

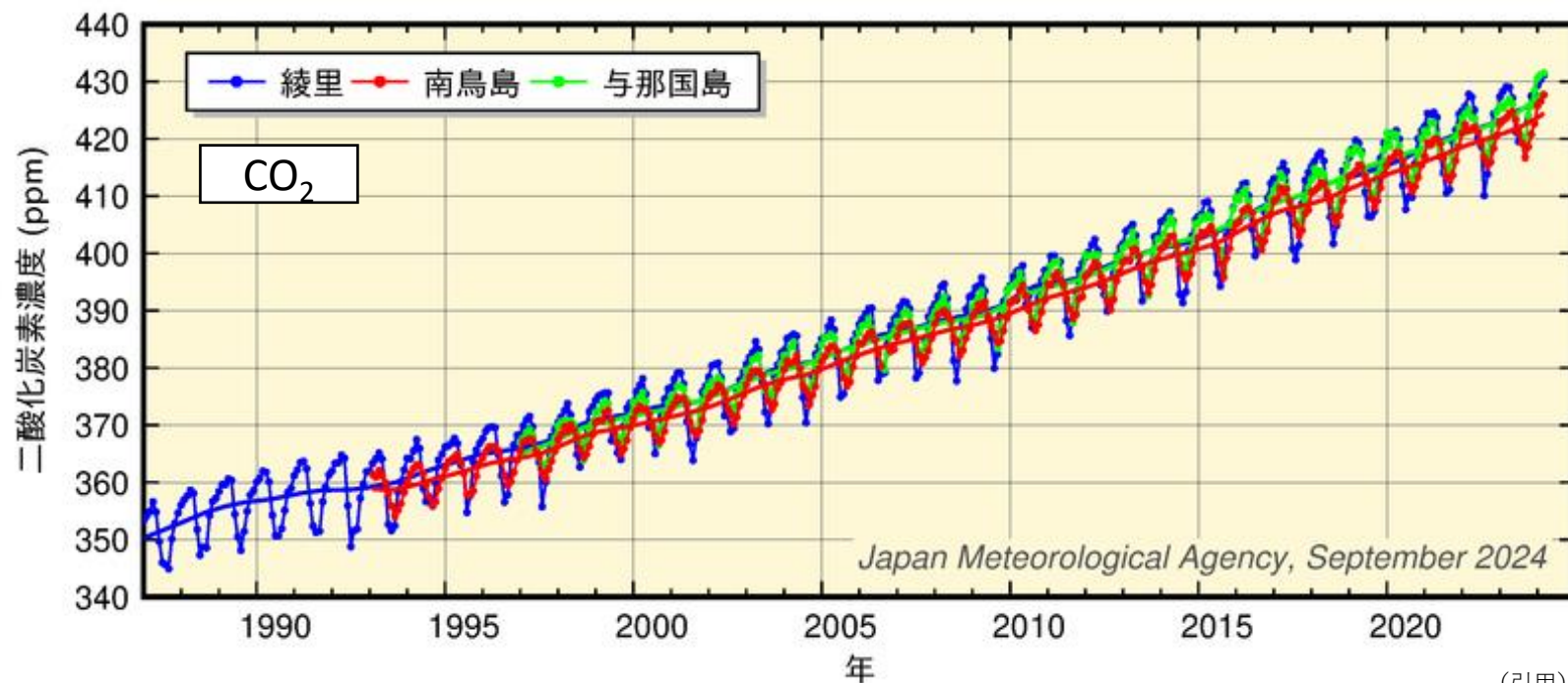
都内の実走行車両からの温室効果ガス (CO₂、CH₄、N₂O) 排出量調査

公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所
気候変動・環境エネルギー研究科 佐藤 友規

- 研究背景
- 自動車排出ガス計測の方法
- テーマ① 車両からの温室効果ガス排出量
- テーマ② 車両の電動化とCO₂排出量の削減効果

- **研究背景**
- 自動車排出ガス計測の方法
- テーマ① 車両からの温室効果ガス排出量
- テーマ② 車両の電動化とCO₂排出量の削減効果

温室効果ガスとは



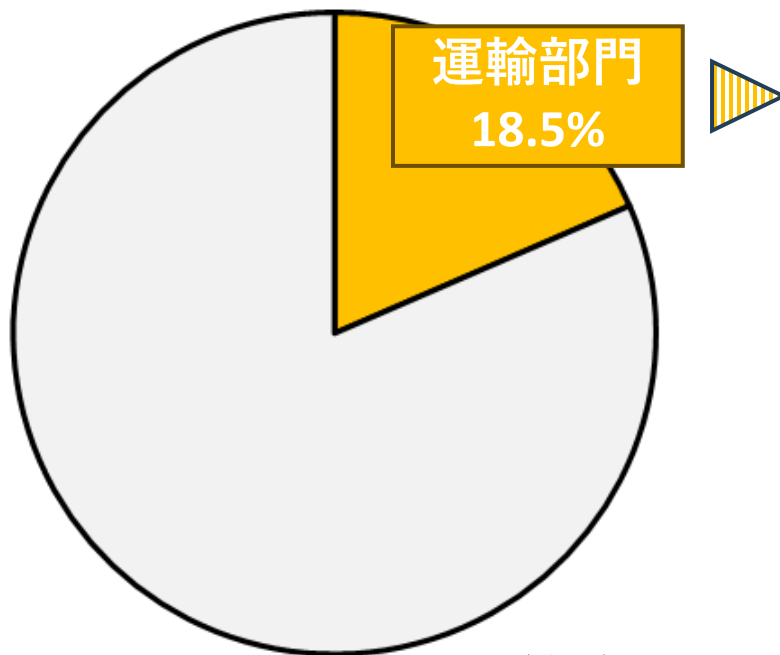
(引用) 気象庁HP

図 気象庁の観測地点における大気中の二酸化炭素月平均濃度の時間変化

- ・ 大気中の熱（赤外線）を吸収するガスのことで、地球温暖化の一因
- ・ 二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）など
- ・ 国内の観測結果より、温室効果ガスの濃度は年々増加している
⇒ 各発生源で温室効果ガスの排出抑制が求められている

運輸部門におけるCO₂排出量

日本全体のCO₂排出量
(2022年度)



(データ) 国交省HPより

(運輸部門の内訳)

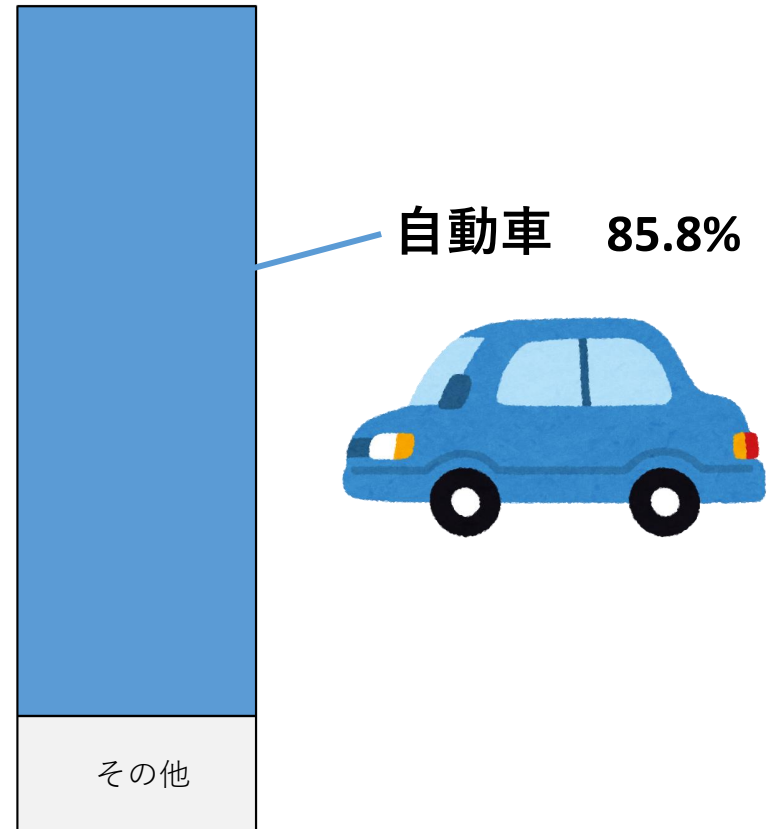


図 運輸部門における二酸化炭素排出量 (2022年度)

- ・ 温室効果ガスの1つであるCO₂排出量について、運輸部門の85.8%は自動車
- ⇒ **自動車の対策**が運輸部門のCO₂排出量の削減に重要

排出ガスに含まれる温室効果ガス

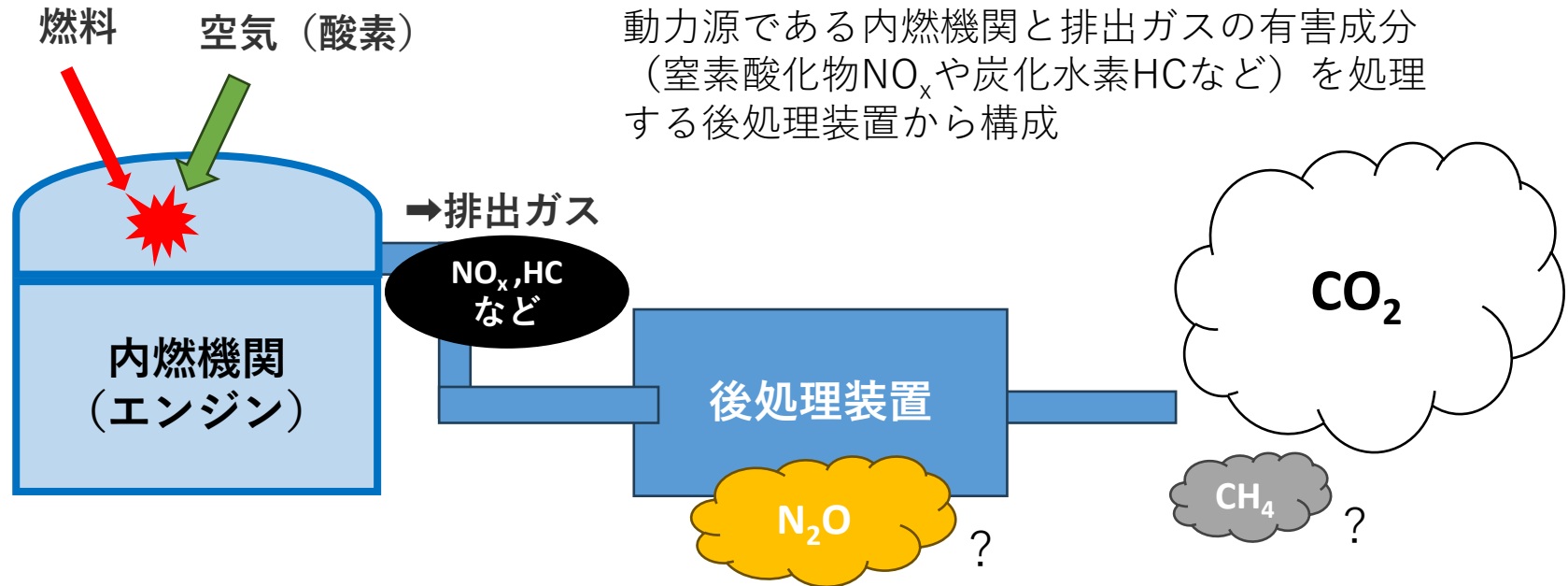
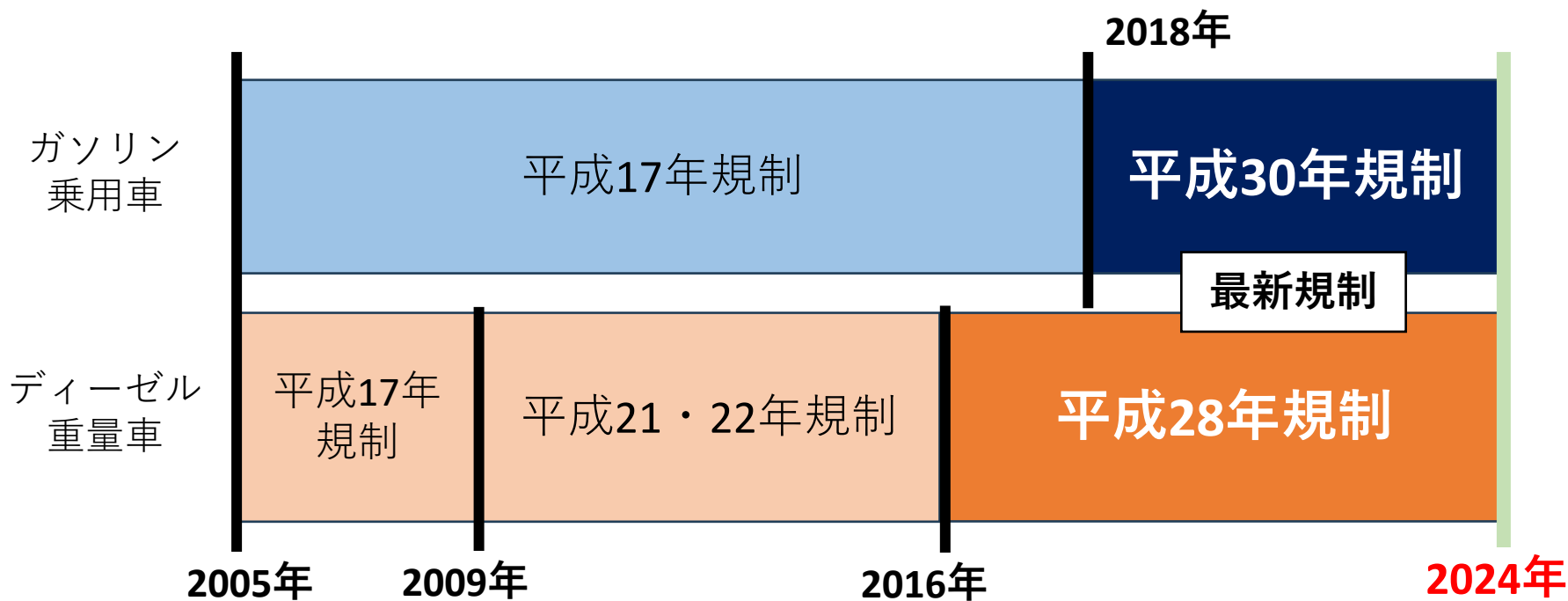


図 自動車の内燃機関の模式図と排出ガスの流れ

- ・ 日本では、自動車排出ガス中の有害成分による大気汚染は改善傾向
⇒ 自動車の排出ガス対策として、温室効果ガスの削減が重要なテーマ
- ・ 排出ガス中には燃料の燃焼に伴うCO₂のほか、微量ではあるがCH₄やN₂Oも排出
⇒ 自動車に由来する温室効果ガス削減に向け、CH₄やN₂Oの影響が無視できないとの指摘があり、国内での実態把握が必要

実走行車両の計測

- ・実走行車両→実際に都内を走行する使用過程にある車両（**使用過程車**）
- ・日本では**新車**に対して、燃費の測定、排出ガス規制値への適合が義務付け（排出ガス規制は徐々に強化）



・2024年現在、都市内には最新規制車だけでなく旧規制車も多く残存しており、様々な走行距離、経過年数の使用過程車が走行している

⇒大気環境への影響評価には**使用過程車の排出ガス実態**の把握が重要

本発表の目的

今後のより一層の温暖化物質削減に向け、発生源の1つである自動車に着目し、当研究所での使用過程車の調査結果を報告する。

テーマ①：内燃機関を搭載した自動車（ハイブリッド自動車を含む）の温室効果ガス（CO₂、CH₄、N₂O）を測定し、排出実態を明らかにする。

- ・ 車両排出ガス規制とCO₂排出量の関係
- ・ 車両からのCH₄、N₂O排出の対策の必要性

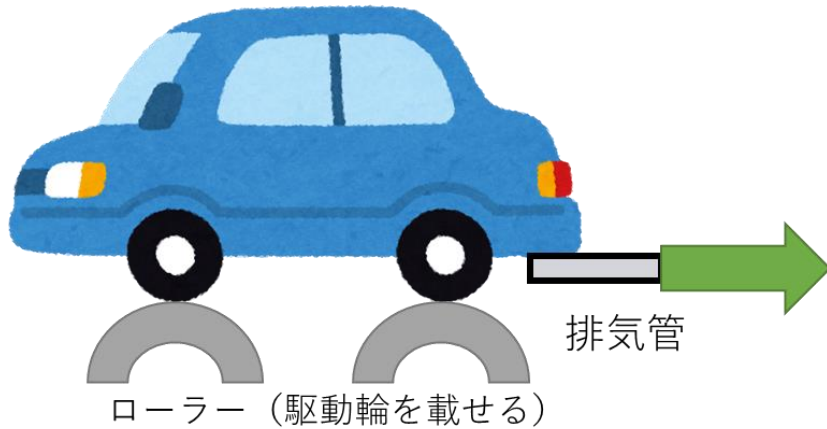
テーマ②：電動車（ハイブリッド及び電気自動車）の普及によるCO₂排出量の削減効果を、都市内で想定される様々な走行条件での測定データから考察する。

- ・ ハイブリッド車のエンジン稼働時のCO₂排出量を測定し、既存ガソリン車と比較
- ・ 電気自動車の走行時の交流電力量消費率（電費）を測定し、発電段階でのCO₂発生量に換算したのちに、既存ガソリン車と比較

- ・ 研究背景
- ・ **自動車排出ガス計測の方法**
- ・ テーマ① 車両からの温室効果ガス排出量
- ・ テーマ② 車両の電動化とCO₂排出量の削減効果

自動車の排出ガス計測

- ・ シャシダイナモメータ（C/D）での室内実験による排出ガス計測



CO₂、CH₄、N₂O
の分析計

※各成分の濃度を直接
測定し、距離あたりの
排出量[g/km]として計算

○乗用車・中軽量車（3.5 t 以下）

○重量車（3.5 t 超）



小型車C/D



大型車C/D

調査車両について

2013～2023年度に当研究所のC/Dで取得した排出ガスデータのうち
小型車（ガソリン乗用車）78台、**大型車**（ディーゼル重量車）48台を解析

表 小型車調査車両台数内訳 単位：台

規制区分	燃料	車両規格	種別		排気量[L]
			乗用	乗用 (HV)	
平成17年規制 (H17)	ガソリン	軽	10	2	約0.7
		小型	31	20	約1～2.5
平成30年規制 (H30)	ガソリン	軽	4	1	約0.7
		小型	8	2	約1～2.5
合計			53	25	

表 大型車調査車両内訳

規制区分	燃料	のべ台数	排気量[L]
平成21・22年規制 (H21・22)	軽油	29	約3～11
平成28年規制 (H28)	軽油	19	約3～11

- ・ 研究背景
- ・ 自動車排出ガス計測の方法
- ・ **テーマ① 車両からの温室効果ガス排出量**
- ・ テーマ② 車両の電動化とCO₂排出量の削減効果

排出ガス測定の方法（走行モード）

- ・車両はC/D上で、決められた速度パターン（走行モード）に従って運転

①法定モード：排出ガス認証試験で使用されるモード（新車に適用）
小型車（JC08、WLTC）、大型車（JE05、WHVC）



- ・走行モードには車両の加減速が含まれる
- ・試験条件を統一するために、以下の法定モードでの測定結果を比較
小型車：JC08モード 大型車：JE05モード

小型車のCO₂測定結果（法定モード）

JC08モード（平均車速24.4km/h）での値

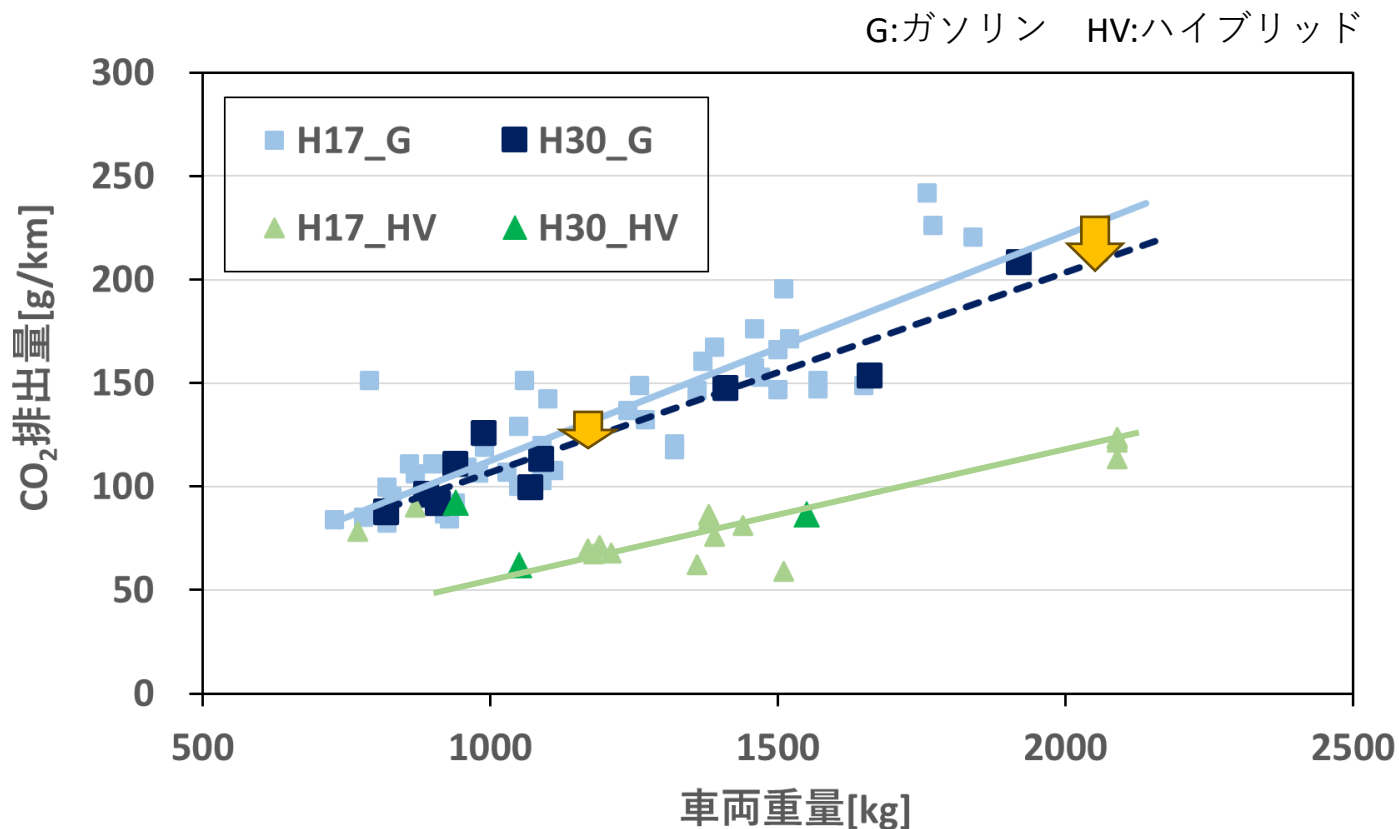


図 法定モード（JC08）でのCO₂排出量

- ・ ガソリン車（■, ■）では、H30規制車の方がCO₂排出量が3～8%程度少ない
 - ・ 車両重量が1000kg以上のHVのCO₂排出量は、ガソリン車より約50%少ない
- ⇒ **HVの普及が小型車のCO₂排出量削減に効果が大きいと推察**

大型車のCO₂測定結果（法定モード）

JE05モード（平均車速27.3km/h）での値

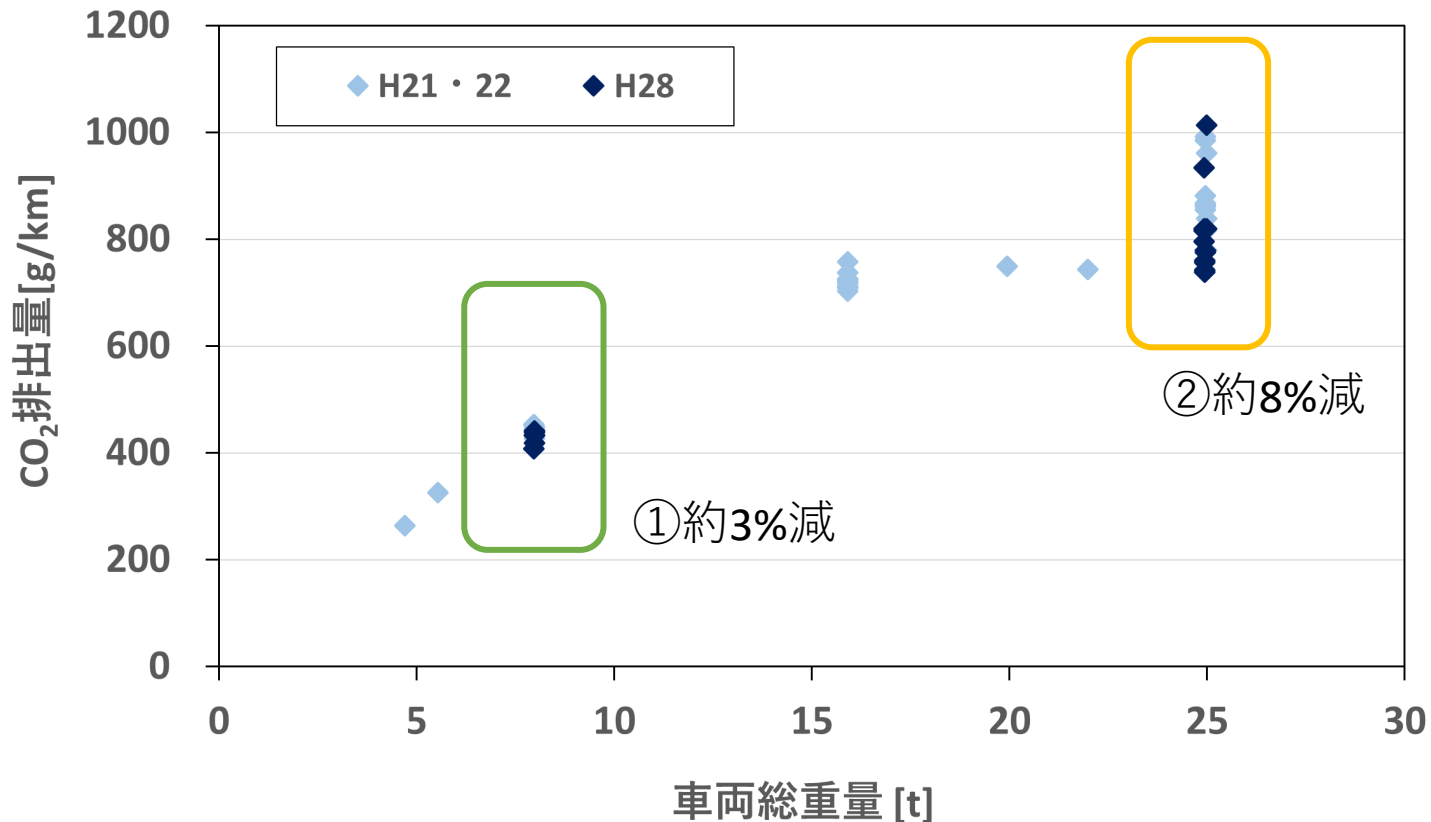
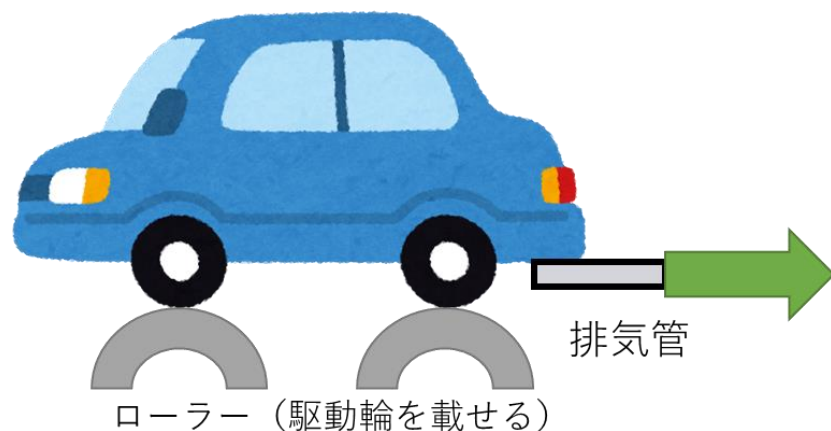


図 法定モード（JE05）でのCO₂排出量

- ・ 車両重量の増加に伴いCO₂排出量も増加する傾向
 - ・ 大型車では、平成28年規制車（◆）の方がCO₂排出量が少ない傾向
- ⇒最新規制車への置き換えにより、CO₂排出量は減少することが推察

CH₄、N₂O排出量の評価



CO₂、CH₄、N₂O
の分析計

※各成分の濃度を直接測定し、距離あたりの排出量[g/km]として計算

・得られたCH₄、N₂Oの排出量[g/km]は、以下の条件により車両からのCO₂排出量に対する割合として評価

$$\text{CH}_4、\text{N}_2\text{O排出割合（対CO}_2\text{）} = \text{CH}_4、\text{N}_2\text{O（g/km）} \times \text{GWP} / \text{CO}_2 \text{（g/km）}$$

GWP CH₄：28 N₂O：265

(出典) 環境省 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver5.0)(令和6年2月)

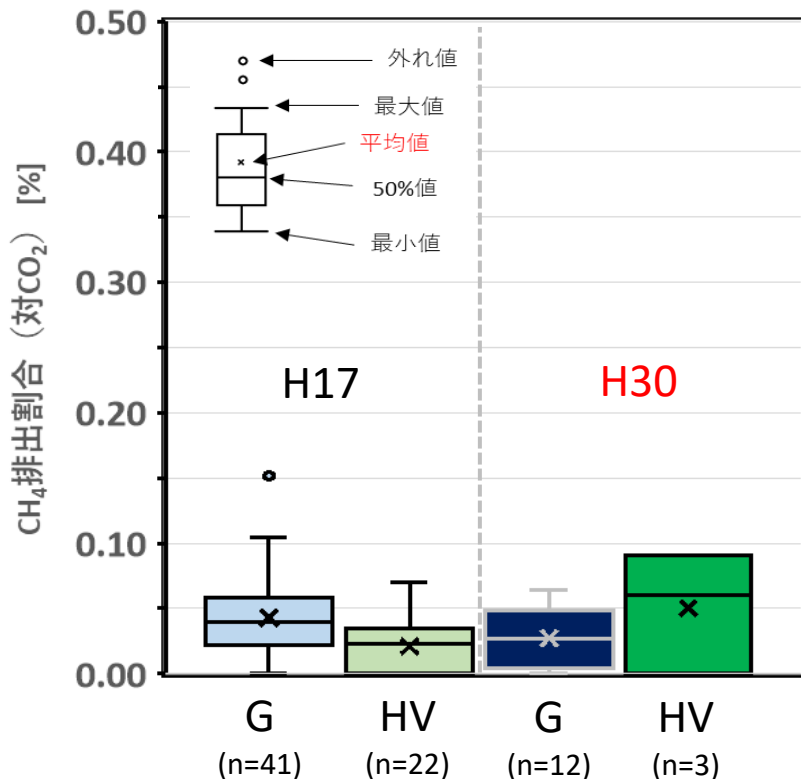
※地球温暖化係数(GWP)とは、二酸化炭素を基準にして、ほかの温室効果ガスがどれだけ温暖化する能力があるか表した数字のこと

小型車のCH₄、N₂O排出量

JC08モード（平均車速24.4km/h）での値

G:ガソリン HV:ハイブリッド

メタン (CH₄)



亜酸化窒素 (N₂O)

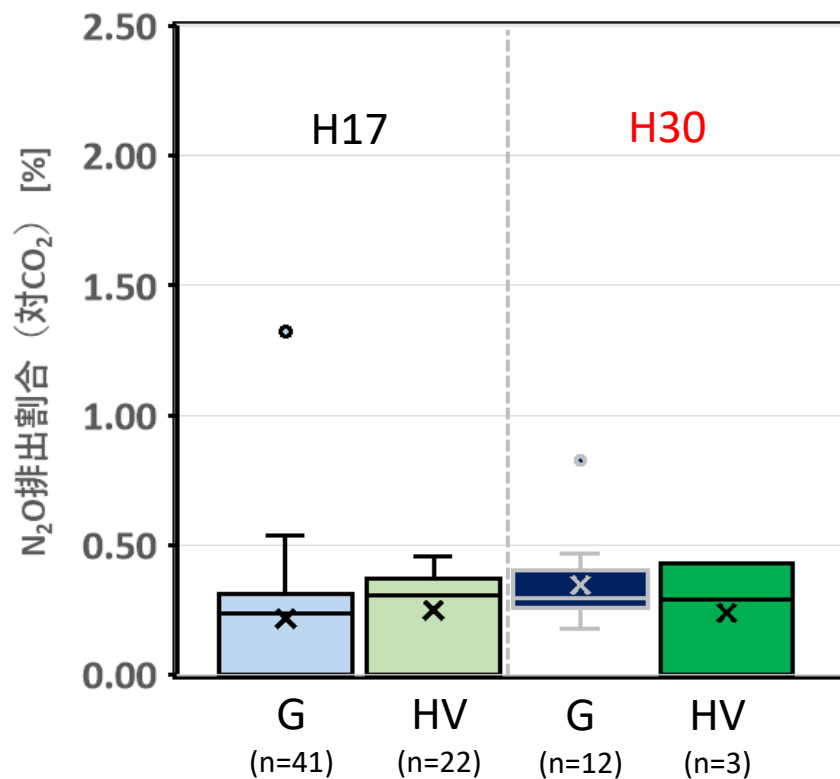


図 小型車の法定モード (JC08) でのCH₄、N₂O排出割合 (規制年度・車種別)

- ・ガソリン乗用車からのCH₄、N₂O排出割合は、最新規制車において増加していない
- ・ガソリン乗用車 (HV含む) からのCH₄、N₂O排出割合 (平均値) は0.5%以下

⇒温室効果ガス排出量削減として、**小型車のCH₄、N₂Oを新たに対策する必要性は低い**

大型車のCH₄、N₂O排出量

JE05モード（平均車速27.3km/h）での値

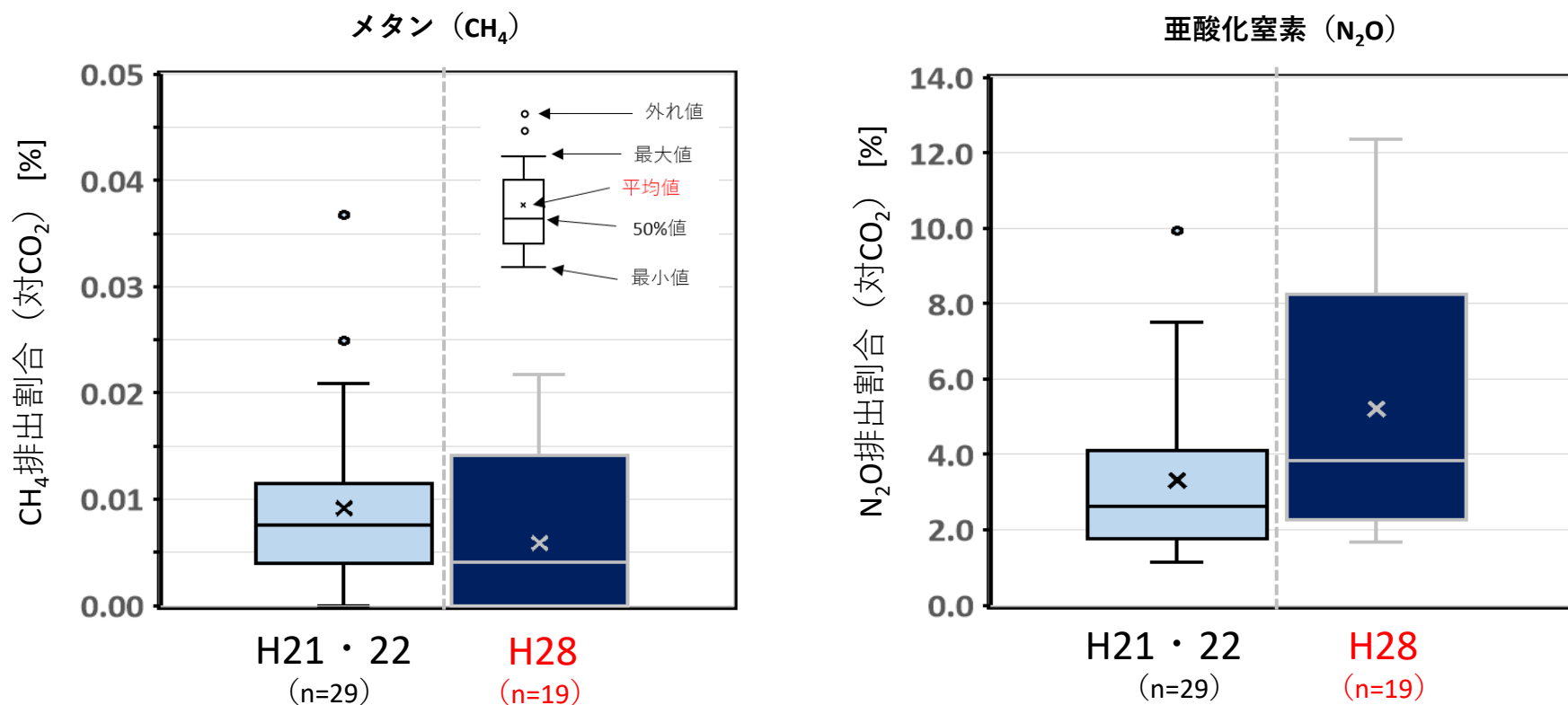


図 大型車の法定モード (JE05) でのCH₄、N₂O排出割合 (規制年度・車種別)

- ・大型車からのCH₄排出割合は、規制によらず平均0.01%と極めて少ない
 - ・大型車からのN₂O排出割合は**H21・22規制車で3.3%、H28規制車で5.2%**であった
- ⇒ 最新規制車の方が増加傾向にあり、CO₂削減効果が相殺される可能性があることから、温室効果ガス排出量削減として**大型車のN₂O低減の重要性**が示唆

- ・ 研究背景
- ・ 自動車排出ガス計測の方法
- ・ テーマ① 車両からの温室効果ガス排出量
- ・ **テーマ② 車両の電動化とCO₂排出量の削減効果**

電動車の普及

○電動車：電気エネルギーを利用して走行する自動車のこと。

○ハイブリッド車（HV）

- ・HVはエンジンとモーターを使い分けながら走行し、CO₂排出量が少ない

- ・HVの型式は増加し、新車登録の約50%を占める（2022年）

- ・必要な電気は車両内で賄うので、外部電源は使用しない



（出典）一般社団法人次世代自動車振興センターHPより

○電気自動車（EV）

- ・モーターを動力源とし、電気のみで走行する自動車

- ・走行時に排出ガスが出ないため、**ゼロ・エミッション・ヴィークル（ZEV）**と呼ばれる

- ・必要な電気は外部電源から供給が必要

○ガソリン乗用車を電動車に置き換えた時のCO₂削減効果を、当所C/Dでの実測値をもとに見積もる

実走行モードによる排出ガス測定

- ①法定モード：排出ガス認証試験で使用されるモード（新車に適用）
- ②実走行モード⇒実際の走行条件に近い排出量を得るためのモード
都内実走行データから当研究所において作成されたモード（**都モード**）
一般道10種、首都高2種類（平均車速4.6～53.8km/h）

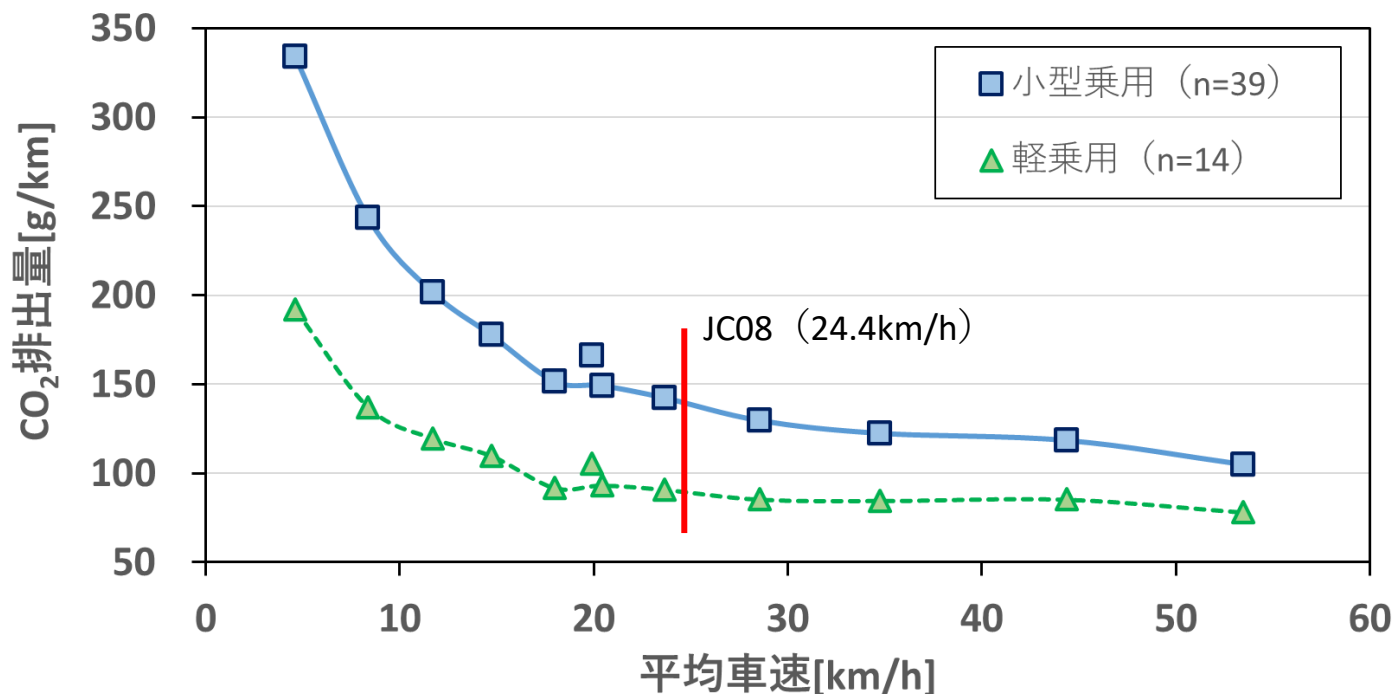


図 ガソリン乗用車の平均車速別CO₂排出量（軽乗用・小型及び普通乗用）

- ・平均車速の遅い走行状態ほどCO₂排出量が多い
- ⇒ CO₂排出量を効果的に削減するには、走行実態に即した対策を進める必要

HV及びEV測定の概要

表 調査したHV及びEVの車両情報

車両	HV-A	HV-B	HV-C	EV-A	EV-B
排気量(L)	約1.5	約2.5	約0.7	総電力量40(kWh)	総電力量20(kWh)
車両重量(kg)	約1400	約2100	約1000	約1800	約1300
車両規格	小型		軽	小型	軽

※ここでの車両規格は国の定めとは異なる

○ハイブリッド車 (HV)

ガソリン車と同様に排出ガス中CO₂を測定

○電気自動車 (EV)

走行時のエネルギー消費 (電気) を発電段階に遡って評価

EVの走行時電力量 (kWh) ※1を計測し、以下の条件で電力消費率からのCO₂排出量へ換算 ※1: 充電時の電力損失 (充電ロス) を補正

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (g/km)} = \text{走行時電力消費率 (Wh/km)} \times 0.390^{*2}$$

※2: 東京電力 ご契約プランごとのCO₂排出係数 2022年度 (上記以外のご契約) 0.390 (kg-CO₂/kWh) を参照

実走行モードでのHVのCO₂排出量（車両A、B）

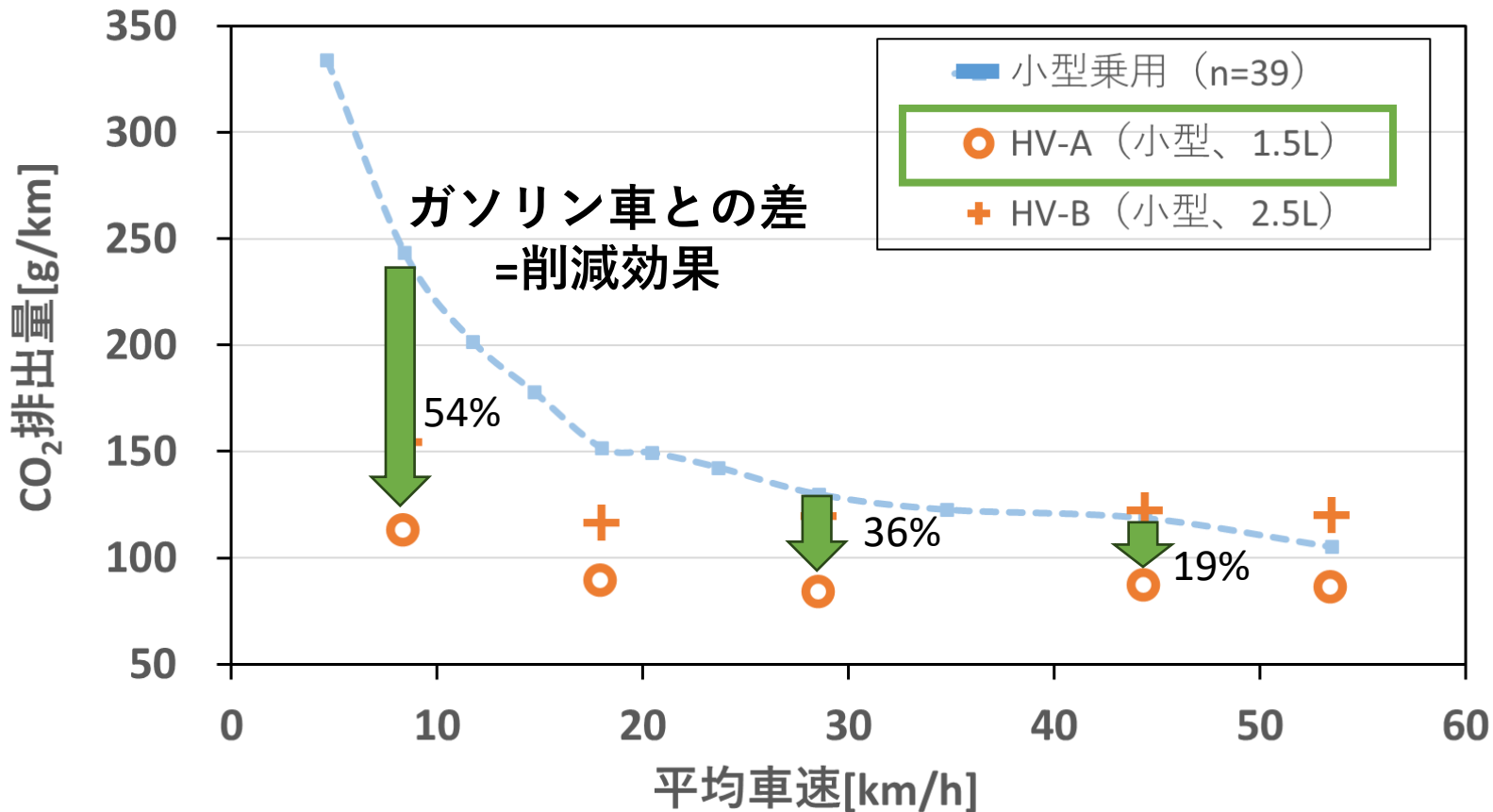


図 ガソリン乗用車とハイブリッド車のCO₂排出量の比較（小型及び普通）

- ・ HVは平均車速が変化しても、CO₂排出量の変化が少ない特徴
- ・ ガソリン車との差を車速別に評価すると、平均車速の遅い方が差が大きい
⇒HVの普及に伴うCO₂排出量削減効果は、**都市域で効果大きい**と推察

実走行モードでのHVのCO₂排出量（車両C）

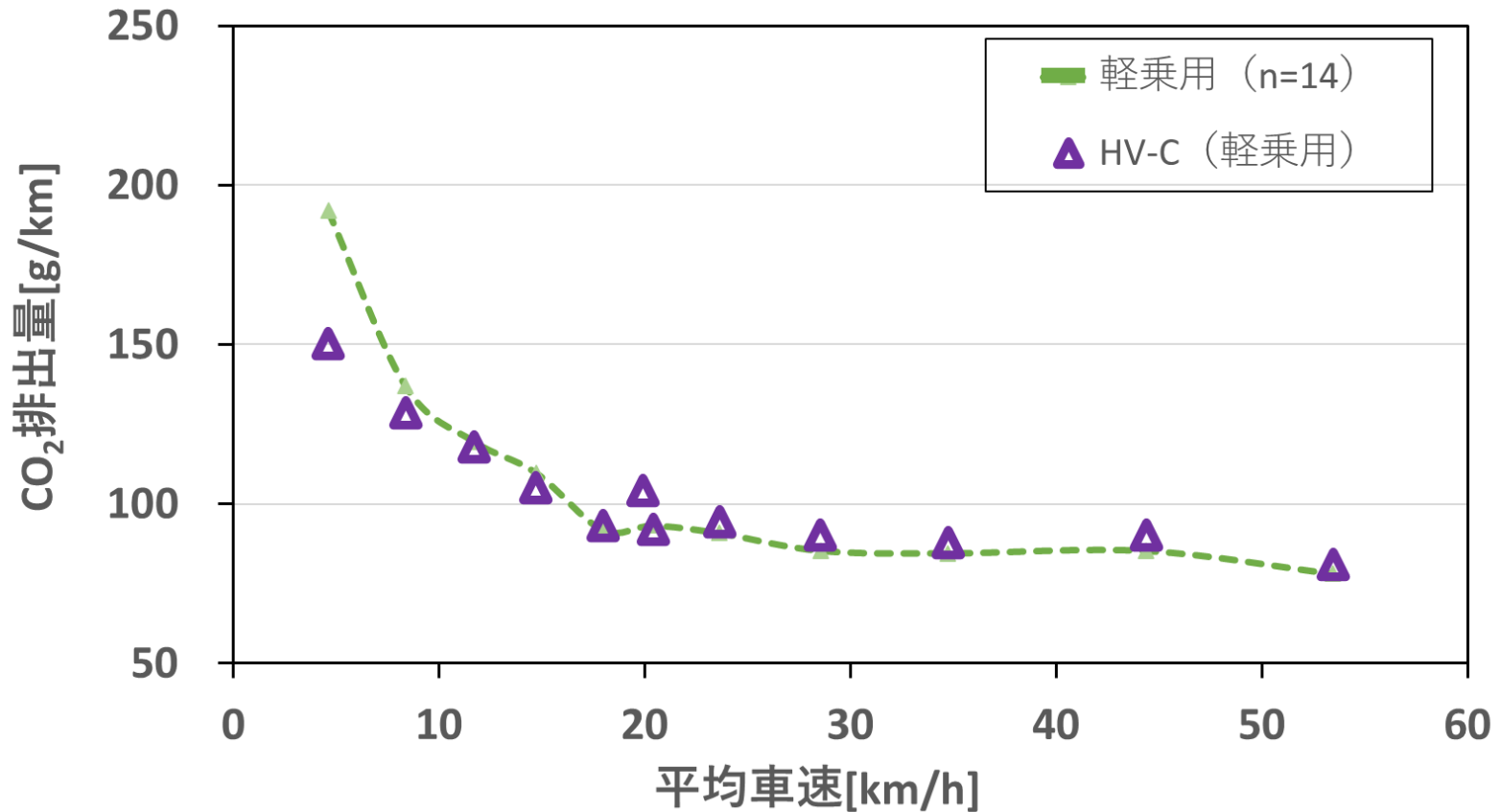


図 ガソリン乗用車とハイブリッド車のCO₂排出量の比較（軽自動車）

- ・ 軽自動車であるC車は、ガソリン軽乗用車とCO₂排出量の差が少ない
→ モーターの出力が小さいため、電動化によるCO₂削減効果は限定的だったと推察

実走行モードでのEVのCO₂排出量

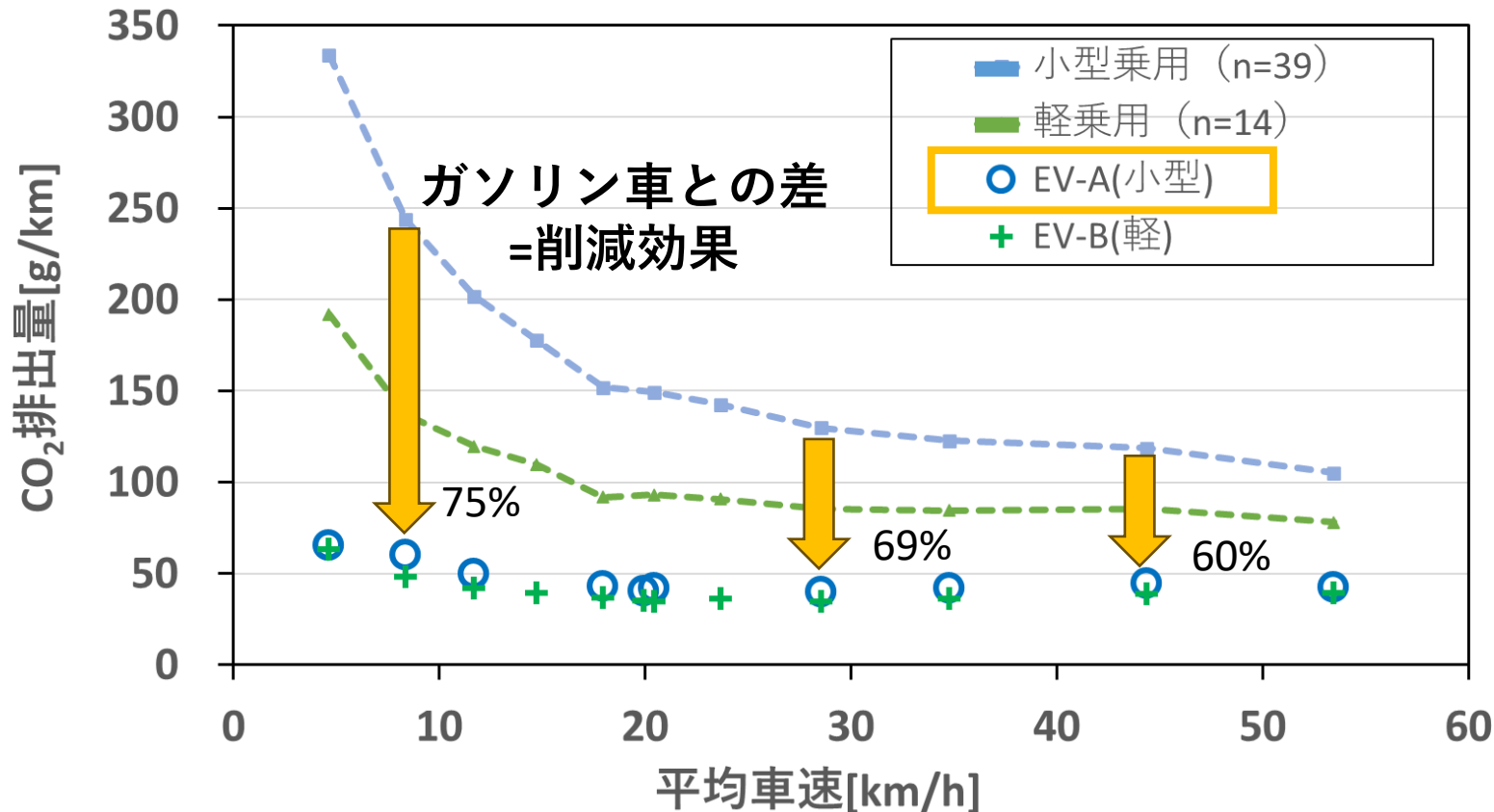


図 ガソリン乗用車と電気自動車のCO₂排出量の比較

- ・ガソリン車との差を車速別に評価すると、平均車速の遅い方が差が大きい
⇒ EVの普及に伴うCO₂排出量削減効果は、**都市域で効果大きい**と推察
- ・現在の発電過程でのCO₂排出量に基づいた場合でも、CO₂の削減効果はHVよりも大きいと試算され、電源の脱炭素化により更なる減少が期待

まとめ

今後のより一層の温暖化物質削減に向け、発生源の1つである自動車に着目し、当研究所での使用過程車の調査から以下の結果を得た。

	CO ₂ 削減に向けた取組	CH ₄ 、N ₂ Oの影響
小型車	<ul style="list-style-type: none">・ 電動車の普及・ 走行時のCO₂排出削減の効果はEVが最も大きい	<ul style="list-style-type: none">・ 新たな対策の必要性は低い
大型車	<ul style="list-style-type: none">・ 最新規制車の普及 (3~8%程度の削減見込み)	<ul style="list-style-type: none">・ N₂Oの排出量が最新規制車では2% (CO₂比) 増加 ⇒CO₂削減効果を相殺する可能性

・ 今後も東京都と連携し、使用過程車の排出ガスデータを収集
⇒ 効果的な排出ガス対策への活用、都内の良好な大気環境の実現



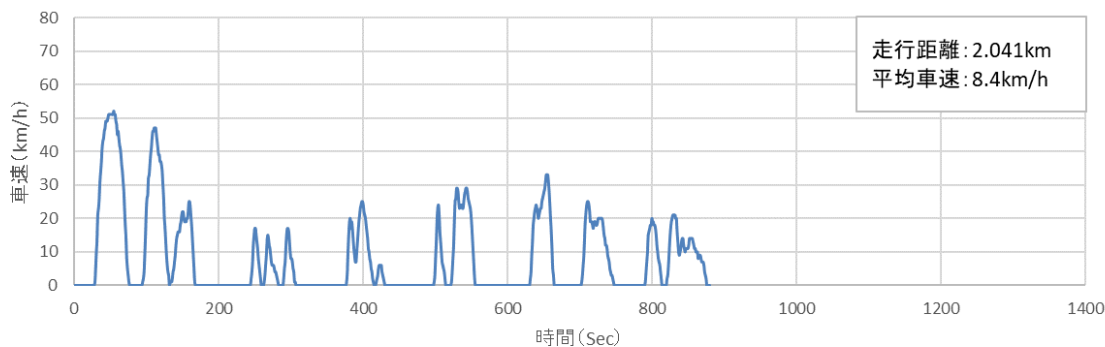
ご清聴ありがとうございました

以下、補足スライド等

東京都実走行パターン

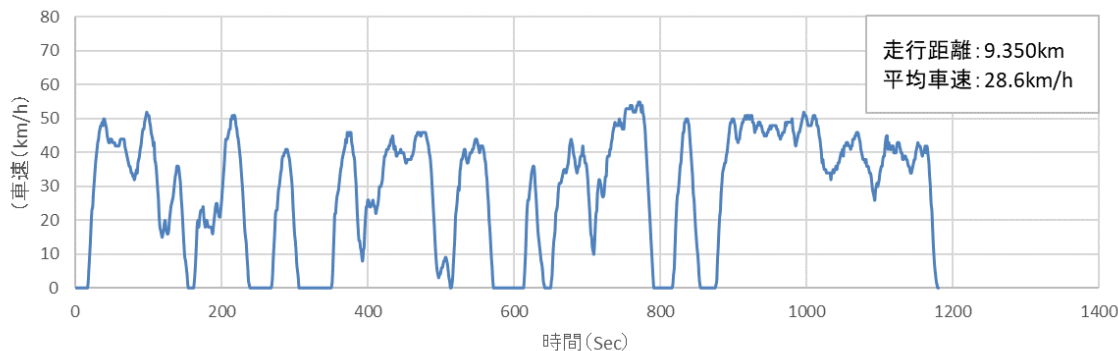
東京都実走行パターンとは
都内幹線道路にて、試験走行したデータを約20分間の小区間に分け、760のサンプルを作り、これを平均車速の値で10区分に分け、平均車速が低い順に区分NO.1から区分NO.10とした。区分ごとに最も代表性を有すると思われるサンプル一つを選定し、「都NO.○実走行パターン」とした。

東京都実走行パターン No.2



NO.2 : 車速区分 6 – 9 km/h
の代表的な走行パターン

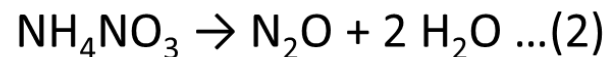
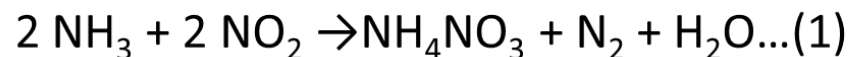
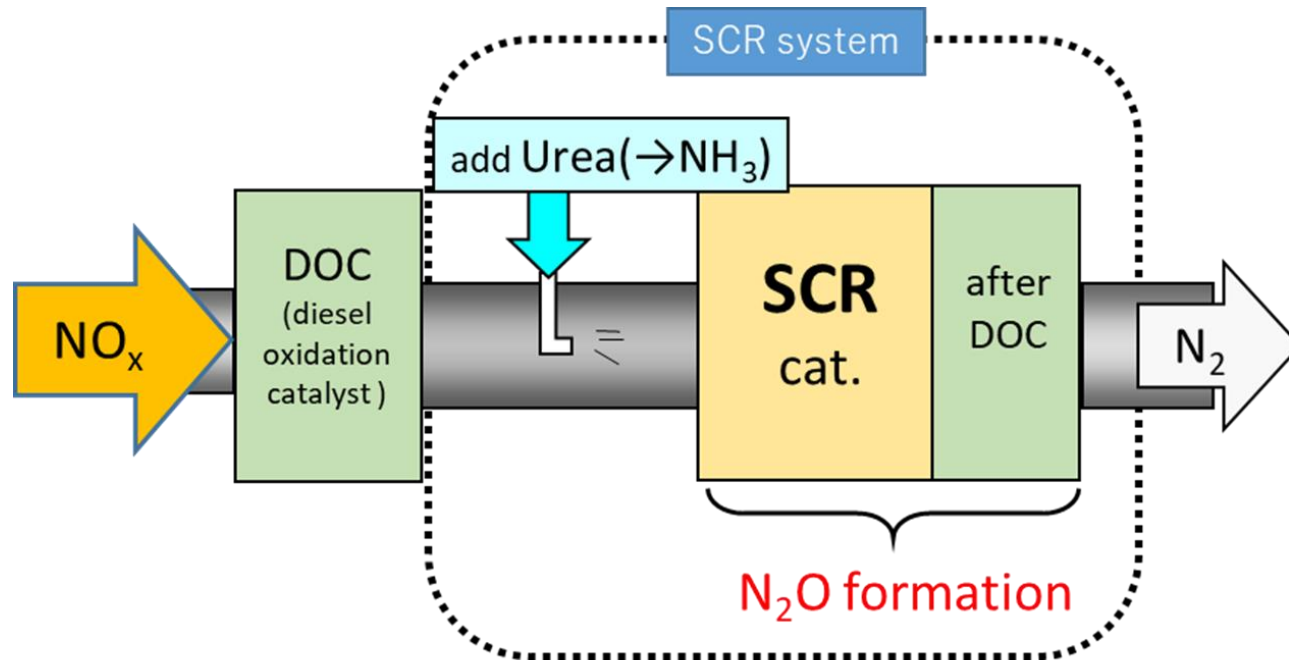
東京都実走行パターン No.8



NO.8 : 車速区分 26 – 32 km/h
の代表的な走行パターン

ディーゼル重量車でのN₂O発生

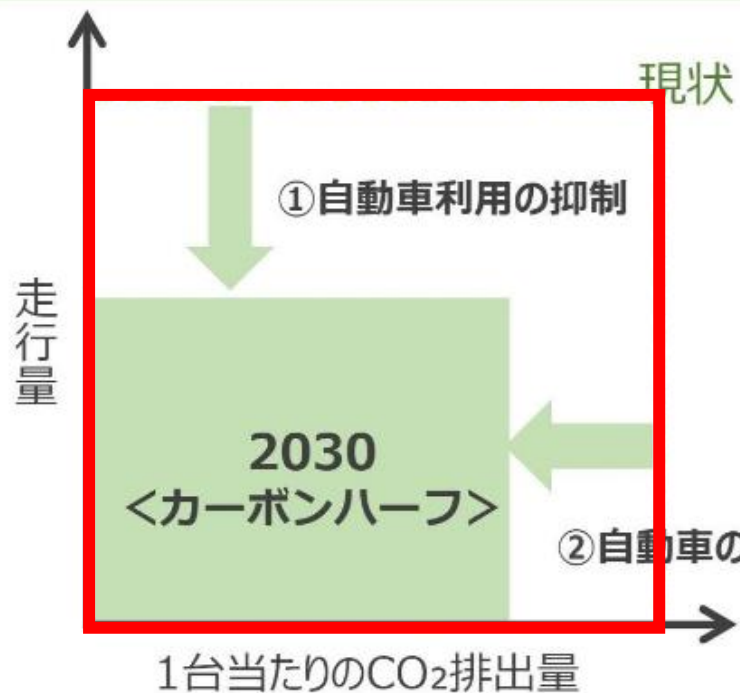
- ディーゼル重量車に課される厳しいNO_x規制値に適合するために、2005年以降NO_x後処理装置として**選択触媒還元脱硝装置（SCR）**が普及



- 還元剤としてアンモニア（NH₃）を利用するが、副反応としてN₂Oの生成が報告されており、NO_xをより低減する必要がある最新規制車ではN₂Oが増加する恐れ

CO₂削減効果の試算

2030年に向けた取組の基本的考え方



①自動車利用の抑制

- ⇒自転車・徒歩・公共交通機関の利用などCO₂排出を抑制する行動への移行
- ⇒人・モノの流れの効率化

②自動車の脱炭素化

- ⇒乗用車の非ガソリン標準化、ZEV推進、バス・トラックの特性に応じたZEV化
- ⇒ZEVインフラの整備促進

(出典) 東京都 2030年カーボンハーフに向けた取組の加速

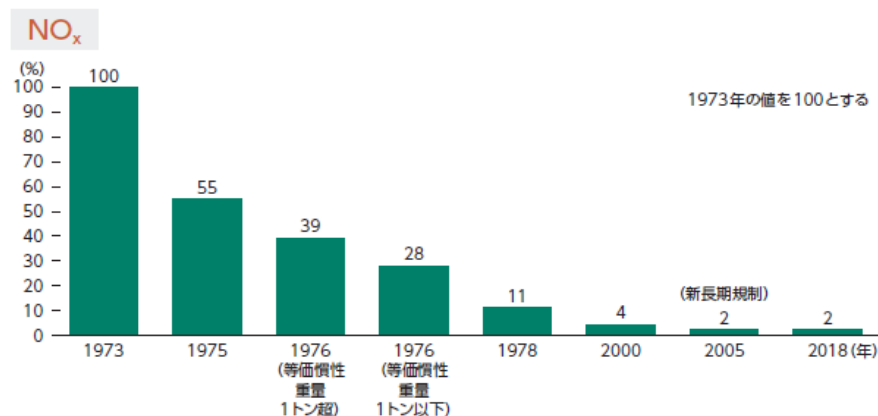
乗用車の排出ガス規制と燃費基準

○自動車排出ガス規制

有害成分（CO、THC、NO_x、PM）の排出量（g/km）を規制

使用過程車にある乗用車の多くは、
2005年、2018年排出ガス規制適合車
と推察

→自動車単体の排出量が厳しく規制
されたことで、大気汚染は改善



新規制への適合により車両性能も向上

図 ガソリン乗用車のNO_x規制値の推移

○燃費基準

「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）により燃費基準が設定

自動車のエネルギー消費効率は、燃費値（km/L）を用いる

2007年7月：乗用車、小型バス、小型貨物車のトップランナー基準の策定（2015年度目標）
JC08モード法（過渡モード+コールドスタート）に変更

2013年3月：2020年度目標の策定

2020年3月：2030年度目標の策定
WLTCモード法に変更



燃費基準達成ステッカー

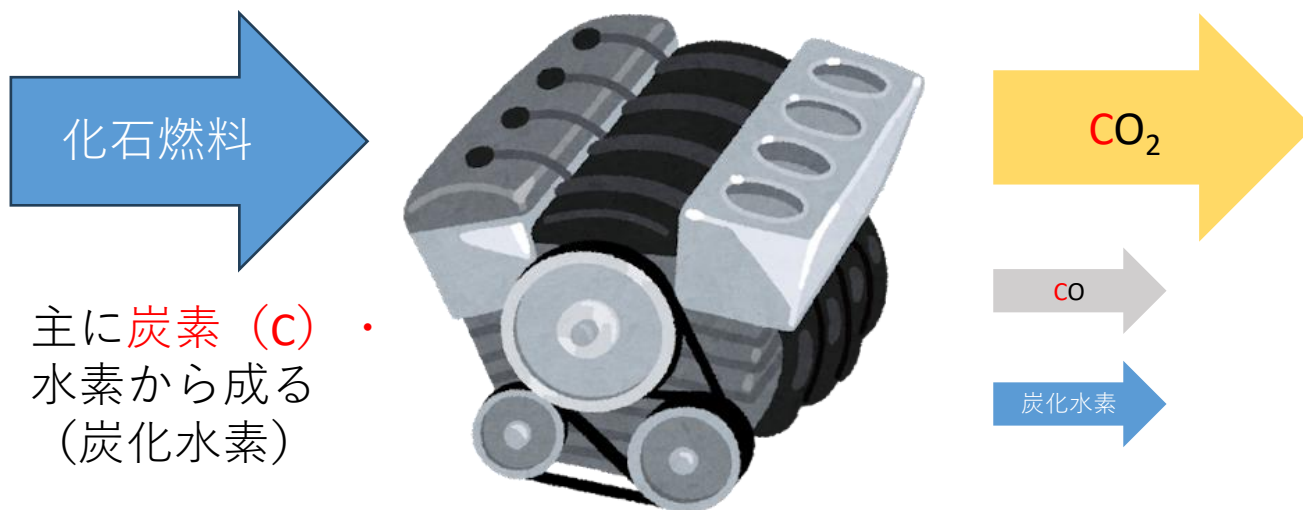
燃費値の計算方法

○燃費基準について

乗用自動車、貨物自動車には、省エネ法に基づき**燃費**※基準が設定

※ 燃費：燃料1Lあたりの走行距離（km/L）

・カーボンバランス法による燃費値の計算

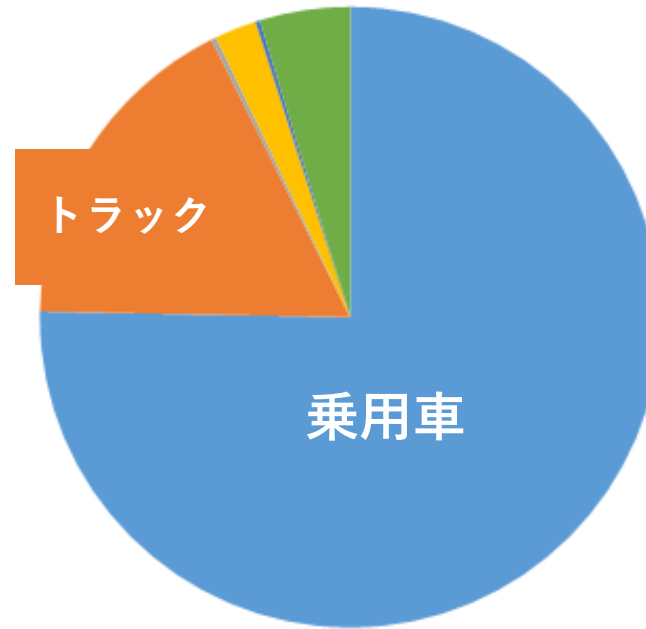


・ 燃料中の炭素の量と、炭素原子を含むガス成分（CO、CO₂及び炭化水素）の炭素の量が等しいという原理を応用して、測定したガスの結果からモード走行時の燃費に換算する方法

・ 炭素成分のほとんどはCO₂なので、燃費がよい ⇨ CO₂排出量が少ない

自動車の保有台数の割合

車種別保有台数割合（全国、2022年実績）



■乗用車 ■トラック ■バス ■特種（殊）用途車 ■被けん引車 ■二輪車

・保有台数では、乗用車とトラックで自動車全体の90%に上る

⇒乗用車とトラックを幅広く調査することで、自動車の排出実態を把握可能

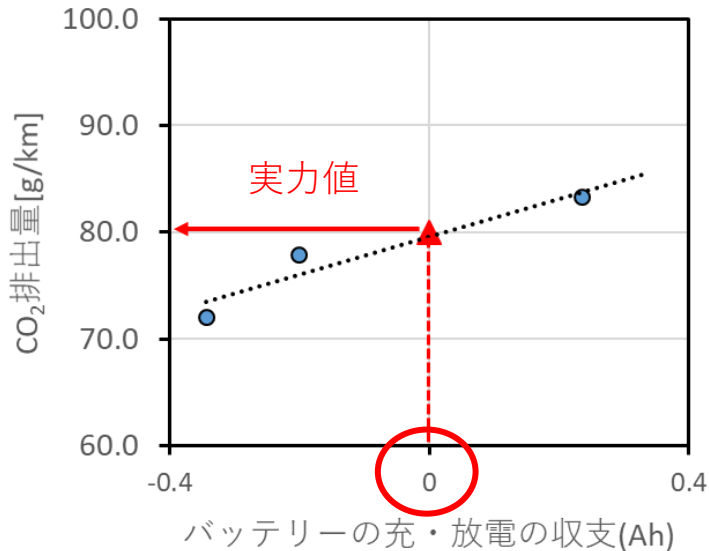
ハイブリッド乗用車の調査(2)

例えば、都パターンNo.5（平均車速18km/h、走行距離5.9km）の測定結果を見ると・・・

A車

バッテリー 充電量	CO ₂ (g/km)	燃費 (km/L)
Low	83.3	27.69
Mid.	77.9	29.61
High	72.1	31.98

●充電率Lの 때가、排出量が最も多い
→エンジン稼働率の差を反映して、CO₂排出量が増減



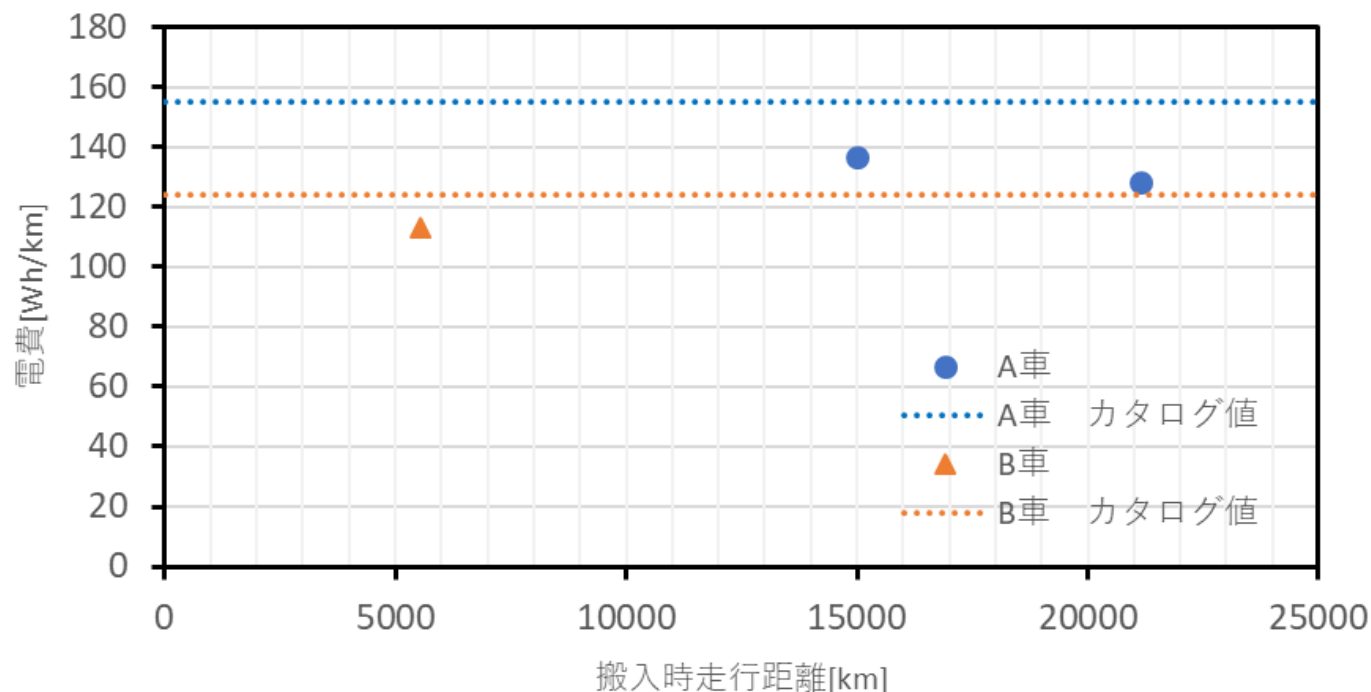
●充・放電の収支が0となる場合を実力値



●バッテリー充電量は、車両のエネルギーモニターを参照して調整

公定試験法における車両性能の確認

- 公定試験法に基づき計測したWLTCモードの電費測定結果

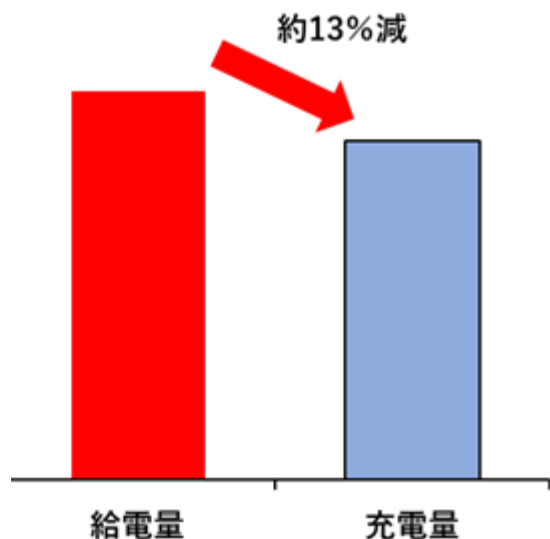


※参考：国の低排出ガス車認定制度における耐久走行距離
乗用車、軽量車：8万km
軽自動車：6万km

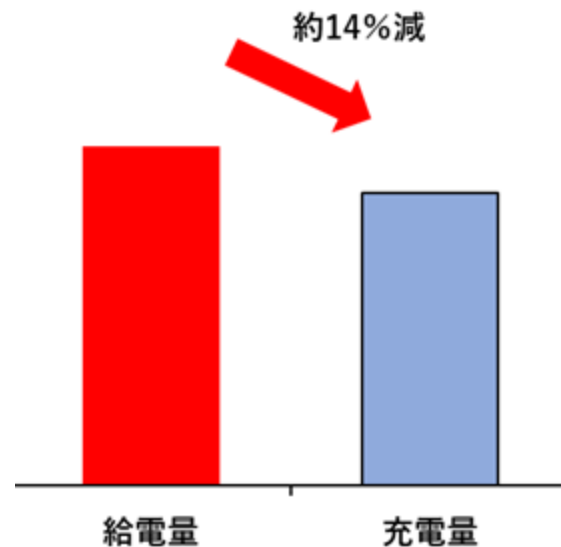
- A車（Compact car）、B車（Japanese mini car）ともに、WLTCモードにおける交流電力量消費率（電費）は、メーカー公表値より少ない結果であった
- A車、B車ともに、一充電走行距離もメーカー公表値と同程度であった
- 本調査において、**使用過程にある電気自動車の性能は維持**されており、バッテリー劣化を確認するには至らなかった

給電量と充電量の差（充電ロス）

・ Vehicle A（2022年調査結果）



・ Vehicle B（2023年調査結果）



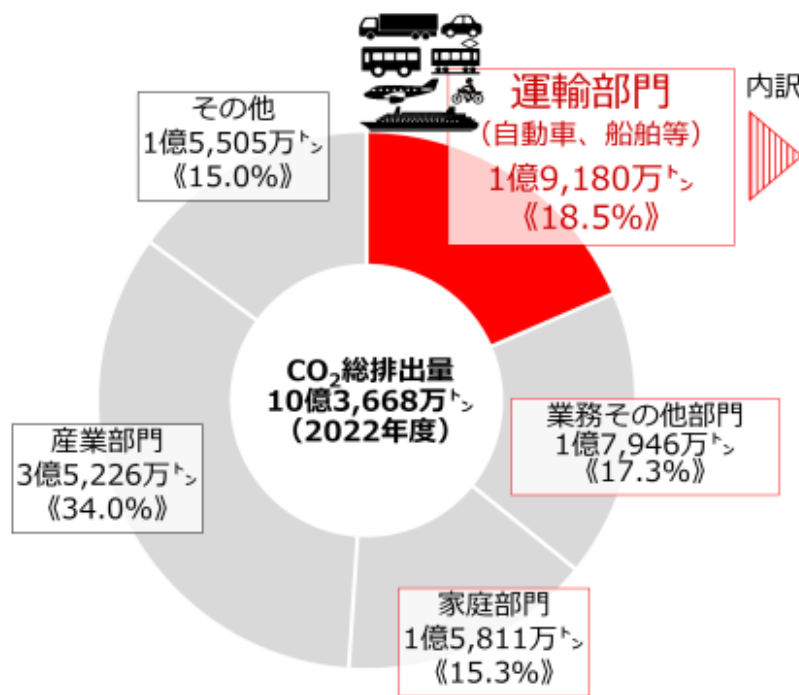
●公定法試験終了後の電欠状態から、3kW普通充電（200V）で商用電力からバッテリーの充電を開始し、満充電に要した充電量を測定

●車両バッテリー側の充電量と給電側（商用電力側）からの充電量には、約10%程度の差（充電ロス）が見られた

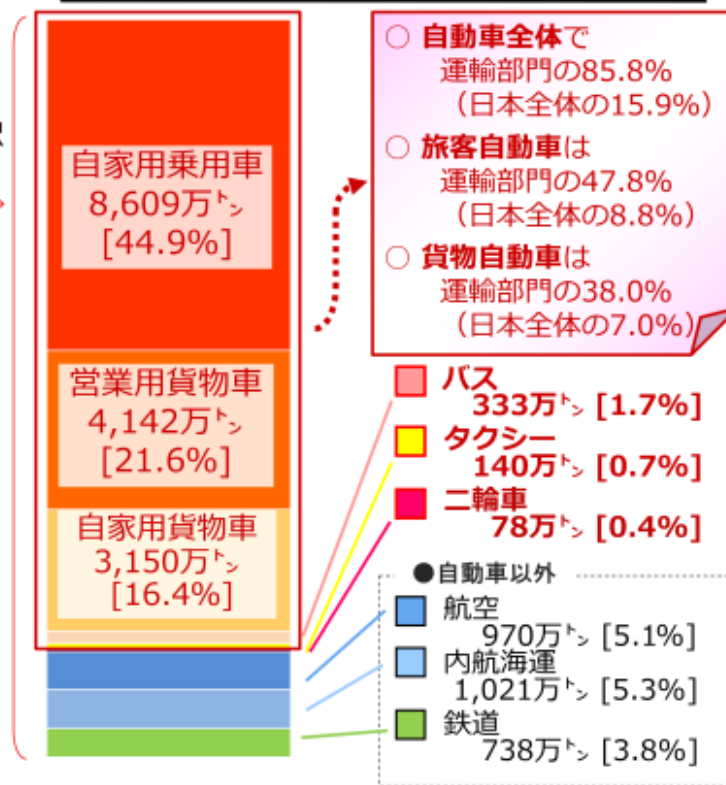
●ロスの原因として、充電コネクタ、車両のパワーモジュール、バッテリーの発熱等による損失や、充電時の車両制御等による電力消費が考えられる

運輸部門におけるCO₂排出量

我が国の各部門におけるCO₂排出量



運輸部門におけるCO₂排出量



※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。
 ※ 電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、それぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分。
 ※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2022年度）確報値」より国土交通省環境政策課作成。
 ※ 二輪車は2015年度確報値までは「業務その他部門」に含まれていたが、2016年度確報値から独立項目として運輸部門に算定。

(引用) 国交省HP

図 運輸部門における二酸化炭素排出量（2022年度）

- ・ 運輸部門からのCO₂排出量は日本全体の約20%にあたる
- ・ 運輸部門の主な排出源は自動車である

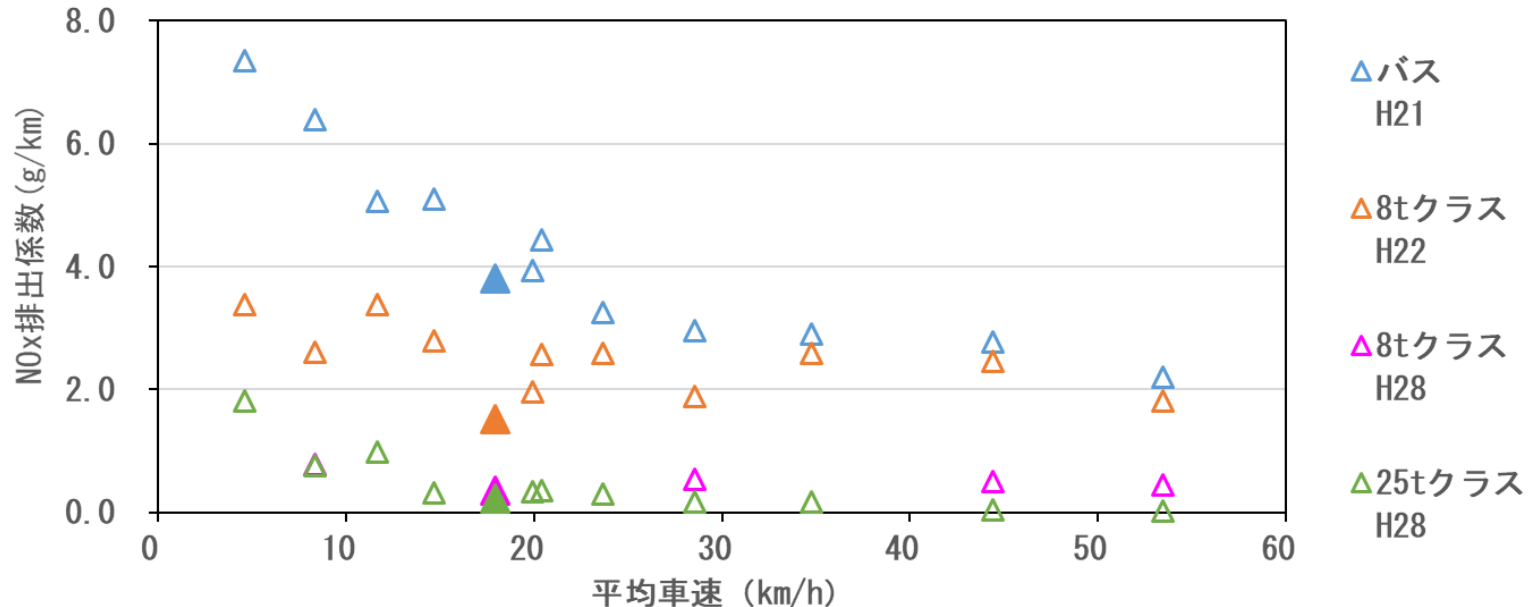
都市内を走行する自動車の排出量算定

○実走行モード

実際の車両の走行状態を再現したモード。実環境における大気汚染物質の排出量算定に利用（森川, 2019）。

日本では1970年代に、東京都の平均車速別の実走行モードが開発（東京都モード）。

○平均車速モデル

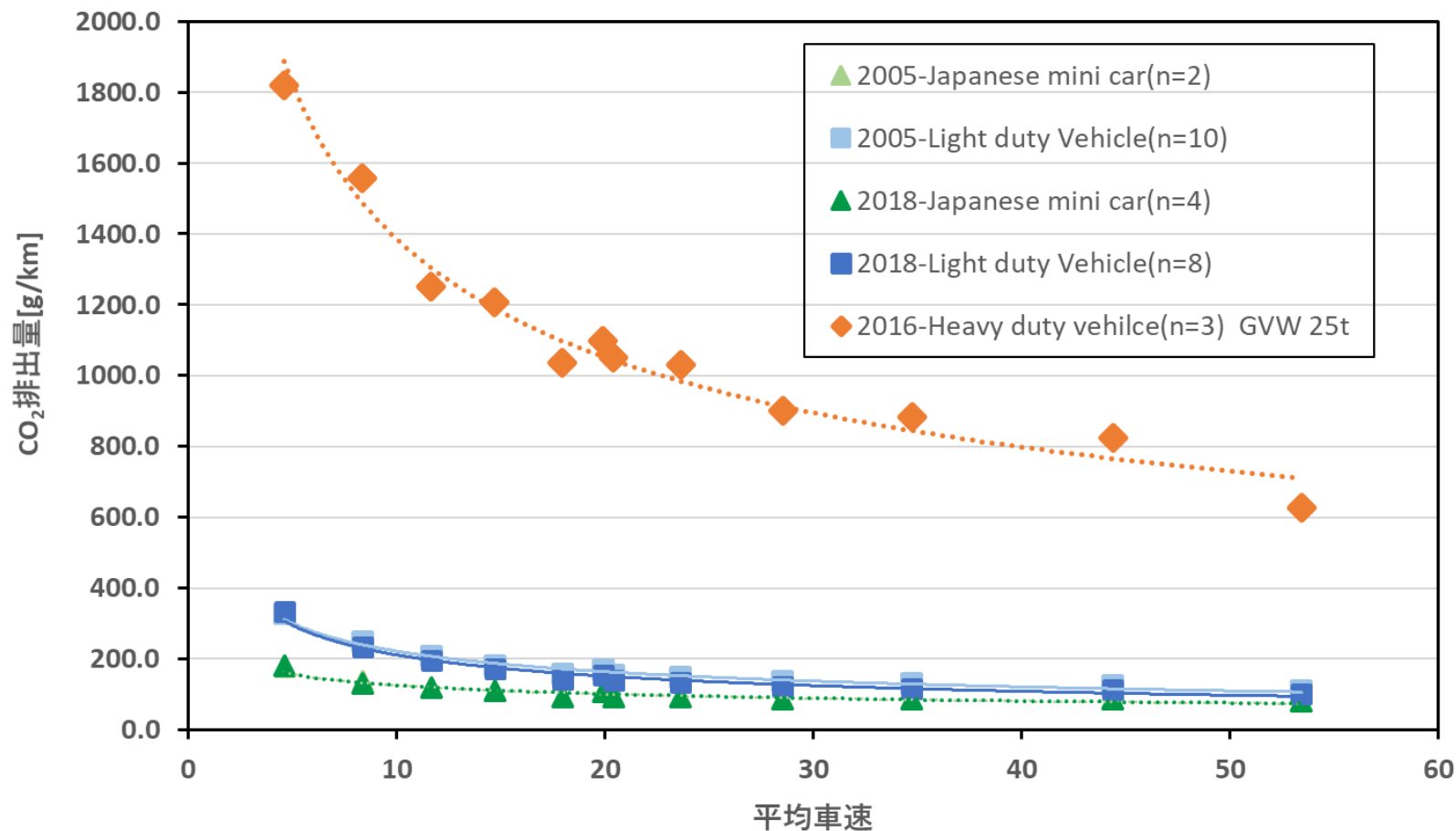


$$EF = a + b/V + c \cdot V + d \cdot V^2 \quad -(1)$$

EF：排出係数 v：平均車速[km/h] a,b,c,d：係数

説明変数として平均車速のみを用いる→排出量予測精度に課題

平均車速別CO₂排出量（重量車）



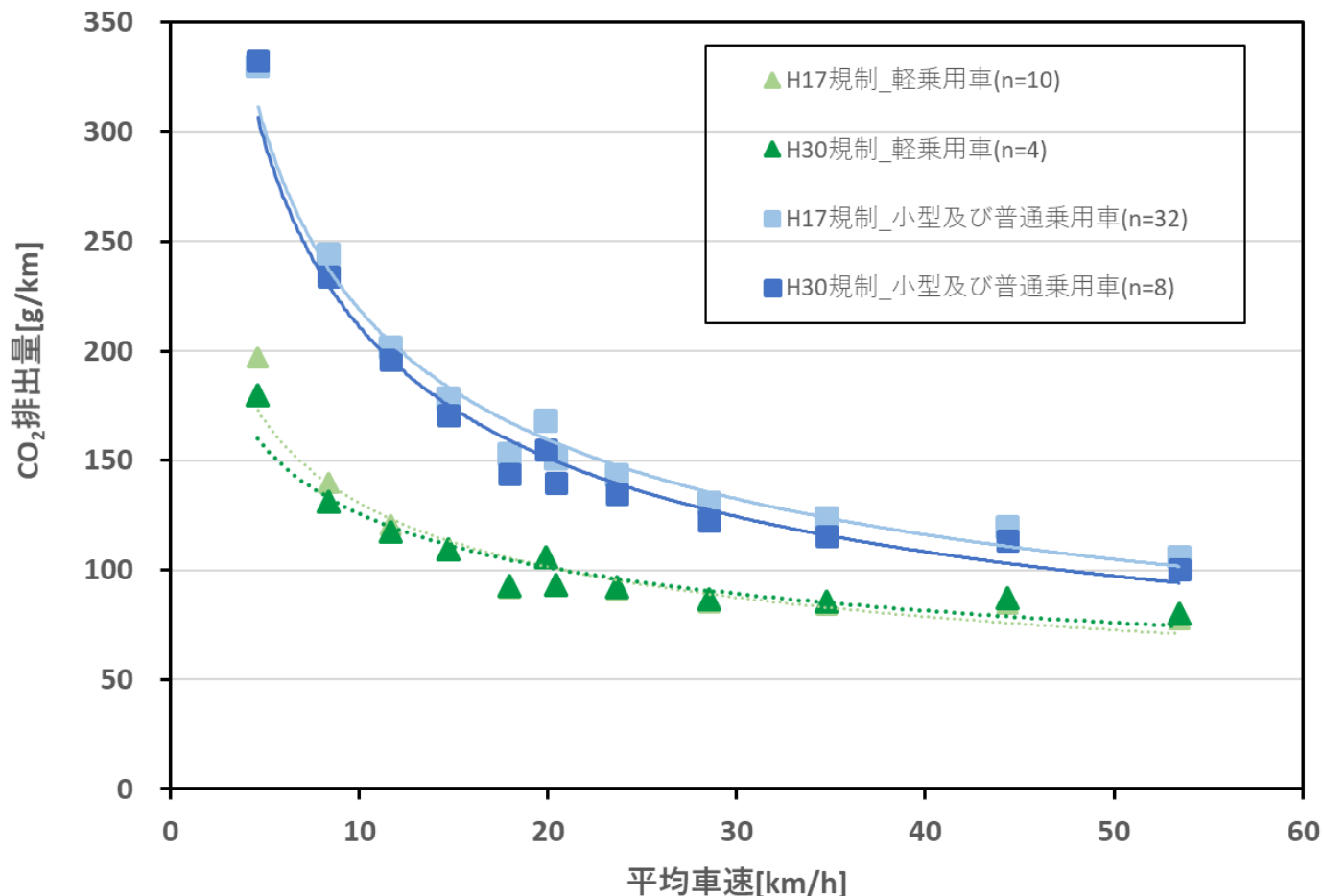
・ディーゼル重量車（GVW 25t）のCO₂排出量は、小型乗用車より多い

●重量車のCO₂排出量は車両重量によって大きく異なるので、等価慣性重量（equivalent inertia weight）で除した排出量（g/t・km）で曲線を得ている

※車両を加速する際に、車重以外に駆動系回転部やタイヤなどを回転させる回転モーメントが必要で、これを重量に置き換えたものが等価慣性重量

平均車速別CO₂排出量（ガソリン車）

- 都モード12種の排出ガス試験により、**都市内走行時の実態に近いCO₂排出量を把握**



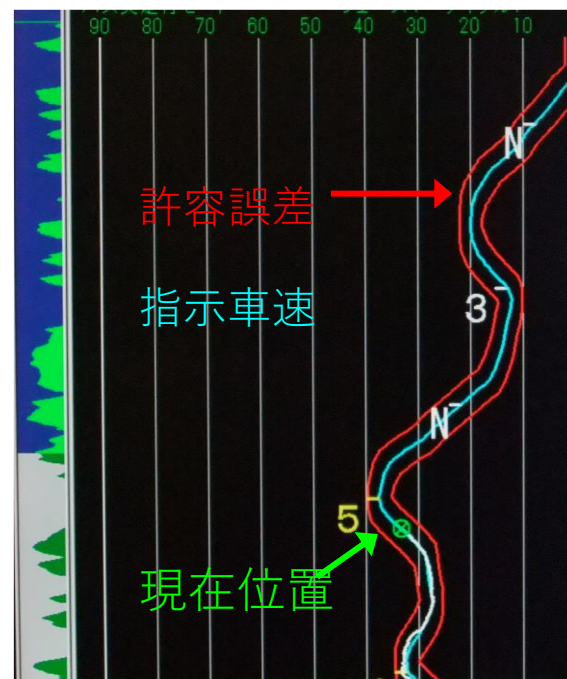
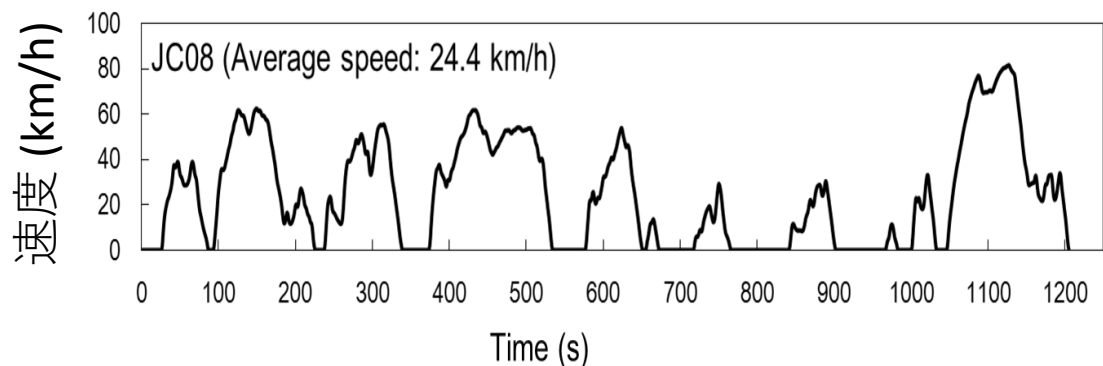
- 平均車速の遅い走行状態ほどCO₂排出量が多い（交通渋滞は大気汚染を招くことを示唆）
- 小型及び普通乗用車のCO₂排出量は、H30年規制車の方が少ない傾向（燃費改善）

排出ガス測定の方法（測定モード等）

法定モード：国の排出ガス認証試験（規制値）で使用されるモード
小型車（JC08、WLTC）、大型車（JE05、WHVC）

+

東京都実走行モード（**都モード**）：都内実走行データから作成されたモード、一般道10種、首都高2種類（平均車速4.6～53.8km/h）

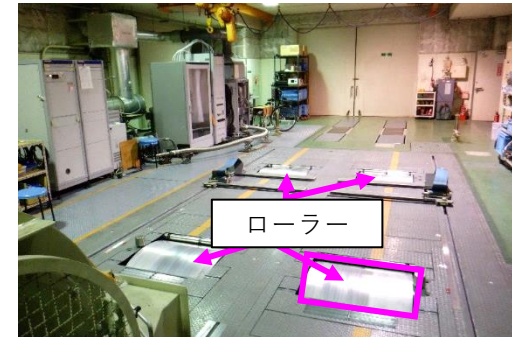
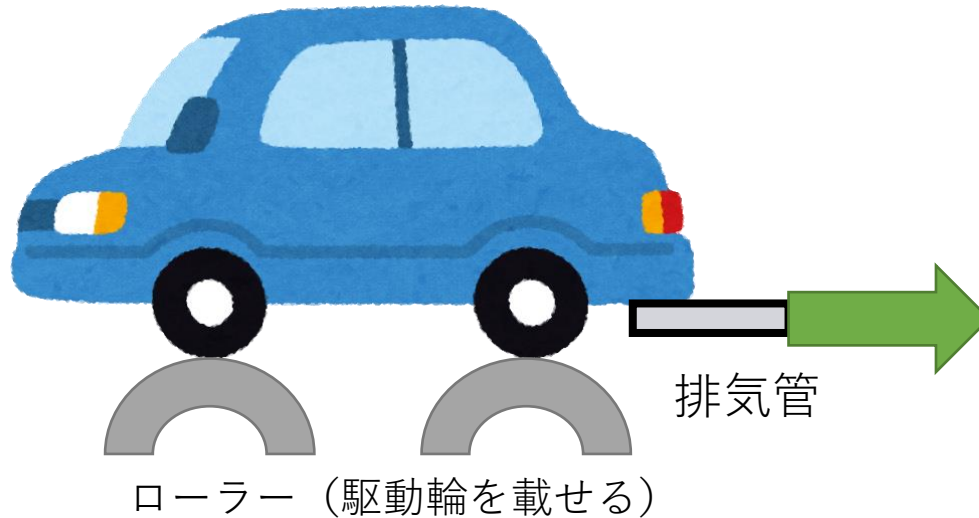


ドライバーズアイド

自動車の排出ガス計測

- ・排出係数を策定には、シャシダイナモメータを用いた排出ガス計測が利用

※主に乗用車等の認証試験で用いられる設備



排出ガス**分析計**へ

- ・当研究所では、実際に使用されている車両の排出ガス計測を実施
 - ・排出ガス規制の効果検証
 - ・未規制物質の排出実態把握
 - ・自動車からの**大気汚染物質等の排出量算定**のためのデータ収集
- 自動車排出ガスの低減対策を効果的に進めることが期待

自動車の排出ガス対策がもたらす課題

1970年代



現在



・自動車汚染対策として、自動車排出ガス規制による車両単体の規制

⇒CO₂、CH₄、N₂Oは現行規制では対象物質ではないが、規制対応の副次的な影響として、後処理装置等での減少もしくは増加が想定

・省エネ法※1において乗用自動車、貨物自動車が「特定エネルギー消費機器」として定められ、目標年度までに、各区分毎の自動車の平均燃費値※2を燃費基準値以上にする（CO₂低減対策の1つ）

⇒基準値の達成に向けて車両の燃費改善や電動化が進むことで、CO₂排出量の低減は想定されるが、CH₄、N₂Oに関しては影響は不明

※1 エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律

※2 燃費の単位：km/L

自動車排出ガス試験の目的

- ①自動車からの汚染物質の排出量算定用データの取得
- ②排出ガス規制の実効性の検証
- ③規制されていない物質の排出状況把握

⇒都内の大気環境の改善に向けた施策の展開



○国の排出ガス規制による試験（認証試験）との違い

認証試験

新車

（販売前の車両）



研究所

使用過程車

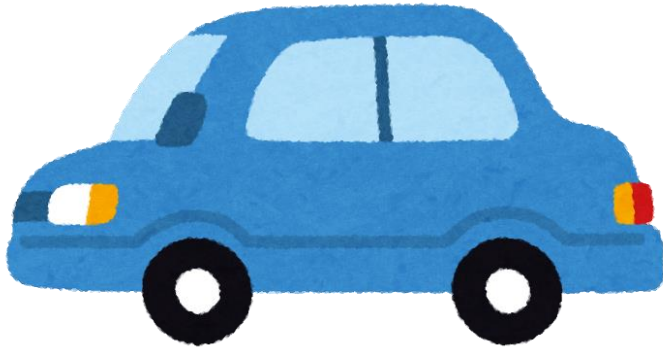
（都内を実走行する車両）

・ 認証試験では新車を一定の条件で試験するが、実走行する車両は様々な走行条件で使用され、走行距離や年数の増加に伴う一定の劣化が想定

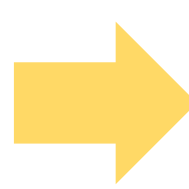
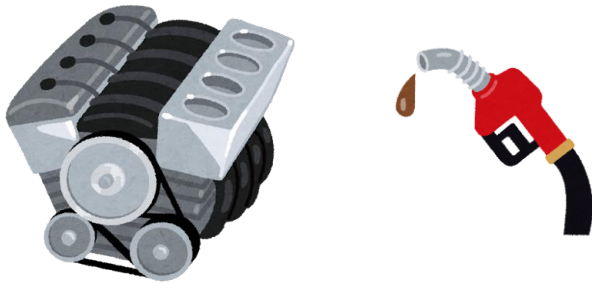
・ 都内の大気環境への影響評価には、**実際に都内を走行している自動車**からの排出量を計測することが重要

自動車から排出される温室効果ガス

自動車：移動発生源



内燃機関（エンジン）が
主流の動力源



CO₂

GWP=1

・燃料が燃えた（酸素と反応した）ときに発生



メタン (CH₄)

GWP=28

・燃料に由来



亜酸化窒素 (N₂O)

GWP=265

・有害性の高い窒素酸化物 (NO_x) を低減
する装置（触媒）で生成

- ・ CH₄やN₂Oは微量成分であるが、温暖化の能力（GWP）がCO₂より大きい
- ・ 自動車からの排出が温室効果へ与える影響が大きい可能性がある