

講演 4

重量貨物車のリアルワールドにおける環境性能評価
－ NOx センサベースの車載計測器（SEMS）の活用－

環境研究部 主任研究員

山本 敏朗

重量貨物車のリアルワールドにおける 環境性能評価 —NOxセンサベースの車載計測器(SEMS)の活用—

環境研究部 主任研究員 山本敏朗

講演内容

1. 研究の背景
2. 研究の目的
3. SEMSの構築
4. SEMS活用による環境性能評価
5. まとめ / 今後の展開

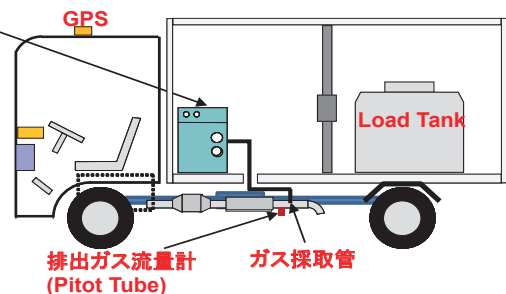
1. 研究の背景

- 排出ガス規制の強化にもかかわらず、実際の路上走行(リアルワールド)では排出ガスが低減していない車両が存在するとの懸念がある。
- このことから、中央環境審議会「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十一次報告)」にて、路上走行時に新車認証時の排出ガスレベルが維持されていることを確認する手法として、車載型排出ガス測定システム(PEMS: Portable Emissions Measurement System)を用いる方法について検討する必要がある旨が指摘された。
- 既に、欧米では重量車にPEMSを搭載して、種々の走行条件での排出ガスを測定し、それらのデータを用いて、リアルワールドにおける環境性能を評価する方法(Moving Averaging Window (MAW) 法 等)の検討が進んでいる。

1. 研究の背景

★欧米で開始されたPEMS試験とは・・・

車載型排出ガス分析装置(PEMS)



PEMSの課題

使用過程車試験の場合

設置場所の問題

100kg超のPEMSを荷台へ設置するとき、我が国ではバンボディが多いので、サンプリングプローブ等を通すために荷台に穴を開ける等の加工が必要となる。

商用車占有の問題

PEMSの取り付けおよび操作は専門の技術者が行うため、試験対象の商用車を一定期間借用する必要がある。これに伴って事業者は経済的な不利益を被ることになる。

簡易型PEMS(SEMS)の導入

SEMS : Sensor-based Emissions Measurement System

2. 研究の目的

デジタル式の運行記録計(デジタコ)に、**NOxセンサ信号**や吸入空気量、燃料噴射量等の**CAN信号**等を取り込むことにより、

新たに「**NOxセンサベースの車載計測器**」を構成し、

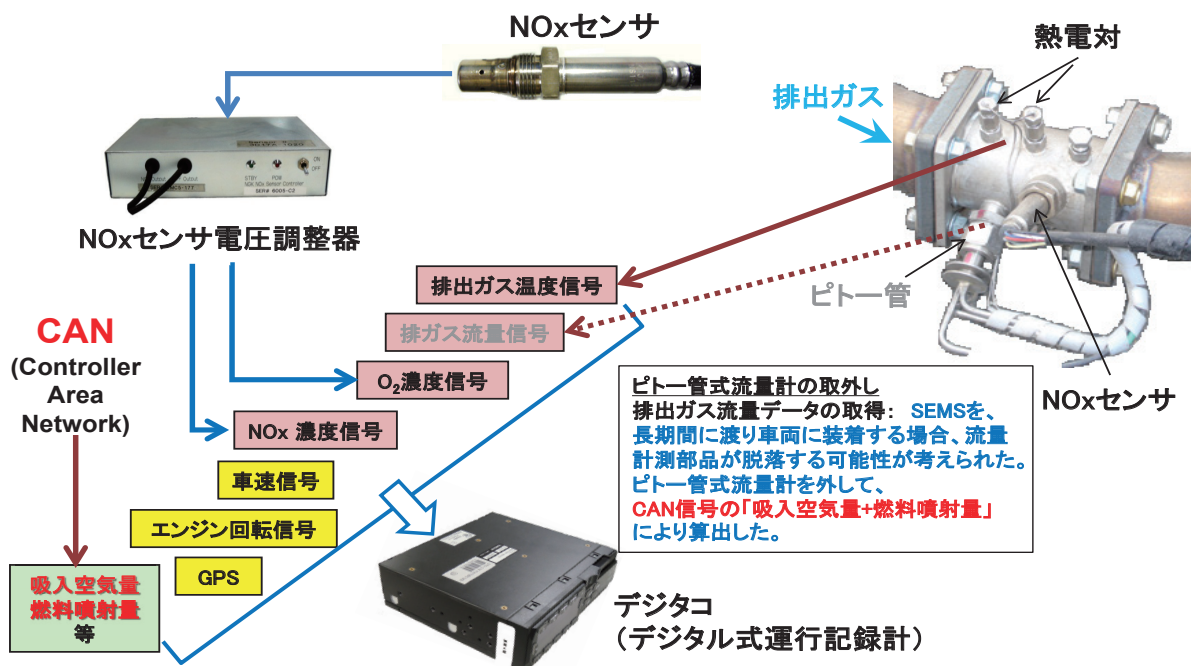
これを**簡易型PEMS (SEMS)**として用いて、リアルワールドにおける**環境性能を評価**する方法を構築する。

SEMS : Sensor-based Emissions Measurement System

本報告では、「NOxセンサベースの車載計測器 (SEMS)」の基本コンセプトを提示し、同装置のNOx濃度の測定性能、CO₂濃度の算出性能等を検証するとともに、その活用例を示す。

3. SEMSの構築

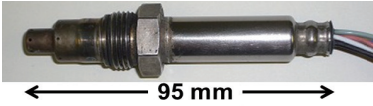
NOxセンサベースの車載計測器 (SEMS) の構成例



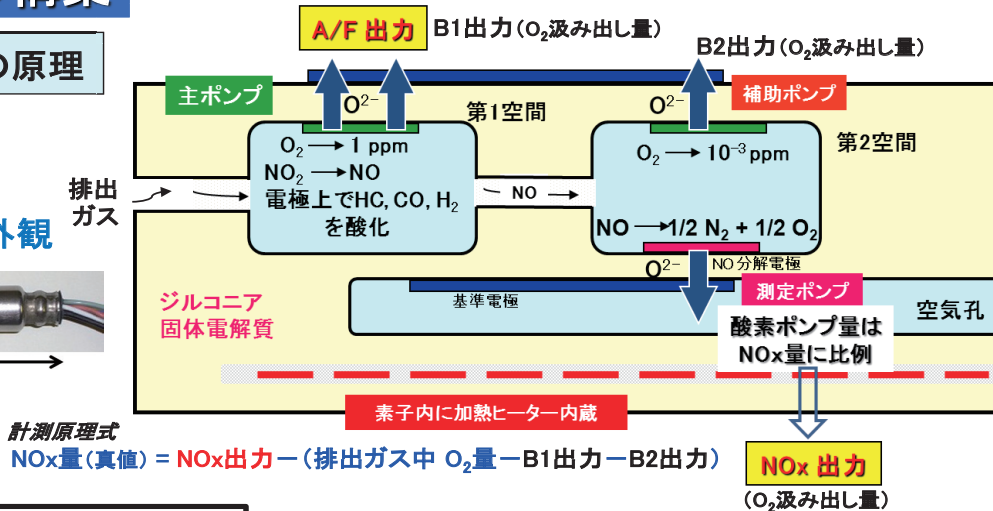
3. SEMSの構築

NOx センサの原理

NOx センサの外観



NOxセンサ素子の構成



測定原理	ZrO ₂ 素子のO ₂ ポンプ機能を利用
NOx 濃度出力	NO: 0~1500ppm 出力: 0.3~4.8V 応答性: <400m sec
O ₂ 濃度出力	O ₂ : 0%~O ₂ =18% 出力: 2.5~4.5V 応答性: <200m sec

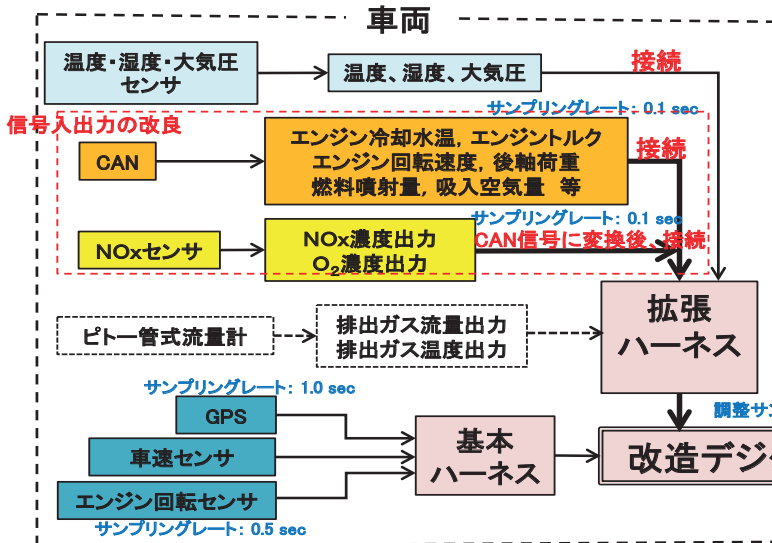
O₂を測定空間から汲み出し、NOx測定用ポンプでNOxをO₂とN₂に分解し、そのO₂分圧をO₂イオン伝導量として検出する。
 NO₂ はNOに分解して測定

CO₂ 濃度: NOx センサのO₂ 濃度出力を用いて算出

3. SEMSの構築

SEMSのデータ収集の流れ

信号入出力の改良: アナログ信号をCAN信号に変換し、車両CAN信号に統合



サーバーの構築

データ処理・分析・評価
 サーバー
 排出ガス量、燃料消費量等の演算、EGR装置・尿素SCRシステム等の作動状態評価
 路上走行時排出ガス評価

車両走行データ収集
 サーバー
 NOx排出量、燃料消費量、CO₂排出量、運行情報、位置情報 大気温・湿度 等
 を取得・集積

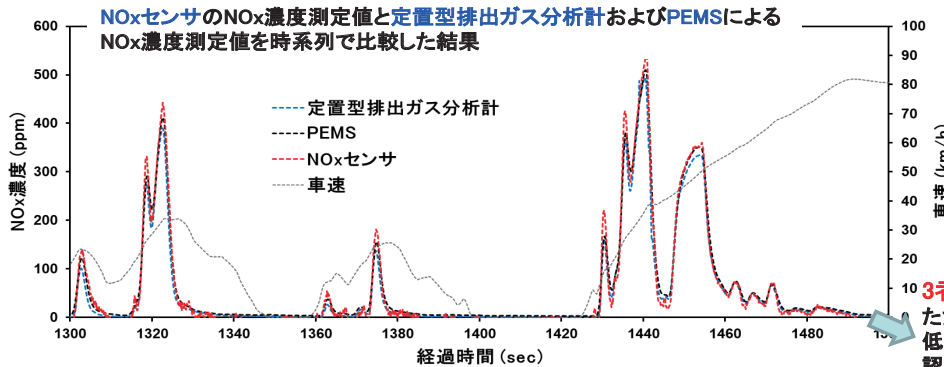
通信用ソフトウェアの構築

送信データ間隔: 1 sec, 60Isec 選択
 イベントトリガー送信
 手動送信

3. SEMSの構築

NOxセンサのNOx濃度測定性能

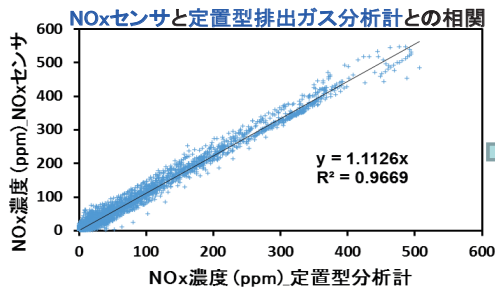
JE05モード試験結果(定置型分析計およびPEMSとの比較)



NOx濃度の測定性能の検証

NOxセンサ信号を用いて計測したNOx濃度と、定置型分析計による測定値あるいはPEMSによる測定値を比較し、測定の正確さや相関性を検討した。

3者の測定値はよく一致している。ただし、NOxセンサ濃度の50ppm以下の低濃度域がノージーになっている部分が認められ、NOxセンサの低濃度域の測定において、不安定な要因の存在が推察される。



NOxセンサと定置型排出ガス分析計の間には極めて強い相関性が認められる。

NOxセンサにより、実用レベルでのNOx濃度測定が可能

3. SEMSの構築

NOxセンサのO₂濃度測定値を用いたCO₂濃度算出方法

CO₂濃度の算出方法

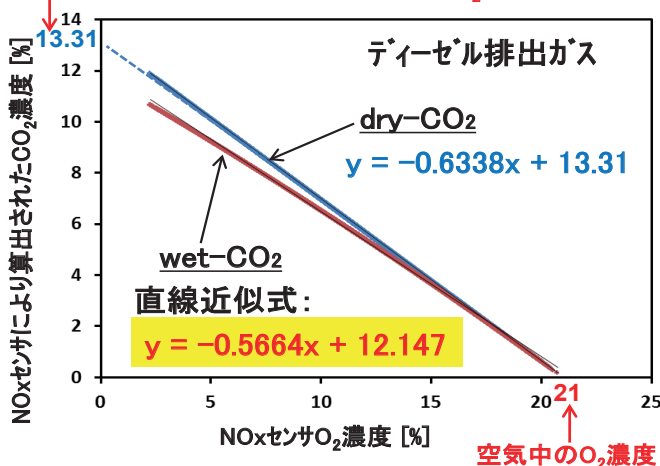
dry-O₂-CO₂関係式 + H₂Oモル分率 → wet-CO₂を算出
 $y = -0.6338x + 13.31$

直線近似式: (wet状態)
 $y = -0.5664x + 12.147$

ディーゼル排出ガス: 軽油 完全燃焼 → 次式が成立

$$\text{CO}_2\text{濃度}(\%) = 100 / (4.76 \cdot \lambda + \text{H/C} \cdot (1.19 \cdot \lambda + 0.25))$$

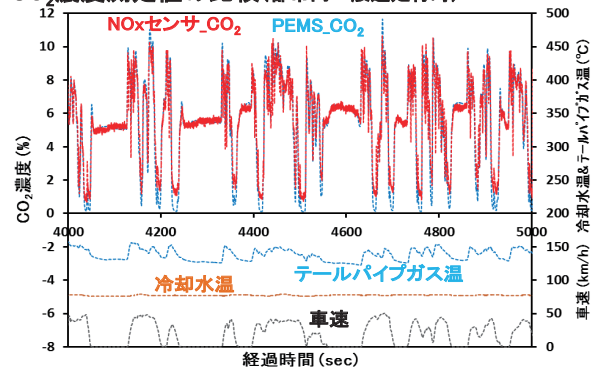
λ=1, H/C=1.91のときの排出ガス中のCO₂濃度



CO₂濃度の算出精度の検証

NOxセンサ信号を用いて算出したCO₂濃度とPEMSによる測定値を比較し、算出の正確さを検討した。

NOxセンサによるCO₂濃度の算出値とPEMSによるCO₂濃度測定値の比較(都市内一般道走行時)



両者は概ね一致している。

NOxセンサにより、実用レベルでのCO₂濃度算出が可能

3. SEMSの構築

路上走行時のNOx排出量の評価方法

- ★ 路上走行時の排出量を計算するために要求される**瞬時排出ガス流量**および**エンジン仕事量**を高精度に測定することは困難である。
そのため、エンジン仕事量 (1 kWh) 当たりのNOx排出量 (g/kWh) は、路上走行時の高精度な指標として使いにくい。

重量車のNOx排出量の評価指標として、排気管から排出された**CO₂排出量 (1 kg) 当たりのNOx排出量 (g)**を、**NOx排出率 (g/kg-CO₂)**と定義して用いる。

$$\text{NOx 排出率 (g/kg-CO}_2\text{)} = \text{NOx 排出量 (g/test)} / \text{CO}_2 \text{ 排出量 (kg/test)}$$

$$\text{NOx 排出率} = \frac{\sum \text{NOx 濃度} \times \text{排出ガス流量} \times \text{NOx 密度}}{\sum \text{CO}_2 \text{ 濃度} \times \text{排出ガス流量} \times \text{CO}_2 \text{ 密度}}$$

- ★ 上記の指標は、同一の瞬時排出ガス流量で分母と分子を算出するため、**瞬時排出ガス流量の測定誤差が相殺されて**、排出ガス流量の測定精度の影響を受けにくい利点がある。
- ★ NOx排出率 (g/kg-CO₂) の有効性を、シャシダイナモメータ試験および路上走行試験により検証した。

4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

実際に事業者が運用している車両にSEMSを装着し、通常運送業務走行での各種データを取得して、SEMSの実用性能およびリアルワールドにおける環境性能評価法を検討

実証試験で用いた運送事業用車両の主な諸元とSEMSで取得したデータ

試験車両の主要諸元	
車両カテゴリ	中型貨物車
車両重量 (kg)	4,330
最大積載量 (kg)	3,400
車両総重量 (kg)	7,840
エンジン型式	直列4気筒、インタークーラーホ
エンジン排気量 (L)	5
エンジン最高出力 (kW/rpm)	177/2400
エンジン最大トルク (Nm/rpm)	765/1600
排出ガス対策	DPF, EGR, 尿素SCR
適合排出ガス規制	平成28年規制



SEMS取得データ	
基本信号	車速 エンジン回転速度 GPS
CAN信号	燃料噴射量 エンジン冷却水温度 吸入空気量 エンジントルク エンジン回転速度 後軸荷重 EGRバルブ開度
アナログ信号 ↓変換 CAN信号	NOxセンサ NOx濃度出力 NOxセンサ O ₂ 濃度出力 NOxセンサスタンバイ信号 テールパイプ排出ガス温度 車両進行方向空気流動圧 アクセサリ電源信号 (計測開始トリガー)
シリアル信号	大気温度 大気湿度 大気圧力

- SEMS取得データに関する改良
- ・GPSの出力フォーマットを世界測地系に変更
 - ・排ガス流量信号の代替として、「吸入空気量信号+燃料噴射量信号」を用いた
 - ・積載時の後軸荷重信号と空積載時の後軸荷重信号の差分から積載重量を算出
 - ・アナログ信号をCAN信号に変換してCAN信号入りに統合した
↓
アンプ、信号ケーブル等の減少によりシステムの簡素化

4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

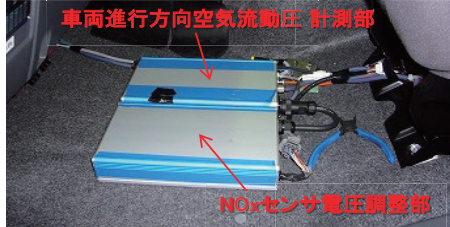
実証試験期間 平成30年12月3日～平成31年2月1日（運送事業走行：39日間）

SEMSの運送事業用車両への取付状況 取り付け前の状態に復帰できるように配線・取付を行っている
走行試験開始1週間後に、取り付け状態の確認を行った

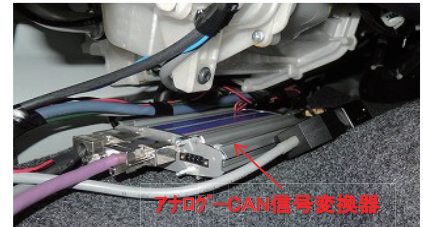
デジタコを取り付け状況



NOxセンサ等計測部の取り付け状況



アナログ-CAN信号変換器の取り付け状況



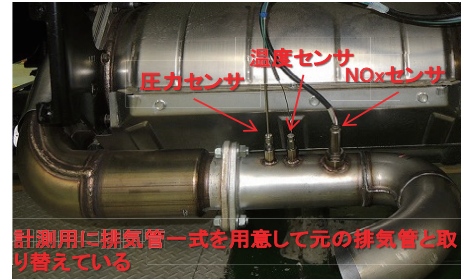
車両進行方向空気流動圧計測用ピトー管の取り付け状況



大気温度・大気湿度・大気圧センサの取り付け状況



NOxセンサ等の取り付け状況



4. SEMS活用による環境性能評価

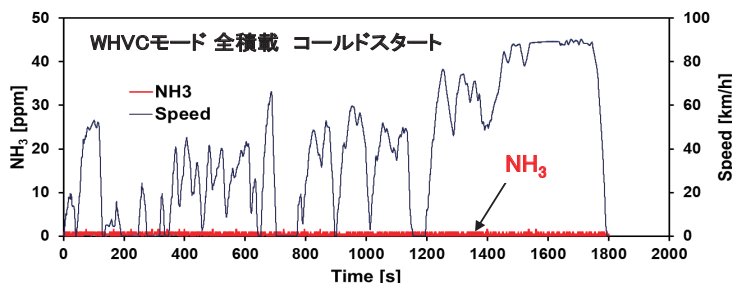
運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

シャシダイナモメータ試験によるデータ検証

走行時におけるNH₃スリップの確認

NOxセンサには、NH₃をNOxとして誤検知するNH₃干渉の問題が存在する。

走行時における排出ガス中のNH₃濃度をフーリエ変換赤外分光法 (FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ガス分析計により測定した。

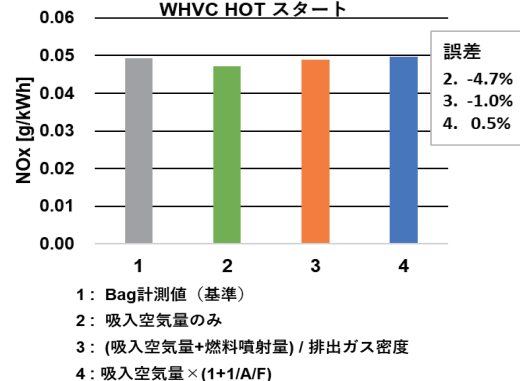


走行時にNH₃の排出は認められず、本試験車両においては、NOxセンサ使用時のNH₃の干渉について考慮しなくてもよいと考えられた。

CAN信号から算出した排出ガス流量の正確さの検証

実証試験において、排出ガス流量は、CAN信号を用いて、「(吸入空気量+燃料噴射量)/排出ガス密度」から算出した。

CVSバッグ法による計測値を真値として各種の方法の測定精度を検証した結果
WHVC HOT スタート



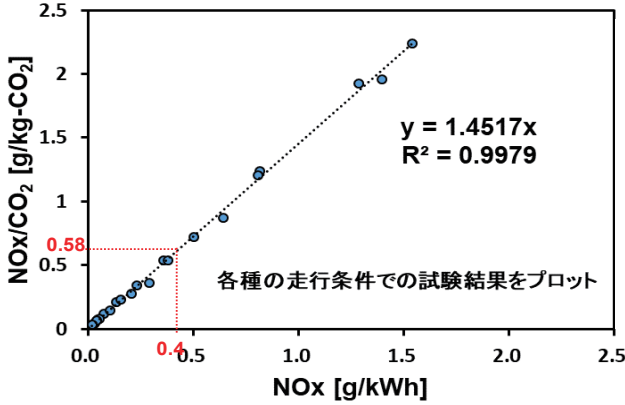
「(吸入空気量+燃料噴射量)/排出ガス密度」は、誤差が小さく排出ガス流量の算出に使用できると判断した。

4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験
 シャンダイナモメータ試験によるデータ検証

NOx排出量 (g/kWh) とNOx排出率 NOx/CO₂ (g/kg-CO₂) の関係を検証

認証試験で用いられるNOx排出量 (g/kWh) と、NOx排出率 NOx/CO₂ (g/kg-CO₂) の関係を明らかにするために各種の走行条件での試験を実施



以下に示す各種の走行条件での試験結果をプロットした。

WHVCモード
 JE05モード
 東京都No.3モード
 東京都No.10モード

Idling Stop ON/OFF
 Eco mode ON/OFF
 積載量: 全積、半積、空積
 エンジン始動条件: Gold、Hot

試験車両の排出ガスおよび燃費性能の把握

WHVCモード走行時の
 NOx排出量: **0.173 g/kWh**

JE05モード(半積載)走行時の
 NOx排出量: **0.262 g/kWh**

【参考】WHVCモード規制値
 NOx排出量: **0.4 g/kWh**

JE05モード(半積載)走行時の
 燃費: **7.95 km/L**

【参考】カテゴリクラスT4
 燃費基準値: **7.24 km/L**

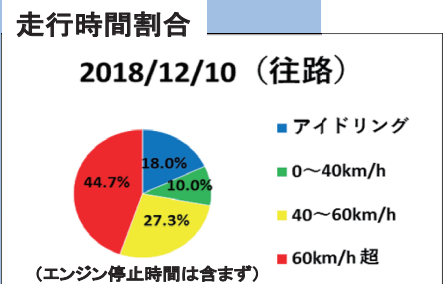
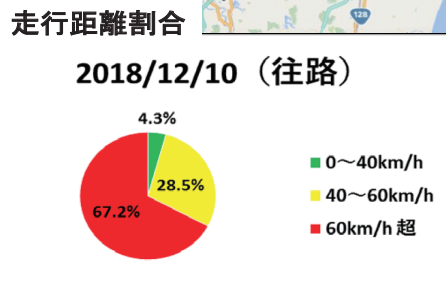
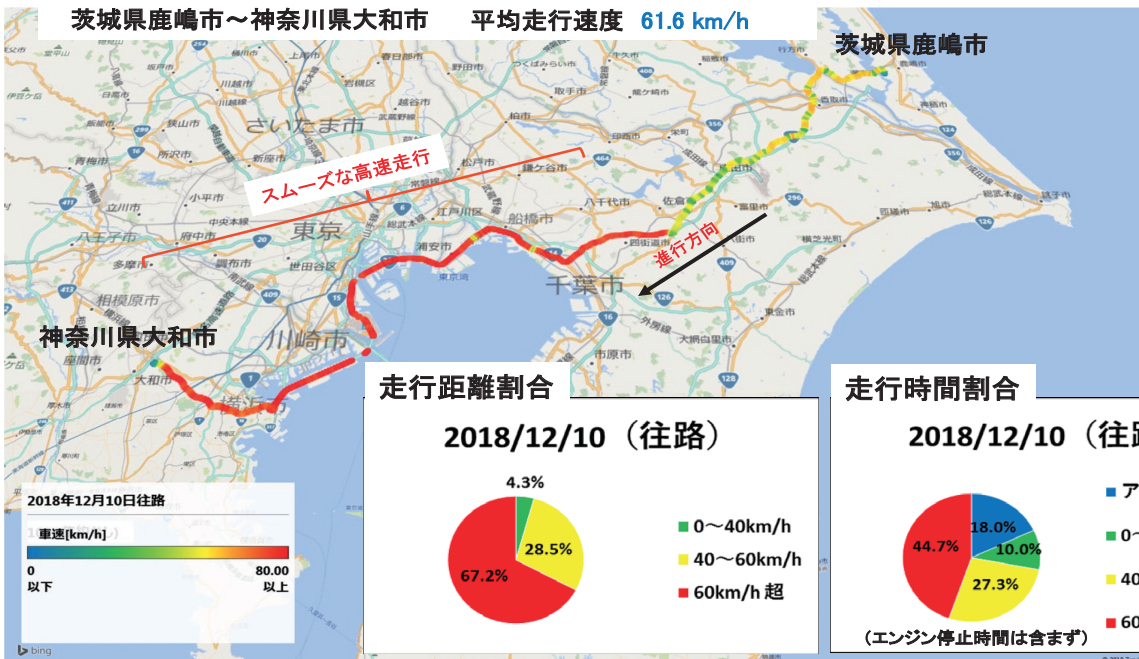
- 両者には極めて強い相関性が認められることから、NOx排出率 NOx/CO₂ (g/kg-CO₂)は、路上走行時のNOx排出量の評価指標として有効である。
- NOx排出量の規制値0.4 g/kWhは、NOx排出率0.58 g/kg-CO₂に相当し、この値を路上走行試験におけるNOx低減性能の判断基準とした。

4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

2018年12月10日往路 実証試験(全体概要)

茨城県鹿嶋市～神奈川県大和市 平均走行速度 61.6 km/h



4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

2018年12月10日往路 実証試験(全体概要)

茨城県鹿嶋市～神奈川県大和市

走行ルート	総エンジン作動時間 [hour]	走行時間 [hour]	平均車両走行速度 [km/h]	走行距離 [km]	積載重量 [kg]	燃費 [km/L]	CO2排出量 [g/kWh]	NOx排出量 [g/kWh]	平均排出ガス温度 [°C]
2018/12/10 (往路)	3.1	2.6	61.6	160.3	1830	7.5	710.3	0.717	184

テールパイプ排出ガス温度の変化

NOx排出率 NOx/CO₂ の変化

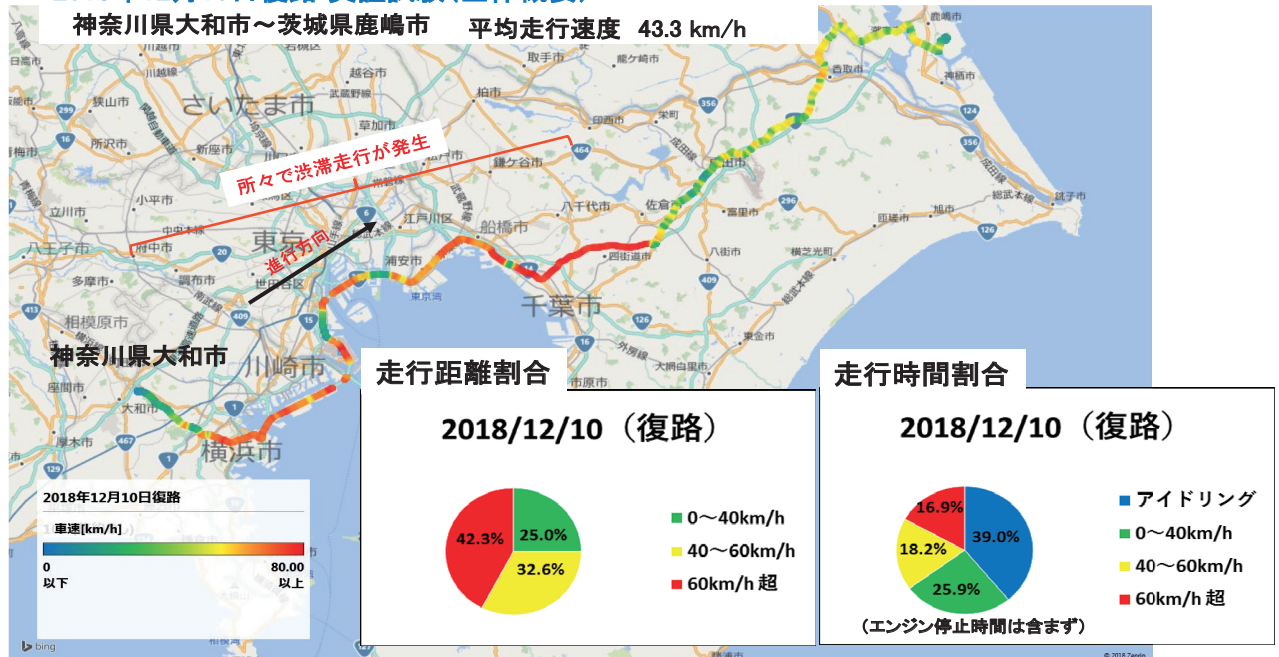


4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

2018年12月10日復路 実証試験(全体概要)

神奈川県大和市～茨城県鹿嶋市 平均走行速度 43.3 km/h



4. SEMS活用による環境性能評価

運送事業用車両によるSEMS活用に関する実証試験

2018年12月10日復路 実証試験(全体概要)

神奈川県大和市～茨城県鹿嶋市

走行ルート	総エンジン作動時間 [hour]	走行時間 [hour]	平均車両走行速度 [km/h]	走行距離 [km]	積載重量 [kg]	燃費 [km/L]	CO2排出量 [g/kWh]	NOx排出量 [g/kWh]	平均排出ガス温度 [°C]
2018/12/10 (復路)	5.3	4.1	43.3	176.3	330	7.9	711.3	1.113	116

テールパイプ排出ガス温度の変化



NOx排出率 NOx/CO₂ の変化



5. まとめ / 今後の展開

まとめ

- リアルワールドにおける重量車の環境性能を評価するためのツールとして、設置場所を取らずまた取り付けが簡便なNOxセンサベースの車載計測器(SEMS)を構築し、そのコンセプトを提示した。
- NOxセンサにより、実用レベルでのNOx濃度測定およびCO₂濃度算出が可能であることを示し、さらに両データから、NOx排出量の評価指標として「NOx排出率 (g/kg-CO₂)」を算出し、その有効性を明らかにした。
- SEMSを運送事業用車両に装着して実施した2か月間の実証試験により、同装置による長期間の連続測定が可能であることを確認し、車載計測装置としての実用性能を検証した。
- 路上走行時の排出ガス評価の一例として、SEMSにより取得した車速、排出ガス温度およびNOx排出率の関係から尿素SCRシステムの機能状態を推定し、リアルワールドにおける走行状態とNOx排出の関係性を視覚的に表わした。

今後の展開

SEMSは、日常走行でのNOx濃度等の長期間の連続測定を可能にすることから、今後、リアルワールドでの排出ガス後処理装置の性能の推移を把握するためのデータ収集に活用する予定である。