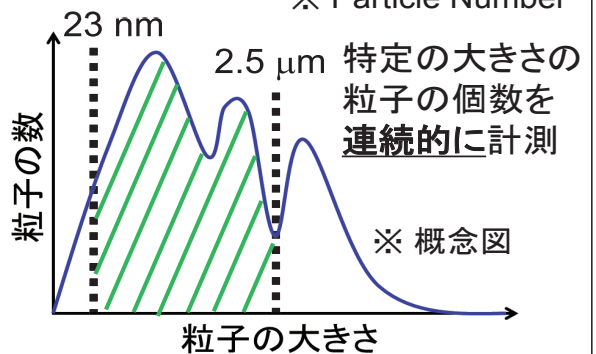
### 粒子重量測定 (PM)

所定の諸元の  
フィルターで  
捕集した粒子の  
重量を、  
走行終了後に計測



### 粒子個数計測 (PN)

※ Particle Number



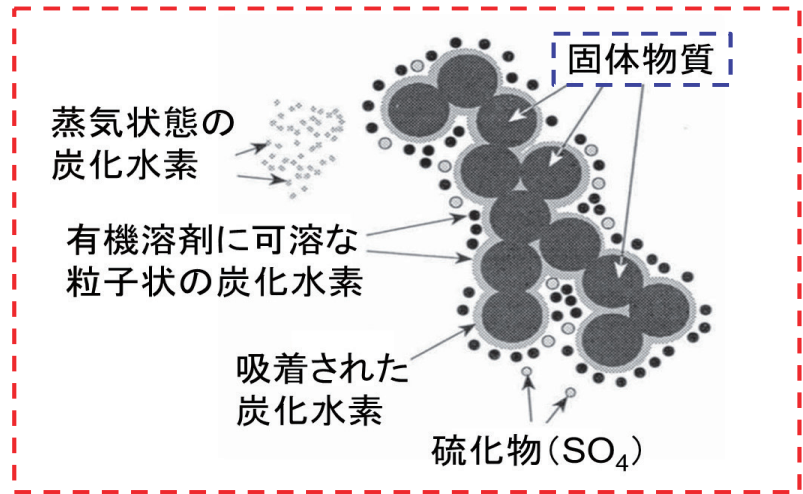
異なる特徴を持った  
2種類の計測法がある

# 各計測手法における計測対象

PM PN

**PM:** フィルターを用い、排出ガスから気体でない物質を捕集する

**PN:** 特定の大きさの固体物質（炭素の粒子、すす）のみを計測対象とする

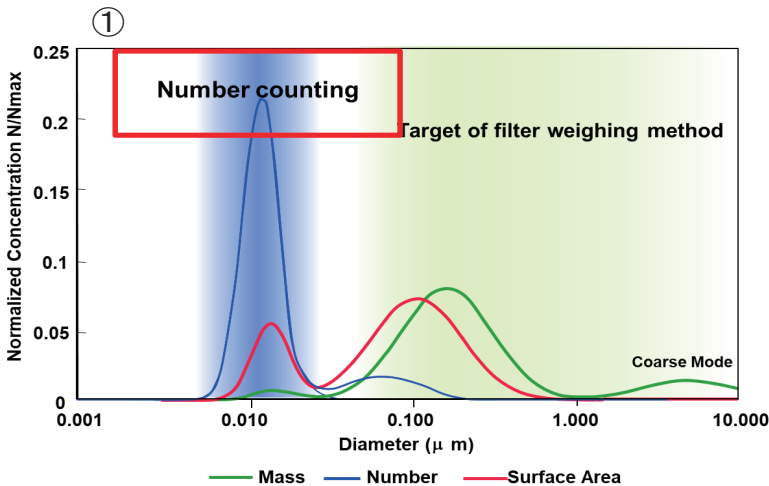


S. Nakamura, (2009).

※ 特定の大きさ以外の固体物質や、炭化水素は計測を妨害する

計測手法によって測定対象が異なる

# PN計測の特長



① 数十nm程度の微小な粒子に対して高感度（左図）

D. B. Kittelson (1998).

② リアルタイムでの計測が可能

③ 粒子排出レベルの変化に対して高感度

PN計測により、粒子排出レベルの変化をより明確に把握

## 2. 本検討における 計測対象と目的

## ガソリン車とPN

### ◆ガソリン車におけるPN

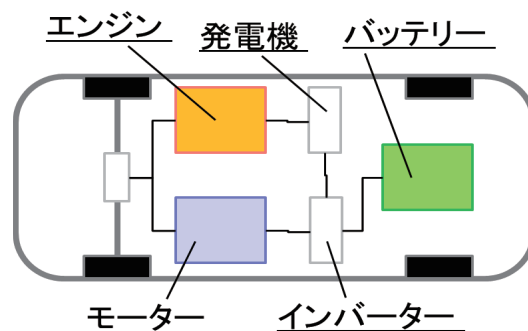
- 冷間始動において多く排出
- モード走行開始後、最初の加速時に特に多く排出



### ◆電動化技術搭載車 (ハイブリッド車)の特徴

- 流通量が継続して増加中
- エンジンとモーターを運転条件に応じて併用
- 特に低速走行においてモーターを重点的に使用

### ハイブリッド車概念図



- 最初の加速時の粒子排出は抑制される？
- エンジンの間欠運転で、冷間始動の影響が長期化？

# 本検討の目的

ハイブリッド車からの排出ガスにおける  
粒子状物質の実態を把握する



◆ 実車を用いたモード走行試験によるPN計測

## 3. 試験条件

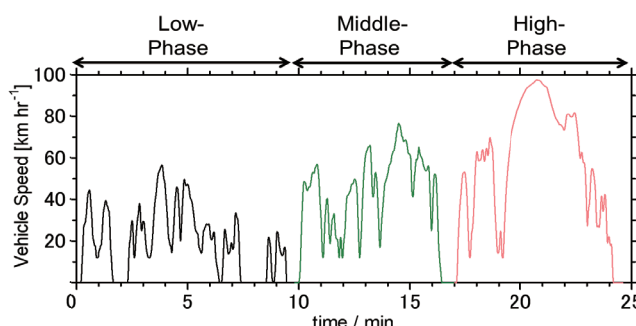


# 試験車両および試験条件

- エンジン車(平成20年製):  
基準車
  - 1.8 L, 無過給(ポート噴射)
  - 後処理: 三元触媒
- HEV A(平成24年製)
  - 1.8 L, 無過給(ポート噴射)
  - 21.5 A hr, モーター出力60 kW
  - スプリット方式ハイブリッド
  - 後処理: 三元触媒、排気再循環
- HEV B(平成27年製)
  - 2.5 L, 無過給(ポート・直噴併用)
  - 6.5 A hr, モーター出力105 kW
  - スプリット方式ハイブリッド
  - 後処理: 三元触媒、排気再循環

※ いずれもガソリンエンジン搭載車

## 本検討における試験条件

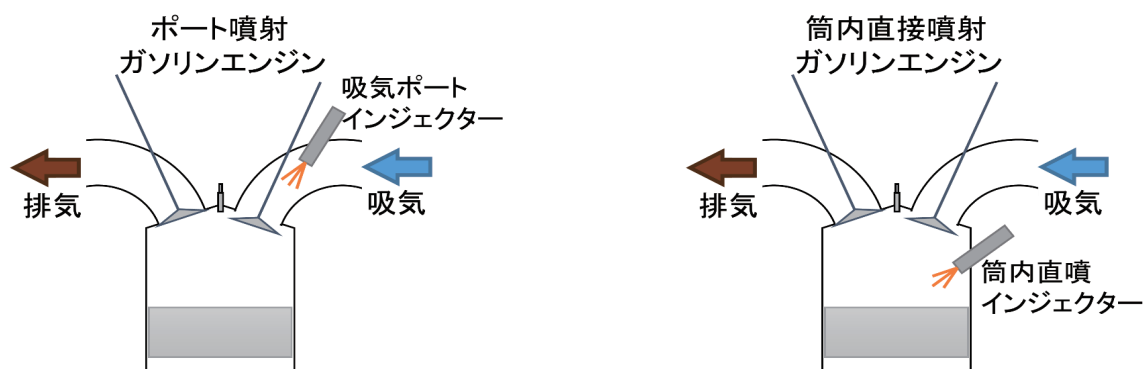


- 走行モード: WLTC (LMH)  
※世界統一試験サイクル、  
Worldwide harmonized Light duty Test Cycle
- 始動条件: 冷間始動

2019年度 講演会

# 燃料噴射方式の違いと粒子

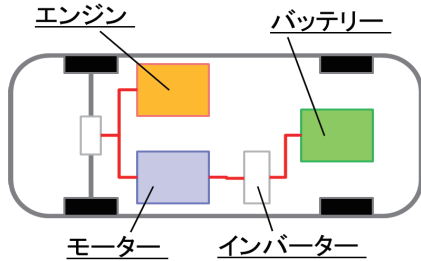
## ガソリンエンジンの燃料噴射方式



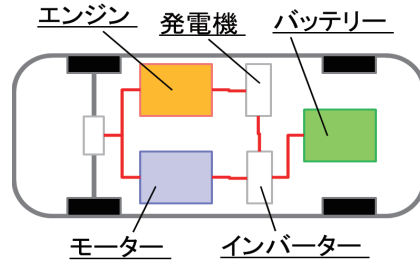
- 現在、直噴車の流通量が増加傾向にある
- 一方で、使用過程車としてはポート噴射車の方がいまだ主流

# ハイブリッド方式の違い

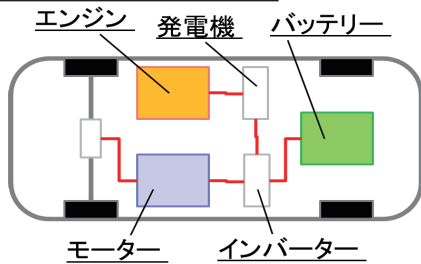
## ① パラレル方式



## ③ スプリット方式



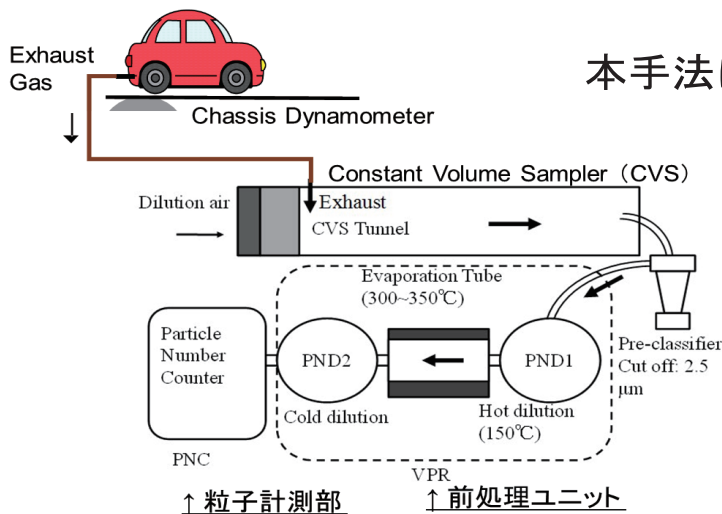
## ② シリーズ方式



- ① パラレル方式: エンジンとモーターの併用
- ② シリーズ方式: エンジンは発電のみに用い、モーターのみで駆動
- ③ スプリット方式: パラレル方式とシリーズ方式の併用

# PN計測における装置構成

## PN計測試験概念図(シャシダイナモ試験)



本手法は国連規則第83に準ずる

- シャシダイナモ上において、所定の速度パターンで車両を走行させる
- 得られた排出ガスをすべてCVSに導入
- CVSで一定流量にまで排出ガスを希釈し、妨害物質を除去したのち粒子計測装置に導入

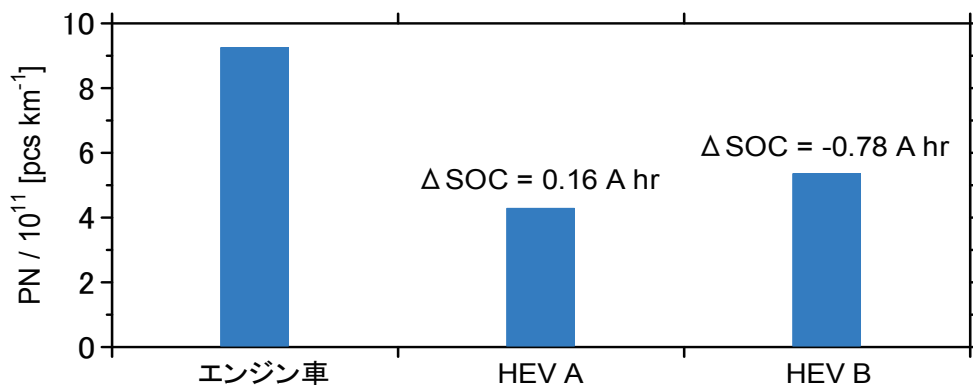
H. Yamada et al., (2015).

粒子数計測装置

## 4. 計測結果

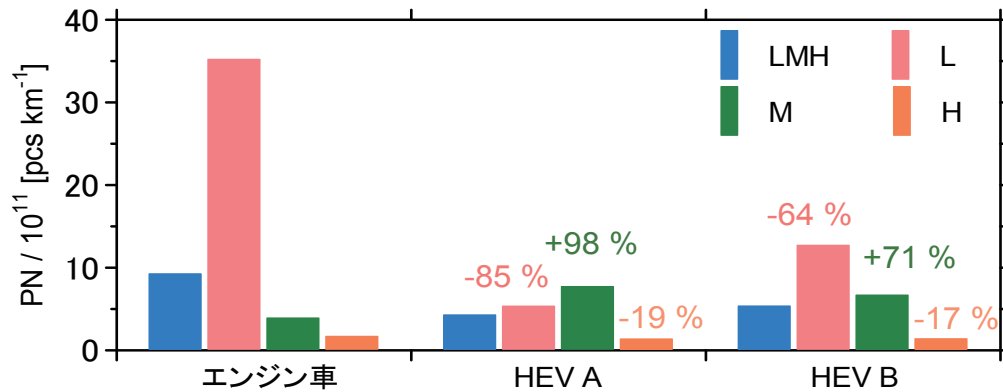
## モード成績

モード成績  $\frac{[\text{粒子個数濃度の平均値} (\text{pcs m}^{-3})] \times [\text{モード走行中の希釈ガス総量} (\text{m}^3)]}{[\text{モード走行距離} (\text{km})]}$   
算出方法:



- いずれも10<sup>11</sup> pcs km<sup>-1</sup>オーダーの排出PN
- エンジン車に対し、HEV Aは54 %、HEV Bは42 %少ない排出PN

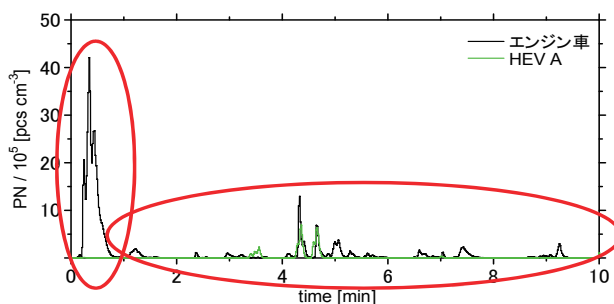
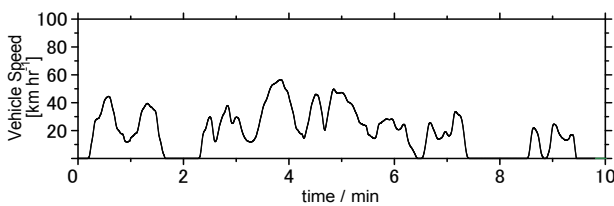
# フェーズごとの成績



➤ 2台のHEVは、エンジン車と比較して、

- L-PhaseにおいてはPNが少ない(HEV A:-85 % HEV B:-64 %)
- 特にHEV Aについては、L-PhaseのPNが最大ではない
- M-PhaseにおいてはPNが多い(HEV A:+98 % HEV B:+71 %)
- H-PhaseにおいてはPNがほぼ同等(HEV A:-19 % HEV B:-17 %)

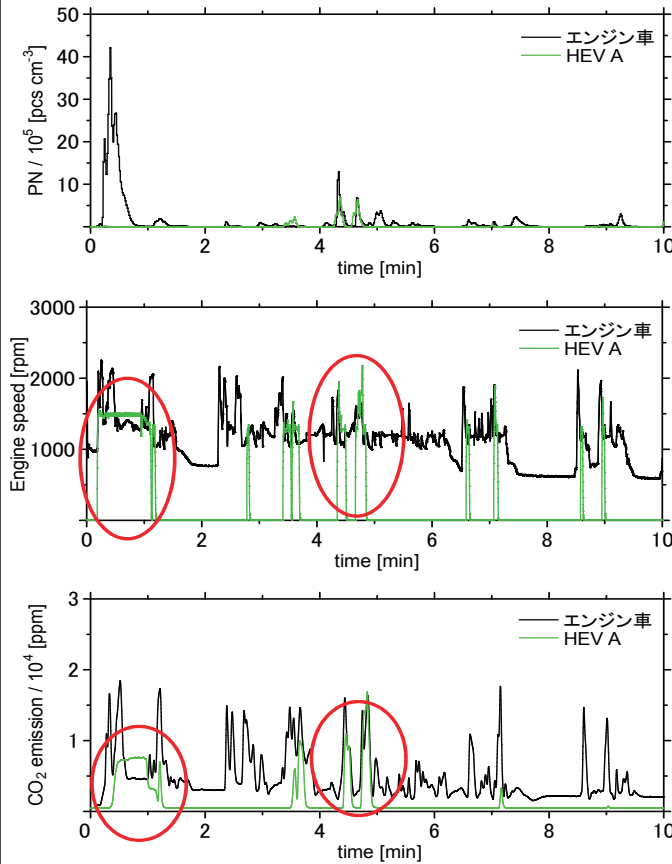
# L-PhaseにおけるPN時間波形 (エンジン車vsHEV A)



- 一山めの加速時に、エンジン車はPN最大
- 一山めの加速時に、HEV AはほとんどPNなし (ピーク値9100 pcs cm<sup>-3</sup>)
- HEV Aは、L-Phase全体を通して少ないPNが継続

一山めの加速時の排出、それ以降の排出をともに抑制

# 運転状態の比較 (エンジン車vs HEV A, L-Phase)

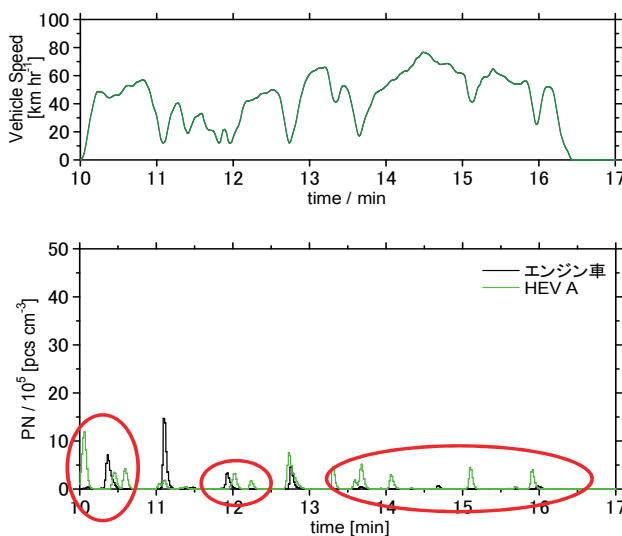


◆ HEV Aは、

- 主に速度回復時にエンジン作動 (エンジン停止時間: 79.5%)
- 一山めのエンジン回転数が矩形状に変化かつ、燃料消費量と相関するCO<sub>2</sub>量も低く推移しており、充電目的のエンジン稼働を示唆
- 4-5 minにおいては、エンジン車と同等の回転数とCO<sub>2</sub>量であり、動力としてのエンジン稼働を示唆

主としてシリーズ方式で走行し、燃料使用量も少ないためPNが大幅に抑制

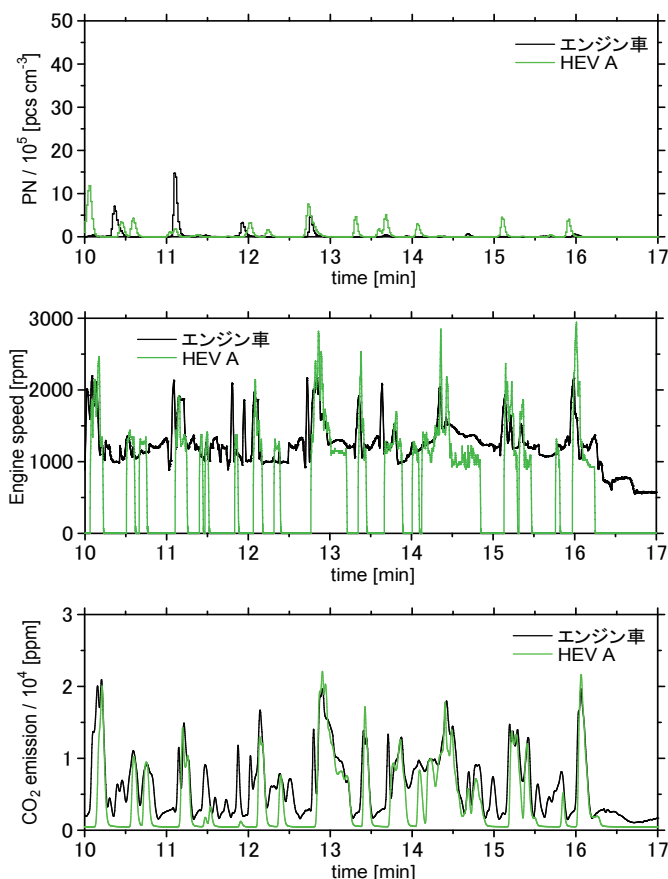
# M-PhaseにおけるPN時間波形 (エンジン車vsHEV A)



- エンジン車については、L-Phase中～後半と同等の排出PN
- HEV Aは、主に速度回復時に、比較的少ないもののエンジン車を上回るピークが多数確認された (10<sup>6</sup> pcs cm<sup>-3</sup>以下)

エンジン車では見られなかったPN排出挙動を確認

## 運転状態の比較 (エンジン車vs HEV A, M-Phase)

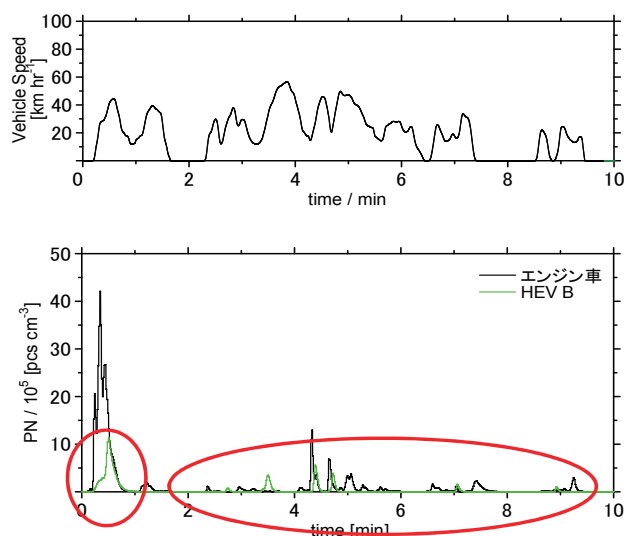


◆ HEV Aは、

- ほとんどすべての減速時にエンジン停止し、間欠運転 (エンジン停止時間: 55.1%)
- 速度回復時などにエンジンが稼働するが、回転数・CO<sub>2</sub>量ともにエンジン車と同等か、やや上回る傾向
- M-Phase開始時点において、冷却水温が40℃程度低い

間欠運転の影響により、エンジンが低温の条件が長期化し、PNがやや増大

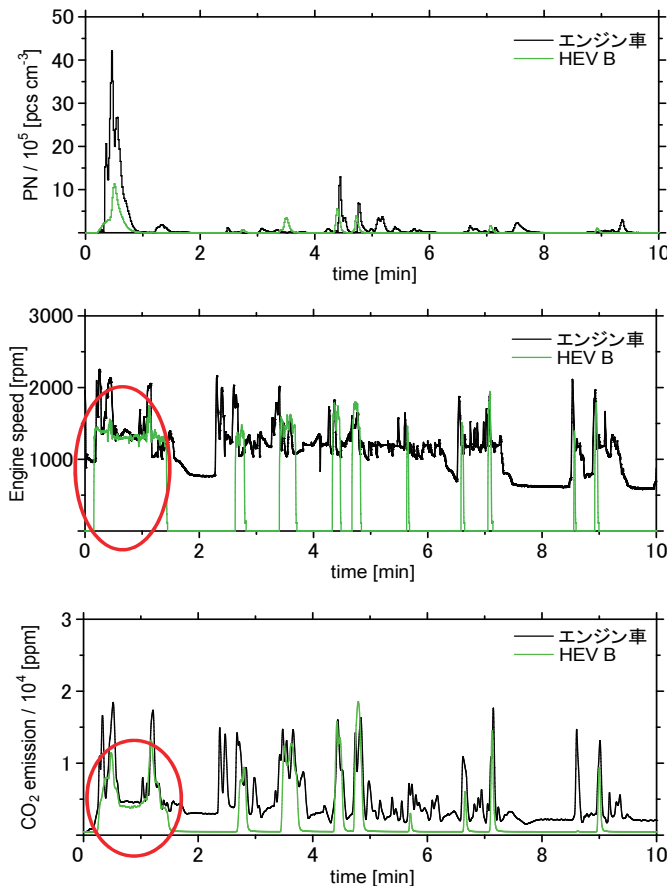
## L-PhaseにおけるPN時間波形 (エンジン車vsHEV B)



- 一山めの加速時に、エンジン車、HEV BともにPN最大だが、HEV Bのピークの立ち上がりがやや遅れている
- HEV Bは、L-Phase全体を通して少ないPNが継続

HEV Aと同様に、一山めの加速時の排出、それ以降の排出をともに抑制

# 運転状態の比較 (エンジン車vs HEV B, L-Phase)

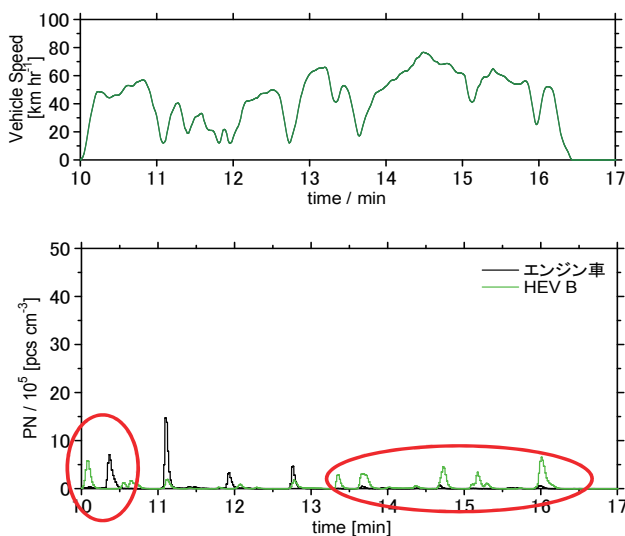


◆ HEV Bは、

- 主に速度回復時にエンジン作動 (エンジン停止時間: 75.3%)
- 一山めのエンジン回転数は矩形状だが、瞬間的に回転数が増大する箇所があり、かつ、CO<sub>2</sub>量も瞬間的に増大しており、充電目的だけではないエンジン稼働を示唆

静止からの始動に  
モーターを用い、  
速度回復時にエンジンを用いる  
ことで全体的にPN抑制

# M-PhaseにおけるPN時間波形 (エンジン車vsHEV B)



- HEV Bは、主に速度回復時に、比較的少ないもののエンジン車を上回るピークが多数確認された ( $10^6 \text{ pcs cm}^{-3}$ 以下)

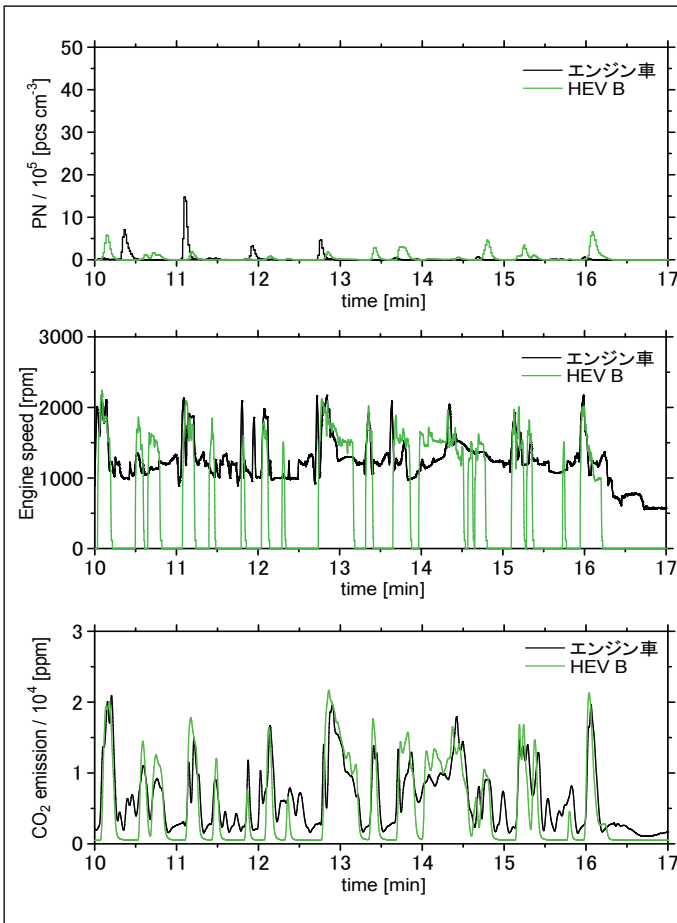
HEV Aと同様に、  
エンジン車では見られなかった  
PN排出挙動を確認

## 運転状態の比較 (エンジン車vs HEV B, M-Phase)

◆ HEV Aは、

- ほとんどすべての減速時にエンジン停止し、間欠運転 (エンジン停止時間: 57.2%)
- 速度回復時などにエンジンが稼働するが、回転数・CO<sub>2</sub>量ともにエンジン車とほぼ同等
- M-Phase開始時点において、冷却水温が30℃程度低い
- 直噴による燃料供給

間欠運転の影響に加え、  
燃料噴射方式の影響によってPNがやや増大



## 5. まとめと今後の展望




# 今回の検討のまとめ

- ◆ ハイブリッド方式、および燃料供給方式が異なる3車種を対象とし、PN計測を実施した
  - モード走行全体では、ハイブリッド車はエンジン車と比較して42-54 %PNが少なかった
  - フェーズごとの排出成績として、ハイブリッド車は
    - L-Phaseにおいて、静止からの始動や速度回復など、場面に応じてモーターとエンジンを使い分けることによって、エンジン車と比較して64-85 %PNを抑制
    - M-Phaseにおいて、L-Phaseにおける間欠運転に起因する暖機の遅れなどによって、エンジン車と比較して71-98 %PNが増大
    - H-Phaseにおいては、エンジン車とほとんど同等の排出量であった

# 今後のPN計測に関する取組

- ① 実車を用いたPN排出実態把握・・・今回
- ② 計測手法がPNに及ぼす影響の検討・・・今後併せて実施

- 
- モード走行と、リアルワールドにおける実路走行は同一条件でない可能性がある
  - モード走行におけるPN計測は法規レベルで確立されている一方、実路走行におけるPN計測は更なる検討が必要

現在市販されている車載式PN計

Ex.) PN-PEMS(凝縮式、荷電式)、PNセンサー(荷電式)

※ Portable Exhaust Measurement System

各計測機器の特性把握などを通じ、  
実路走行におけるPN計測手法を提案していきたい