

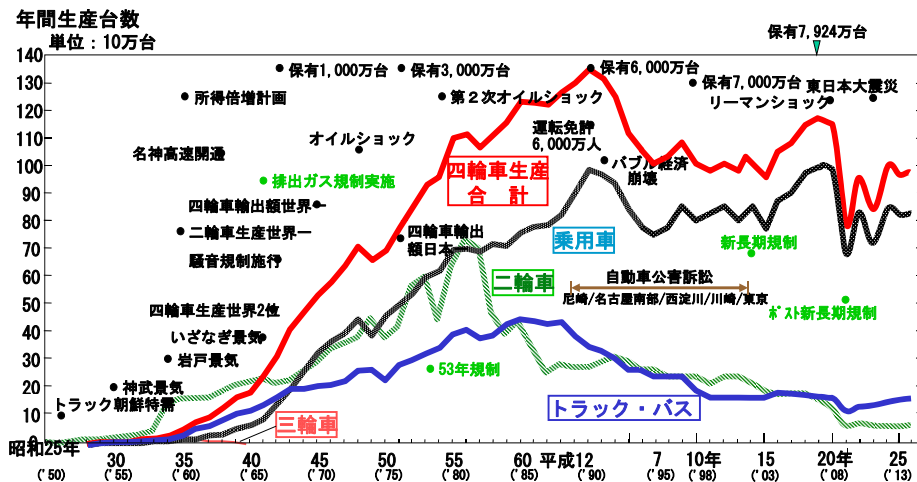
自動車用エンジン技術の進化と燃焼研究

エネルギー科学研究科
(京大機械系1975年卒)
塩路昌宏

1. モータリゼーションと自動車排ガス・燃費規制
環境保全と省資源／クリーン化と高効率化
2. ガソリン・ディーゼルエンジンにおける先進技術
エンジン燃焼方式／次世代技術／先進環境対応車
3. 燃焼研究
 - ・京都大学における研究
 - ・エンジン開発プロジェクト(AICE/SIP)

1

1. 自動車を巡る状況 日本のモータリゼーションと環境問題



(日本自動車工業会2014年12月)

2

自動車の問題点

<局地大気汚染につながる環境影響物質の排出>

光化学スモッグ／神経性障害／呼吸器障害の原因

NOx (NO, NO₂, N₂Oなどの総称): 吸気中の窒素が高温で酸化されて生成

CO, HC (未燃燃料および中間生成物):

不完全燃焼 (壁面消炎, 燃料/混合気の壁面付着等) により生成

PM (黒煙, 可溶有機成分, サルフェートなど): 燃料が酸素欠乏下の高温で生成

毒性／臭気・・・ベンゼン, アルデヒド類, 1-3ブタジエン, ベンゾ(a)ピレン,
含酸素化合物, 硫黄化合物, 芳香族化合物

<地球温暖化につながるCO₂排出>



日本では, 運輸部門約17.1%
(うち自動車が約86.4%) @2013



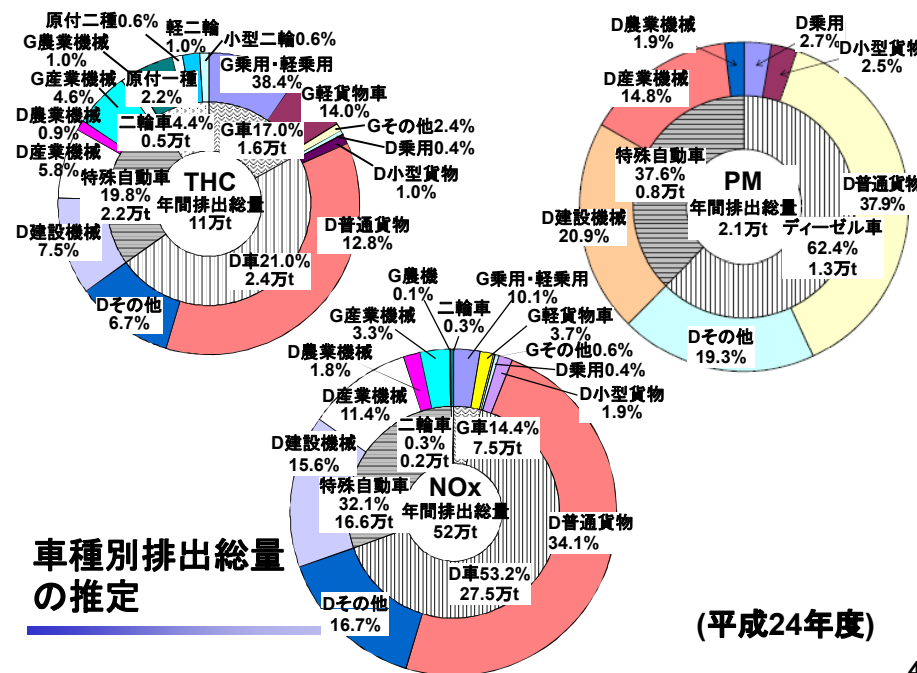
<石油資源の大量消費>

非在来・合成燃料を含めれば量はまだ十分にある

これまでと同じような供給は続けられない

↑ 入力エネルギーおよびコストの増大

3



(平成24年度)

4

我が国の規制動向-1（中環審答申の内容）

第五次答申（平成14年4月16日）

- ・新長期目標を設定（D車：PM重視，G車：NOx重視，平成17年度末迄）
- ・排出ガス試験モードを変更し、平成17年から平成23年迄に段階的に導入
- ・ガソリン中硫黄分を平成16年末までに 100ppm から 50ppm に低減

第六次答申（平成15年6月30日）

- ・二輪車（HC，CO重視）および特殊自動車の低減目標を設定，平成18～20年迄

第七次答申（平成15年7月29日）

- ・軽油中硫黄分を平成19年から 10ppm に低減（平成17年から部分供給を期待）
- ・ガソリンのオクタン価、蒸留性状、蒸気圧、含酸素率の許容限度を設定
- ・軽油の密度、10%残油残留炭素分の許容限度を設定

第八次答申（平成17年4月8日）

- ・2009年目標値（ポスト新長期）を設定・・・2010年の環境基準達成を確保
- ・グリーンカーン直噴車にPM規制，D車のNOx，PM規制強化

第九次答申（平成20年1月29日）

- ・D特殊自動車の低減目標を設定，平成23～27年にかけて達成
- ・排出ガス試験にNRTCモードを採用（定常モード併用），冷機状態も加味
- ・黒煙汚染度の測定にオパシメータを使用

第十次答申（平成22年7月28日）

- ・D重量車のNOx規制強化（2016年より）・・・燃費規制を配慮
- ・試験モードに世界統一基準WHDCの導入（含コールド）など
- ・E10対応ガソリン車の排出ガス低減対策及びE10の燃料規格

5

我が国の規制動向-2（中環審答申の内容）

第十一次答申（平成24年8月10日）

- ・二輪車試験モードをWMTCIに，OBD義務付け（2016年より）・・・国際調和を推進
- ・ディーゼル重量車の後処理検討（SCR触媒のHC被害，前段酸化触媒の劣化，など）

NOx 後処理装置の耐久性・信頼性確保のための措置

新長期規制適合車搭載の尿素SCRシステム（前段酸化触媒、SCR触媒及び後段酸化触媒で構成）においてNOx排出量が大幅に増大することを確認

主に前段酸化触媒の性能低下が原因。定期的な昇温等によるHC被害対策を実施

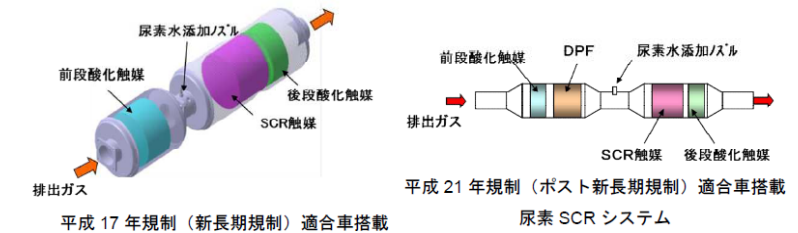
ディーゼル重量車のディフィートストラテジーの適用禁止

法定試験モード外の運転条件で排出ガスを悪化させるディフィートストラテジーと見なされるエンジン制御の適用を禁止し、認証においてその制御の有無を検証

ただし、エンジン保護や車両の安全確保に必要な制御は除く

適切な点検整備の励行、自動車検査による対策

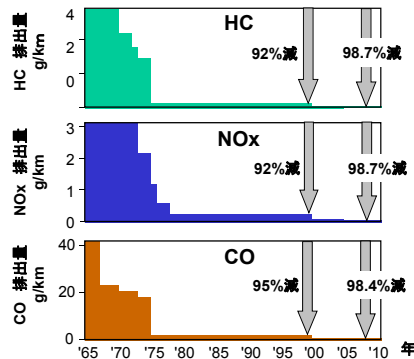
使用過程車全般について、点検整備の励行、車検及び街頭検査時における排出ガス低減装置の機能確認や燃料品質の検査等で、良好な排出ガス低減性能を維持



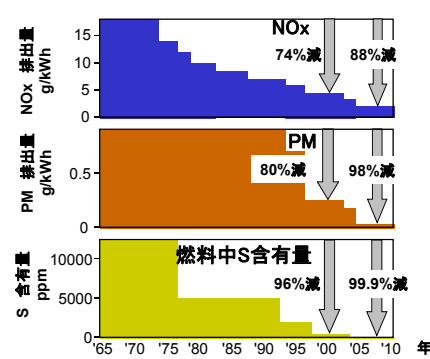
6

エンジン排ガス浄化（規制値）の変遷

ガソリン・LPG自動車



ディーゼル自動車



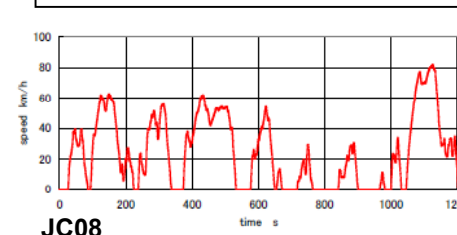
7

我が国の規制動向-3（中環審答申の内容）

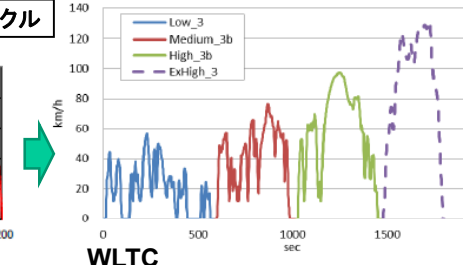
第十二次答申（平成27年2月4日）

- ・乗用車試験モードを世界統一試験サイクルWLTCに変更
- ・排ガスは、現行規制と同等またはそれ以上のレベルを確保
 - ・・・コールドスタートの重みが増える等試験条件が厳しくなる
- ・適用時期は2018年末まで（一部車種は2019年末）
- ・ディーゼル重量車（過給機付）について、ブローパイガスの大気解放を許容
 - ・・・排気管排出ガスとブローパイガスの加算値が規制値以下を条件（国際調和）

乗用車等に係る排気管排出ガス試験サイクル



- ・25±5°Cの室内に6～36時間の間放置
- ・シャシダイナモ上でコールド、ホットそれぞれでJC08モードを走行し、cold:hot=25:75で合算

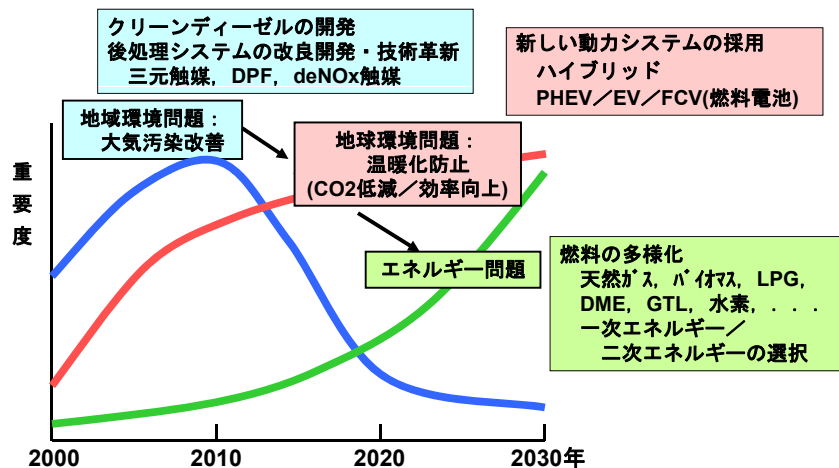


- ・より高い速度域・加速度域をカバー
- ・走行時間、総走行距離が共に増加
- ・アイドリング時間比率の減少

8

自動車用パワートレインに対する課題と重要性

<優先される要因> 健康→コスト→快適性
安全・安心も重要／リスク評価に依存



9

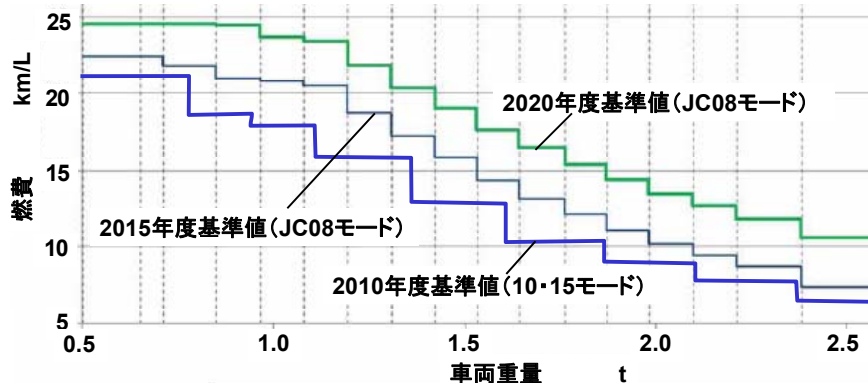
クリーンエネルギー自動車関連動向

1. 改正省エネルギー法 (H11.4)
トッランナー方式を導入
燃費基準 (G車2010年度 / D車2005年度), 10・15モード (ホット)
2. 低公害車等排出ガス技術指針策定調査検討会 第二次報告 (H12.3)
新短期規制の25%減(T-LEV), 50%減(LEV), 75%減(U-LEV)
3. 低公害車新環境格付け制度検討調査会
低公害車の今後のあり方(H16.3)
短期的目標 (新長期規制値の75%、リンパーン及びディーゼルは50%)
税制優遇措置等の低公害車支援措置、低公害車4車種を認定
環境に配慮した次世代車社会と新環境適合車のあり方(H17.3)
大気汚染/地球環境問題/廃棄物・騒音、シフト及びビジョン提示
4. 新燃費基準 (H18.12)
2015年度目標、JC08モード (ホット&コールド)
現行基準 (2010年度) に比べて29.2%改善
5. 新燃費基準 (H23.10)
2020年度目標、ハイブリッド車を考慮(普及率18%), CAFE方式採用
2015年度に比べて19.4%改善
6. 小型貨物自動車燃費基準 (H27.3)
3.5t以下のトラック, 軽・軽量・中量/MT・AT等で区分, CAFE方式導入

10

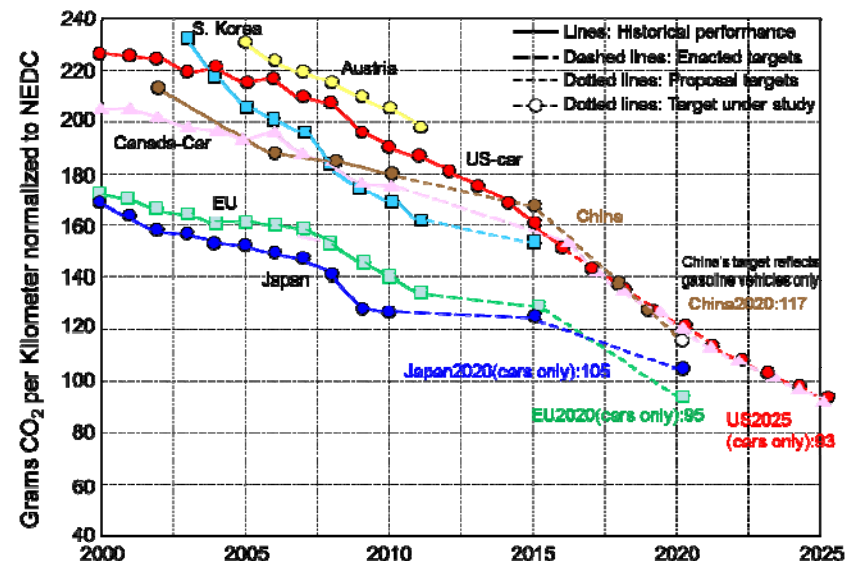
2020年度燃費基準の策定

- ・ **トッランナー方式**
現在商品化されている乗用車のうち最も優れた燃費性能と技術開発の将来見通し等を勘案して定める
- ・ **ハイブリッド車を考慮**
従来車とハイブリッド車の燃費値を、2020年度におけるハイブリッド車の予想普及率(全体平均18%)で按分した値とする
- ・ **CAFE (企業別平均燃費基準) 方式の採用**



11

自動車からのCO₂排出量と、将来的な制限量の推移



Ref.) International Council on Clean Transportation: European CO₂ Emission Performance Standards for Passenger Cars and Light Commercial Vehicles; ICCT Policy Update, 12 July 2012

12

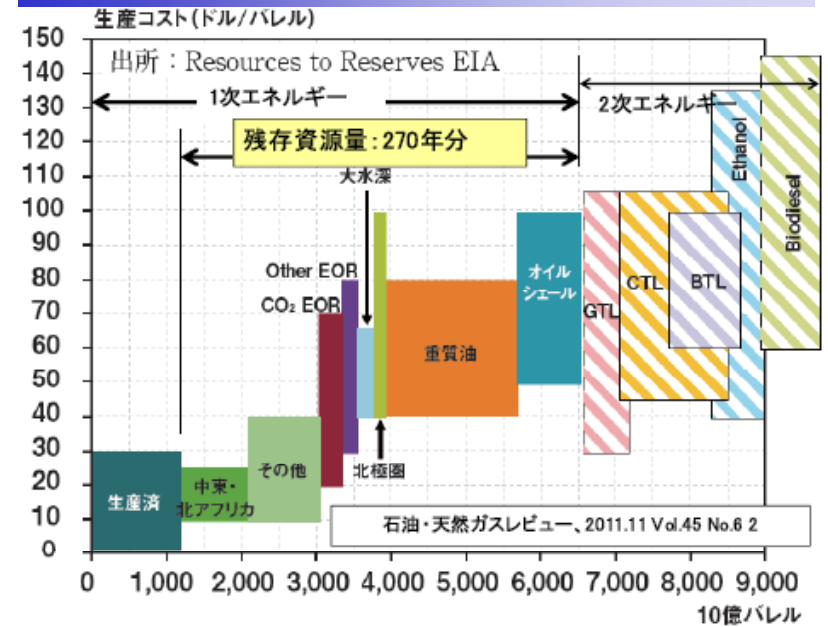
自動車用燃料とその要件

ガソリン, 軽油, LPG, 天然ガス, バッテリー燃料(エタノール, BDF), 合成燃料(DME, GTL, BTL, CTL), 水素, など

燃料供給	資源性, 燃料製造能力, 製造・供給効率(Well to Tank), インフラ整備状況, 燃料充填あるいは充電時間
燃料携帯	容器の容積・重量, 毒性と安全性 取り扱いの容易さ, 保守性
パワープラントとの適合性	総合効率 (Tank to Wheel) ・ 寿命, 保守性の優劣
汚染物質抑制のポテンシャル	燃焼特性, 燃焼技術および設計・制御の最適化の可能性
コスト	ライフサイクルコスト (LCA) , コストパフォーマンス

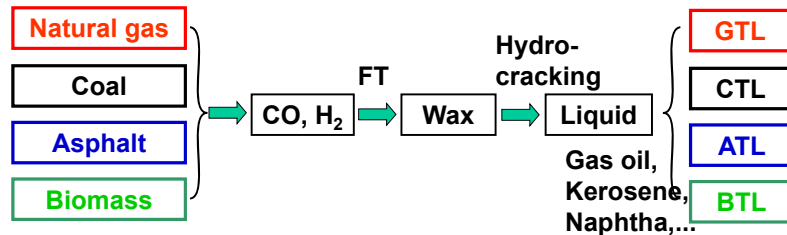
13

資源と埋蔵量、コスト



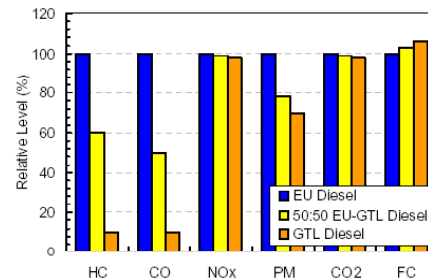
14

合成燃料 GTL (Gas To Liquid)



特徴 (軽油留分):

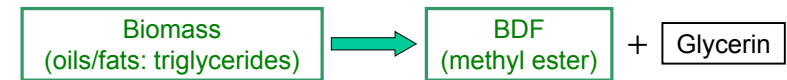
- アロマフリー, 低硫黄 (PM抑制, 触媒被毒抑制)
- 高セタン価 (HC低減)
- 軽油と相溶 (混合使用可)
- 低い自己潤滑性 (要潤滑性向上剤)



15

バイオ燃料 BDF (BioDiesel Fuel)

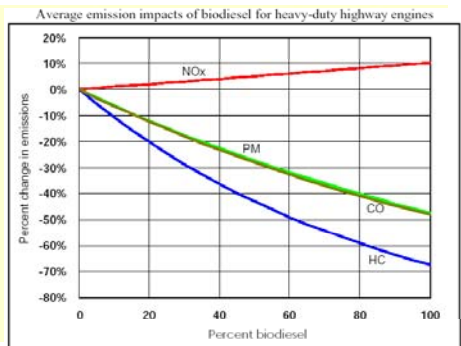
製造法: エステル交換反応 (transesterification)



分子式: $RCOOCH_3$

特徴:

- バイオマス起源 (ライフサイクルCO₂削減)
- 高セタン価 (軽油相当)
- 低硫黄 (PM抑制, 触媒被毒抑制)
- 軽油と相溶 (混合使用可)
- 酸化安定性, 燃焼室内堆積物
- HC排出



16

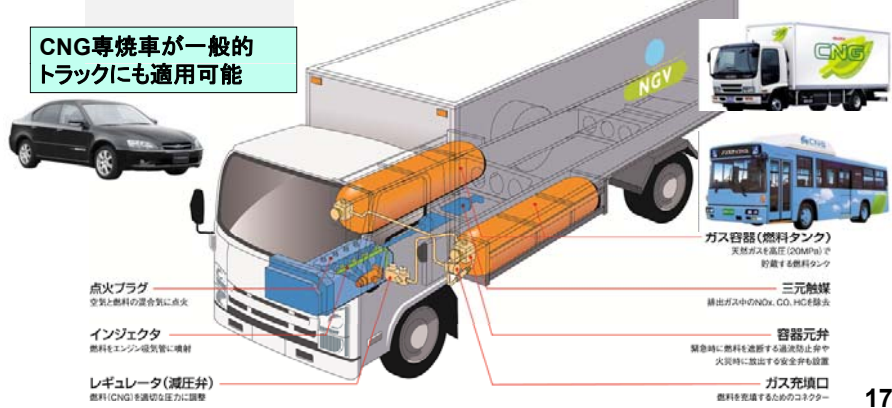
天然ガス (自動車NGV用機関)

燃料形態:
CNG(Compressed Natural Gas) /
LNG (Liquefied NG) / ANG (Adsorbed NG)

燃焼方式:
専焼車; 燃料は天然ガスのみ / 予混合吸気火花点火式エンジン

ハイフューエル車; 2種類の燃料 (通常は天然ガスとガソリン) を携帯し, どちらかの燃料を使用 / 予混合吸気火花点火式エンジン
 デュアルフューエル車; 液体燃料 (軽油) の噴霧燃焼によって天然ガスの混合気を点火・燃焼する

CNG専焼車が一般的
 トラックにも適用可能



- 特徴:
- 高オクタン価 (高耐ノック性, 高圧縮比, 大口径機関)
 - 低C/H比 (低CO₂排出, 低すす生成)
 - 低い体積あたり発熱量 (出力限度)

水素エンジン

水素の燃料としての特性:

- CO₂を排出しない
- 速い燃焼速度
- 超希薄燃焼が可能

燃焼技術の要点:

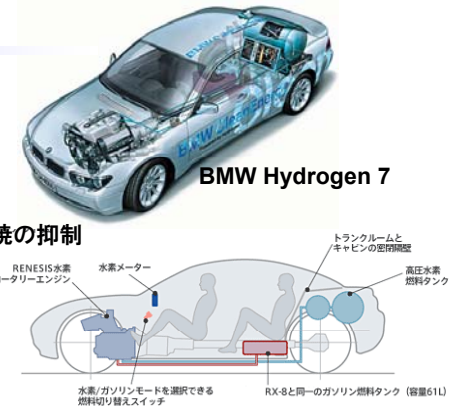
- バックファイア, ノックなど異常燃焼の抑制
- 出力性能向上 (体積効率の改善)

燃焼方式:

- 火花点火希薄燃焼
- 筒内直接噴射火花点火燃焼 (開発中)

課題:

- NOxの排出低減
- 航続距離の延長 (車両)
- 燃料製造, 貯蔵方法の開発



BMW Hydrogen 7

水素エンジンの諸元の例

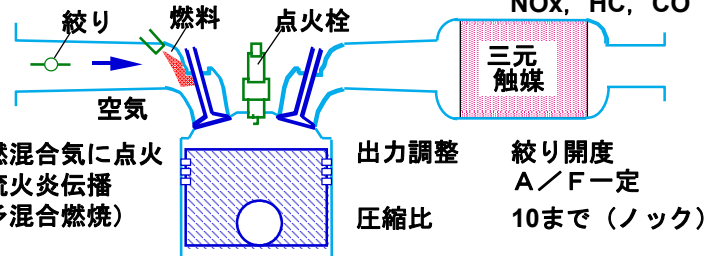
エンジン: 水素ロータリー (バイフューエルシステム)
 燃料: 水素及びガソリン
 最高出力 水素使用時: 80kW(109PS)
 ガソリン使用時: 154kW(210PS)
 航続距離(10・15モード):
 水素使用時: 100km
 ガソリン使用時: 549km



(www.mazda.co.jp)

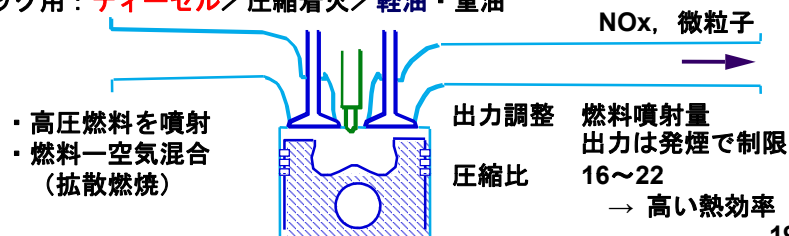
2. エンジンの先進技術 自動車用エンジンの仕組みと特徴

乗用車用: オットー/火花点火/ガソリン・LPG・天然ガス
 NOx, HC, CO



- 可燃混合気に点火
- 乱流火炎伝播 (予混合燃焼)

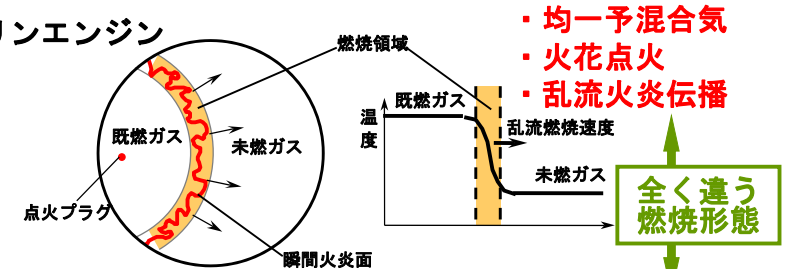
トラック用: ディーゼル/圧縮着火/軽油・重油



- 高圧燃料を噴射
- 燃料-空気混合 (拡散燃焼)

エンジンの燃焼 2~3 ms の高速現象

ガソリンエンジン

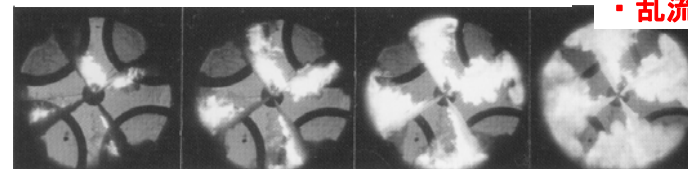


- 均一予混合気
- 火花点火
- 乱流火炎伝播

全く違う
 燃焼形態

ディーゼルエンジン

(噴霧火炎の高速度写真; 毎秒 8,000コマ)



約 0.1 ms

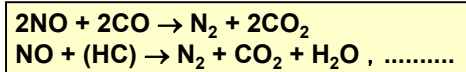
時間

- 噴霧、濃度不均一
- 圧縮着火
- 乱流混合、拡散

ガソリンエンジンがクリーンな理由

大気汚染物質 (NOx・HC・CO) の排出が少ない

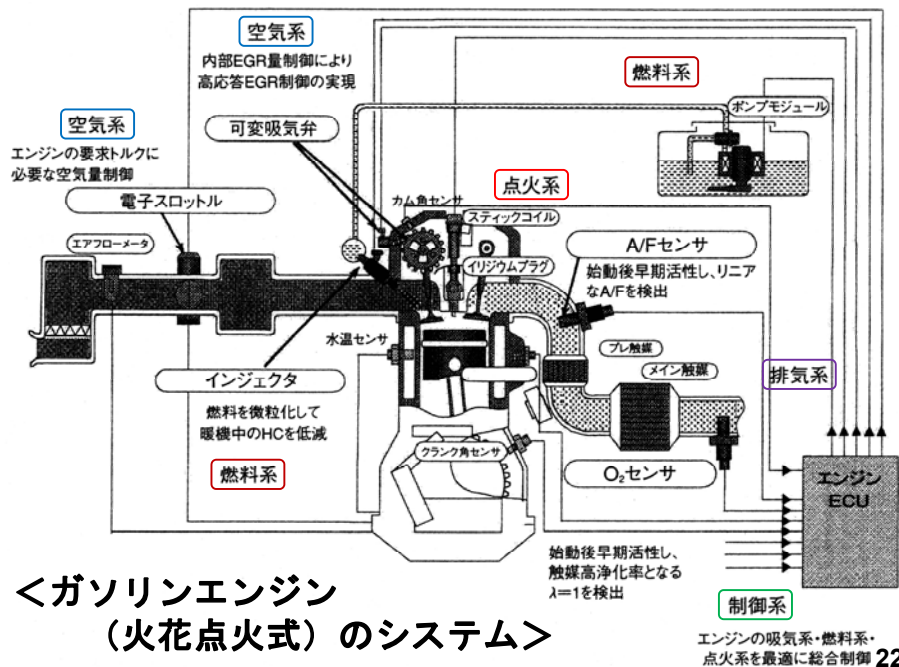
- 燃料と空気を最も燃えやすい割合で混合してから火を点けるので、すす(微粒子)が出ない
- 三元触媒によって NOx・HC・CO を同時に低減できる



ディーゼルエンジンが燃費が良い理由

CO₂ の排出が少ない／熱効率が高い

- 絞りによる損失が少ない (出力は燃料の量で加減する)
- ピストンで圧縮する割合が大きいため、作動温度が高い
理論効率は $(1 - T_0 / T)$ に比例する。
 T_0 : 周囲温度、 T : 作動温度
- 希薄燃焼 (燃焼ガスの熱容量が小さい) なので、同じ発熱量でも膨張量 (得られる仕事量) が大きい



<ガソリンエンジン (火花点火式) のシステム>

エンジンの吸気系・燃料系・点火系を最適に総合制御 22

ガソリンエンジンの排ガス低減と低燃費化のための制御

量論混合気の火炎伝播燃焼／三元触媒／絞り制御／ノック抑制

制御名	機能	
燃料噴射制御	空燃比制御	触媒浄化率の向上
	二重O ₂ センサ利用	最適空燃比条件の設定, 触媒劣化に対応
	減速時燃料カット	燃費向上および燃料カットからの滑らかな復帰
点火時期制御	触媒早期暖機	点火時期遅角による排気温度を増加し, 早期活性化
	ノック検出	高圧縮比化による熱効率向上
	変速時遅角	パワーオン変速時にエンジントルクを下げる
EGR制御	NOx 低減, ポンプ損失低減	
アイドル速度制御	燃費向上	
蒸発燃料排出防止制御	キャニスタ最適パージ	

ガソリンエンジンの課題 熱効率の向上

<熱効率向上の基本的考え方>

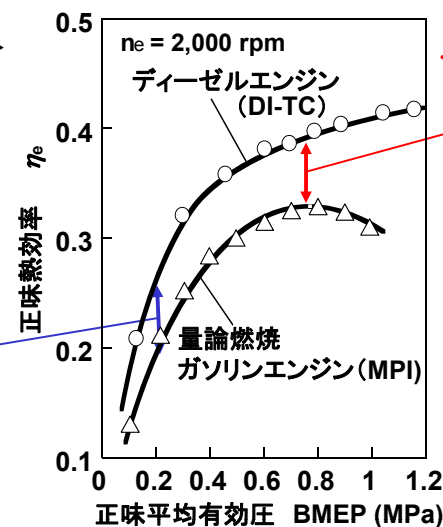
$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$$

ε: 圧縮比, γ: 比熱比
いずれも値が大きくなるほど理論熱効率は向上

<低負荷>

絞り損失
冷却熱損失
比熱比

希薄燃焼
直噴成層燃焼
可変圧縮
EGR



<高負荷>

圧縮比
冷却熱損失
比熱比

希薄燃焼
直噴リーン過給
ノックフリー制御
高圧縮比化
EGR

現在の主な課題と対応技術（ガソリンエンジン）

始動直後の排出物質低減：

- ▶ 点火時期の遅角，噴射弁の微粒化性能改善
- ▶ 触媒熱容量の低減，HC吸着触媒

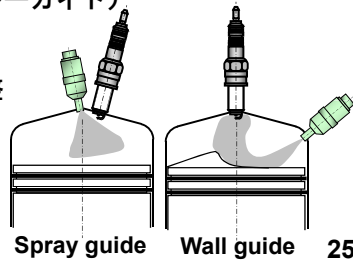
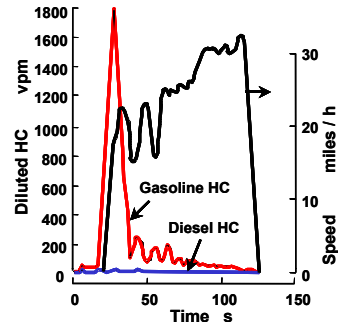
低負荷熱効率の改善：

▶ 希薄燃焼（筒内噴射）

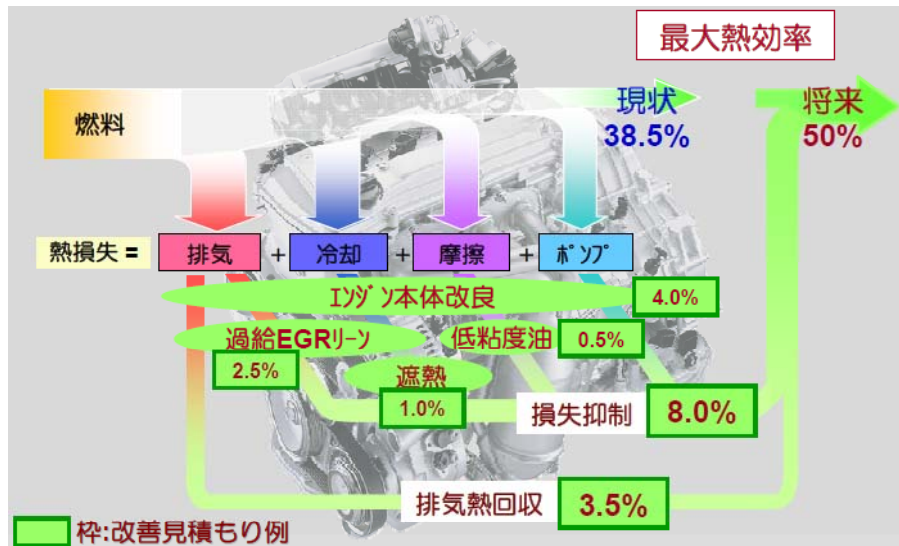
ディーゼル機関並みの低負荷熱効率
リーン触媒の性能向上
未燃成分の排出抑制（噴霧制御，スプレーガイド）

▶ 予混合圧縮着火（PCCI, HCCI）燃焼

可変動弁系の利用による着火時期の調整
筒内噴射による失火，急激燃焼の抑制
スパークアシスト
火花点火燃焼との切り換え制御



ガソリンエンジンの高効率化（最大熱効率50%を目指して）



ガソリンエンジンの特長・課題・対策

特長：排出ガス低減・高出力・軽量コンパクト・
静粛性・低コストなど

CO₂低減（燃費向上）

絞り損失低減

希薄燃焼(直噴)／大量EGR
気筒休止／アキソソサイクル採用

圧縮比向上(ノッキング抑制)

直噴／アキソソサイクル採用
リーンブースト(希薄燃焼＋過給)

等容度の向上

直噴／HCCI・・・低NO_x，希薄燃焼，大量EGR

着火制御方法の確立

運転領域拡大・・・過給

燃焼ロバスト性の確保・・・内部EGR制御，燃料性状変更

燃料の代替性

バイオ燃料(エタノール)
・・・FFV

高圧噴射弁のコスト低減
成層混合気形成の最適化
デポジット形成の抑制
流量が「ミクシング」の拡大

可変動弁システムの開発

ガソリンエンジンの次世代技術

☆効率向上・低燃費 ←

絞り損失低減／等容度の向上
／圧縮比向上(ノッキング抑制)

- ダウンサイジング

- 高圧縮比化

- 可変バルブ機構

- 次世代直噴

- 点火エネルギー強化

- リーンバーン

- 後処理システム

- HCCI

- フリクション低減

- 軽量化

ターボ過給

ノックフリー燃焼制御

圧力センサー，リアルタイム燃焼解析

吸気弁 → 吸・排気弁

高圧噴射弁（噴射多段化・時期制御）

噴霧・混合気形成適正化

レーザー着火，コト放電，MWプラズマ，繰り返しプラズマ

燃料分布，混合気形成

超寿命化，deNO_x触媒，HC吸着触媒

着火時期制御

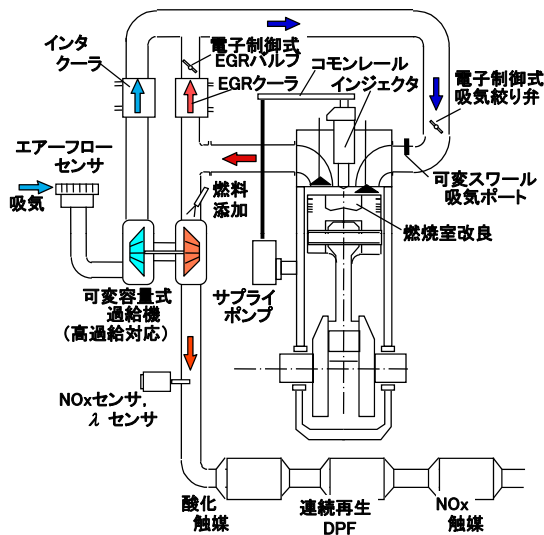
直噴，可変弁機構，EGR活用

材料・要素・構造，潤滑

材料開発，モジュール化，改良マニホールド

EGR活用

ディーゼルエンジンの排ガス浄化技術

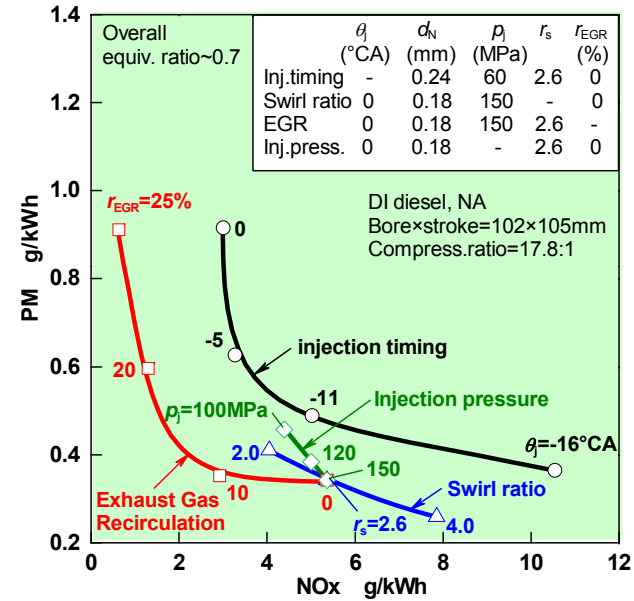


基本技術

- 直噴化； 効率向上・CO₂低減
- 中間冷却過給； 空気量制御・空燃比制御
- 4弁化； 空気流制御・中心噴射
- コモンレール； 高圧噴射・噴射率制御
- クールドEGR； 空気質制御・燃焼温度低減

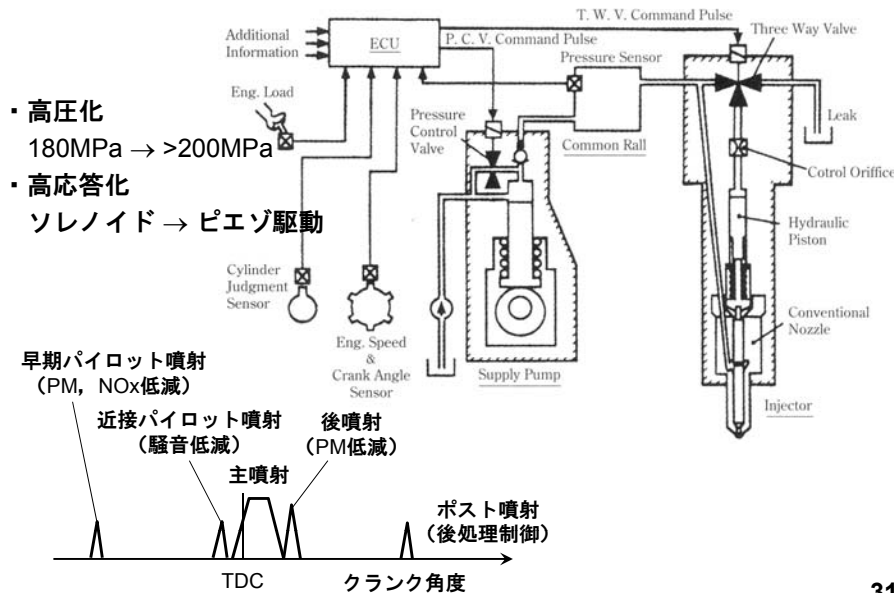
↓
後処理の組合せ

排出物質間の二律背反 (trade off) 関係



PMとNOxには、片方を減らせばもう片方が増えるというトレードオフの関係があり、これがディーゼル機関の排気浄化を難しくしている

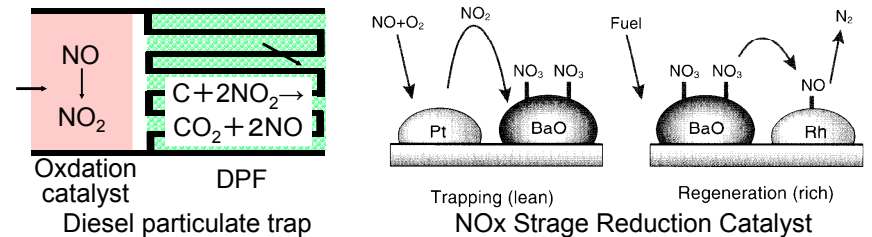
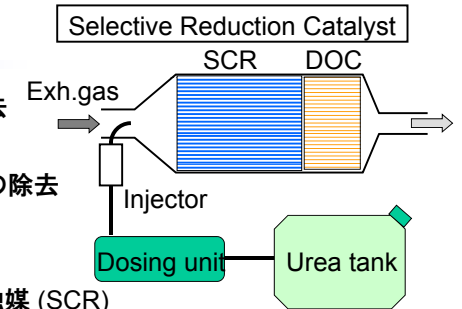
コモンレール噴射システム



- 高圧化
180MPa → >200MPa
- 高応答化
ソレノイド → ピエゾ駆動

排気後処理装置

- 酸化触媒：HC, SOF, COの酸化除去
→ 硫酸酸化物の問題, 硫黄被毒
- 微粒子トラップ (DPF)：微粒子の除去
→ 再生方法, 温度の確保
- NOx除去触媒：NOxの還元,
吸蔵還元触媒 (NSR), 選択還元触媒 (SCR)
→ 硫黄被毒, 温度の確保, 熱効率の悪化 (HC還元)



ディーゼルエンジンの排出ガス浄化指針

燃 焼	高圧噴射	超高压ポンプ, コモンレールシステム, ユニットインジェクタ
	噴射率制御	可変プリストロークポンプ, 2段開弁ノズル, 多段噴射
	燃焼室	深皿燃焼室, 浅皿形燃焼室, 四角燃焼室, 新型燃焼室
	断熱化・遮熱化	燃焼室, 排気弁, 排気ポート, シリンダライナ
	高圧縮比	冷間時のエンジン始動性改善, 青, 白煙抑制
	吸排気系	可変スワール機構, 慣性過給, 多弁化
燃 料	過給	中間冷却ターボ過給, 可変ノズルターボ (VGS), 2段過給
	EGR	熱容量・空燃比制御EGR, 広域多量EGR
	硫黄分低減 含酸素燃料 合成燃料	低硫黄燃料 (酸化触媒の有効性を高める, PM低減) グリコール類, エーテル類 (DME), 炭酸ジメチル 燃料品質改良
後処理	後処理装置	酸化触媒, DPF, NOx触媒 (吸蔵還元型, DPNR, 尿素SCR)
その他	潤滑油消費削減	ピストンリング, 弁系シール
	各部フリクション	運動部分軽量化, 多弁化

33

ディーゼルエンジンの技術発展シナリオ

前処理 燃料性状改良・・・燃料多様化／燃料・オイルの低硫黄化
吸気特性調整・・・高過給／大量EGR／酸素富化

エンジン本体 主要構造・・・機械・熱損失低減／排熱回収技術
燃料噴射系・・・蓄圧・増圧式の組合せ／噴孔特性可変
燃焼系・・・混合気濃度分布の最適化
(予混合的燃焼形態の利用)

後処理 deNOx触媒／PM低減フィルタ
性能向上／耐久性確保／貴金属量低減／コンパクト化

制御技術 各種要素技術の統合制御・・・モトルベ-ス, ファジー
複雑な制御ロジックの開発ツール

34

乗用車用ディーゼルエンジンの次世代技術

燃料多様化／燃料・オイルの低硫黄化／高過給／大量EGR／酸素富化
機械・熱損失低減／排熱回収技術／噴射制御／混合気濃度分布最適化
統合制御(モトルベ-ス, ファジー)／制御ロジック開発ツール

☆高出力・低燃費化

- ダウンサイジング 高圧力比ターボ過給
- 高圧噴射・噴射率制御 ピエゾアクチュエータ
- 可変バルブ機構 吸気弁 → 吸・排気弁
- 低圧縮比化 摩擦動力低減
- フリクション低減 材料・要素・構造, 潤滑
- 軽量化 材料開発, モジュール化

☆排ガス浄化

触媒性能・耐久性向上／貴金属量低減／コンパクト化

- DPF, deNOxシステム
- 多段噴射制御 プレ・ポスト噴射
- PCCI 着火時期制御, 運転範囲拡大

35

商用車ディーゼルエンジンシステムの高効率化

第24回内燃機関シンポジウム (2013.11.27)
フォーラムにて 日野自動車 中島氏 講演資料

(米国スーパートラックプロジェクト)

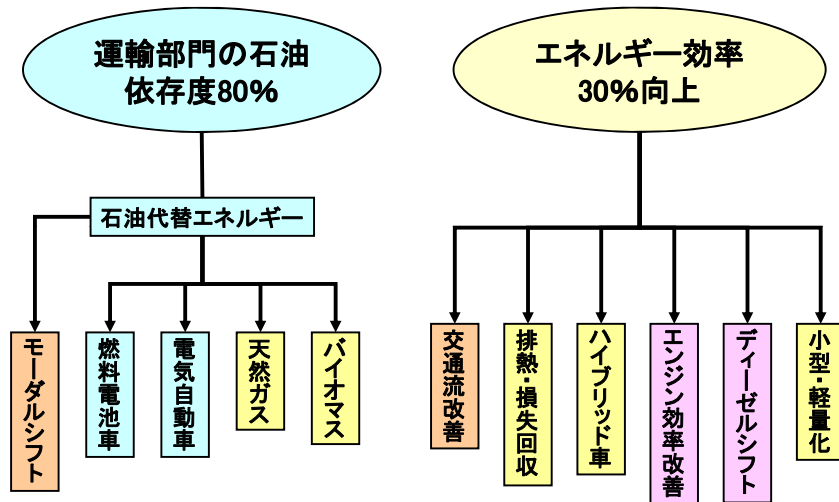
エンジン熱効率50%の実証を目標に技術研究を推進

- ・機械損失 **ダウンサイジング/ダウンスピーディング**
..... **スマートアクセサリ**
- ・燃焼改善 **高圧縮比**
- ・給排気 **高過給、二段過給、効率向上**
- ・EGR率低減 **比熱比向上、触媒性能向上**
- ・廃熱回生 **ランキンサイクル**

エンジン単体で47.5%、廃熱回生込みで51.1%
の熱効率に到達している

36

新・国家エネルギー戦略と対応技術

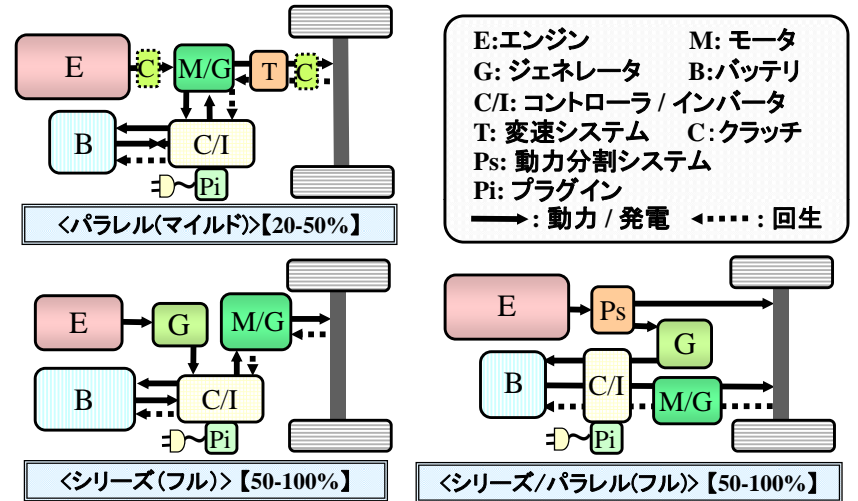


37

各種のハイブリッド方式

★マイクロハイブリッド: アイドルストップと回生機能を持つが、パワーアシスト機能はない。

〈方式〉【燃費改善率】



38

ハイブリッド車の現状

- ・パワースプリット方式の進化 (プリウス)
発電力と駆動力配分の連続最適制御 (高効率エンジン運
回生協調ブレーキシステム (回生効率向上, アイドリングストップ) 活
出力アップ (E 43→57→73kW, M 30→50→60kW)
- ・モータの小型化, 高出力・高効率化
誘導モータから永久磁石モータへ(材料の利用)
- ・電気駆動式4WD (ハリアー)
フロントのエンジン・電池パワーをリアに分配制御
遊星ギアをモータ減速機構に追加
- ・気筒休止機構とのシナジー効果 (アコード)
低速低負荷域では3筒運転 (V6/3Lエンジン)
モータアシストで減筒運転領域拡大
- ・機械式自動変速機とのマッチング (エルフ)
Li電池 (173V5.5Ah×2) 搭載

プラグイン

39

電気自動車と燃料電池車の課題

—電気自動車

- ・電池の高性能化・耐久性向上
充放電効率/エネルギー密度/Liイオン電池
- ・充電インフラの整備
急速充電所・家庭用充電設備の整備
IPT(非接触給電)システムの開発・実用化
- ・電気エネルギーの量的確保(原子力発電・自然エネルギー)

—燃料電池車

- ・高い技術課題
パワー密度1.5倍/耐久性4倍/運転領域2倍
-30℃低温始動性/コスト10分の1
- ・本質的課題
触媒用白金の資源制約/高純度水素使用に限定
熱の有効な使い途がない, など

40

電気自動車の課題と今後

普及への課題：航続距離／充電時間／コストダウン

<1充電走行距離(公称)・充電時間>

- ・ LEAF : 228km / i-MiEV : 180km
- ・ LEAF(24kWhバッテリー) : 約8時間(普通), 約30分(急速)
- ・ i-MiEV(16kWhバッテリー) : 約7時間(普通), 約30分(急速)

<国内累計販売台数>

- ・ LEAF('10.12-) : 約42,700台 / i-MiEV ('09.7-) : 約9,350台

苦戦の要因：インフラ整備(充電設備,等)・初期投資の遅れ／ ハイブリッド車の台頭(消費者イメージの低迷)／EV技術開発の遅滞

- ・ ハイブリッド車やクリーンディーゼル車、等、エコ車の開発・普及
- ・ EVへの乗換インセンティブの減退

今後の方向性：自治体との連携(公共車・観光移動用,等) / EV車のカーシェアリング / インフラ整備(スマートシティ構想の活用)

- ・ EV・PHVマスタープラン策定、等、エコ車の普及

当面、利用拡大は限定的

燃料電池車の課題と今後

- ・ トヨタ試作モデルを発表(販売価格700万円)
- ・ 対EVのメリット：充填時間数分／航続距離-800km／軽量
- ・ エネルギー貯蔵8万台設置済／FC導入への政府支援強化
- ・ 水素ステーション設置助成／エネルギーキャリアPJを推進

FCVの抱える問題：コストダウンの難しさ

<車両(動力システム)開発；PEFCの適用>

Pt使用(資源制約,相場価格)／高純度水素／熱利用不可

<インフラ整備；輸送・貯蔵>

エネルギーキャリア：高圧ガス／液体水素／メタルケミカルハイドライド

<燃料供給・確保；水素製造>

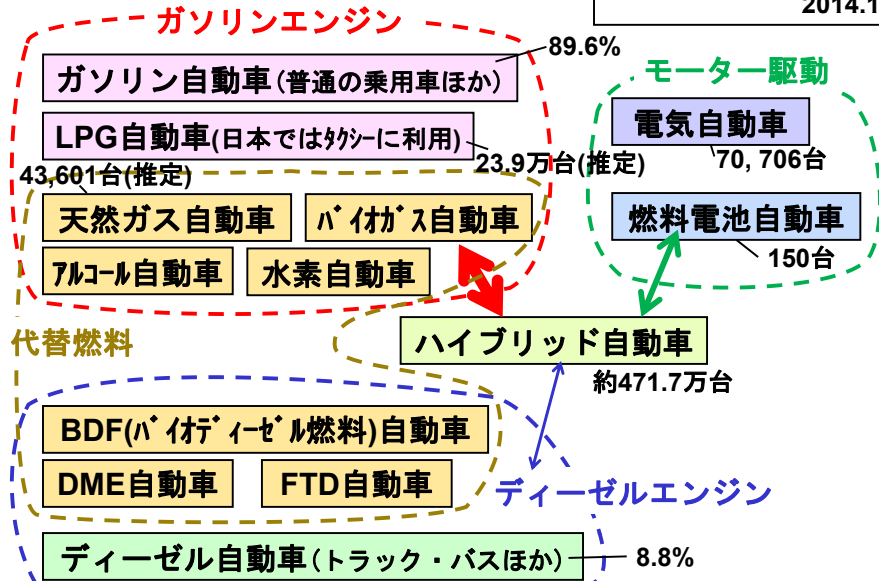
2次エネルギー：副生／改質／電解,安全確保(規制緩和)

今後の方向性：水素社会の構築(コストダウン)

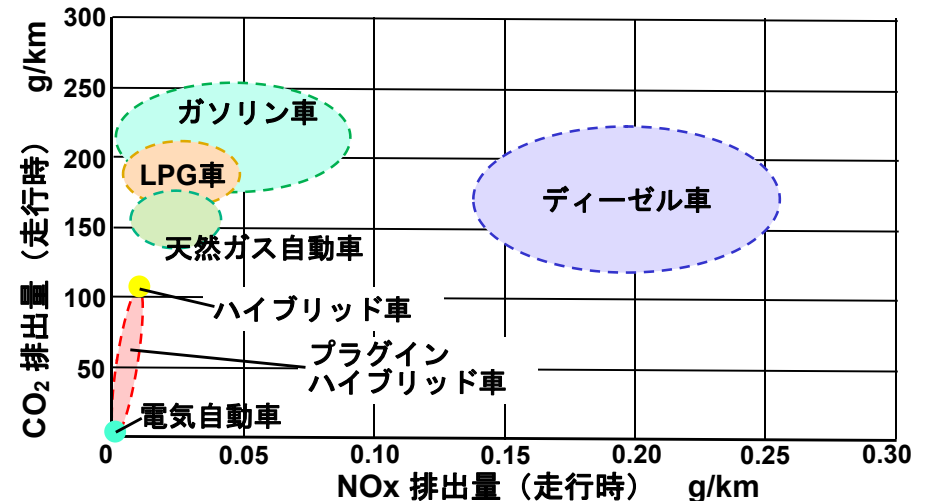
技術開発：燃料電池スタック／量産化(周辺機器,構成要素)／
エネルギーシステム(製造法,輸送・貯蔵法)／政府支援

自動車の種類とその特徴

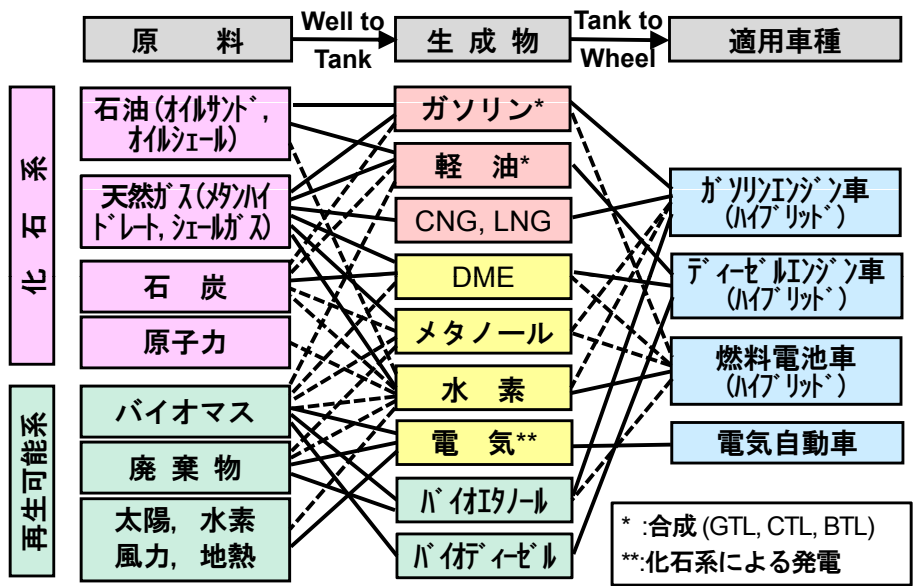
国内4輪保有車 7727万台
(軽:2963万台/38.3%)
2014.12



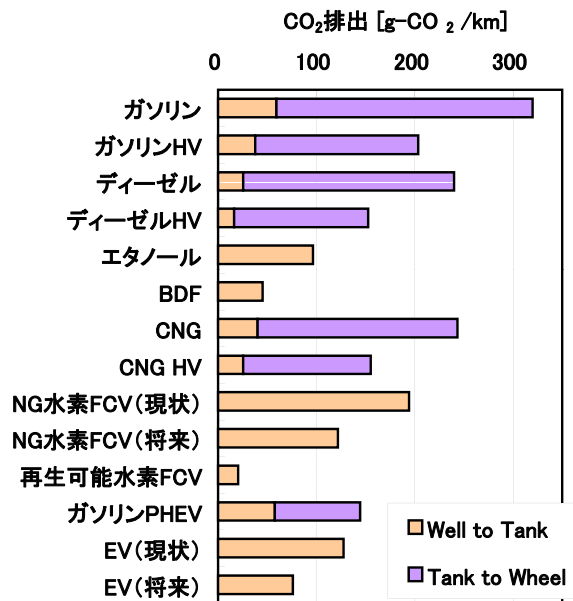
HVとPHVの排出ガスの特徴



自動車用燃料・エネルギー

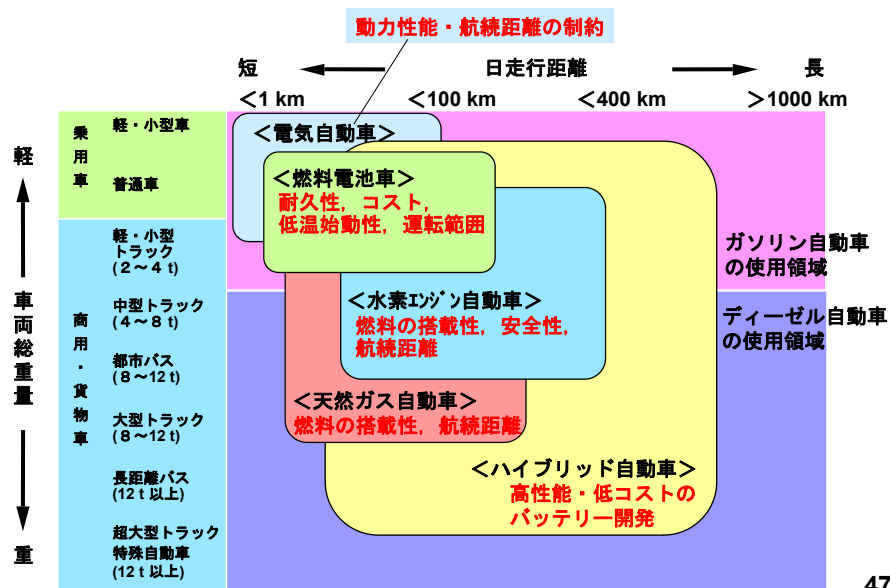


各種自動車のWell to Wheel CO₂排出分析

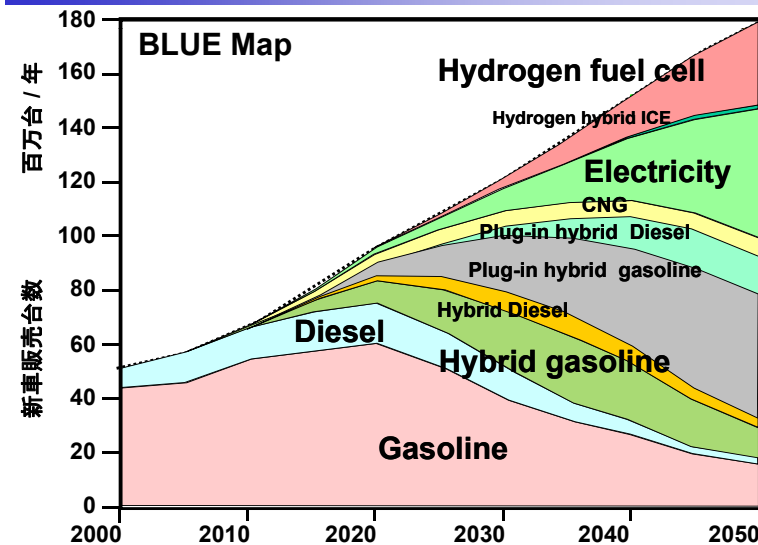


(出所)トヨタ自動車、みずほ情報総研、日本自動車研究所の検討結果と自動車輸送統計年報を基に、実走行時の排出量を算定

様々な自動車の普及分野と課題



輸送部門におけるCO₂低減対策



将来のエネルギー需給、環境対策を考慮した政策に大きく依存

運輸部門対策： 次世代自動車等の環境性能に特に優れた自動車の普及

目指すべき姿

「エネルギー基本計画（経産省，2010.4）」

- ・乗用車の新車販売に占める次世代自動車の割合を、2020年までに最大で50%、2030年までに最大で70%とすることを旨とする。
- ・先進環境対応車（ポスト・エコカー）について、2020年において乗用車の新車販売に占める割合を80%とすることを旨とする。
- ・商用車の更なる高効率化、電動化等を積極的に推進する。

具体的取組

- ・2020年度に向けた乗用車燃費基準を策定し、民間の開発努力を最大限に促す。
- ・環境性能に特に優れた従来車も含めた普及拡大を図るため、必要な政策手段を実施する。
- ・中長期的には、多様な車種の用途・役割に応じた棲み分けが進展する可能性も踏まえ、CNG自動車（天然ガス自動車）、LPG自動車、燃料電池自動車等に対する燃料供給インフラ等の利用環境整備を図る。

49

次世代自動車戦略2010

2010.4経済産業省

2020年において新車販売台数に占める先進環境対応車の割合を、積極的な政府支援を前提として、政府として80%を目標とする。

先進環境対応車 （ポスト・エコカー）

<次世代自動車>

ハイブリッド車／電気自動車／プラグインハイブリッド車
燃料電池車／クリーンディーゼル車／天然ガス自動車、等

+

将来において、その時点の技術水準に
照らして環境性能に特に優れた従来車

50

2020～2030年の乗用車車種別普及見通し

（経産省，次世代自動車戦略研究会，2010.4）

<民間努力ケース：企業の開発実用化の努力による場合>

車種	2020年	2030年
従来車	80%以上	60～70%
次世代自動車	20%未満	30～40%
ハイブリッド自動車	10～15%	20～30%
EV、プラグインハイブリッド自動車	5～10%	10～20%
燃料電池自動車	わずか	1%
クリーンディーゼル車	わずか	～5%

<政府目標：政策的支援を実施した場合>

車種	2020年	2030年
従来車	50～80%	30～50%
次世代自動車	20～50%	50～70%
ハイブリッド自動車	20～30%	30～40%
EV、プラグインハイブリッド自動車	15～20%	20～30%
燃料電池自動車	～1%	～3%
クリーンディーゼル車	～5%	5～10%

51

将来の自動車用エンジンシステムの課題

－クリーンディーゼル／高効率ガソリン車の開発

- ・エンジンと燃料の適合：石油と自動車業界の共同調査（JATOP）事業
- ・後処理システムの実用化，商品化／低コスト化／予混合圧縮燃焼方式

－燃料の多様化

- ・石油系液体燃料の節約：高効率化・代替燃料の利用促進
- ・バイオ系燃料の利用：エタノール・バイオディーゼル（FAME，BHD）
- ・合成燃料製造技術の確立：GTL，BTL，CTL，DME
- ・一次エネルギーと二次エネルギーの選択
- ・周辺基盤整備：優遇税制，限定導入・燃料規格

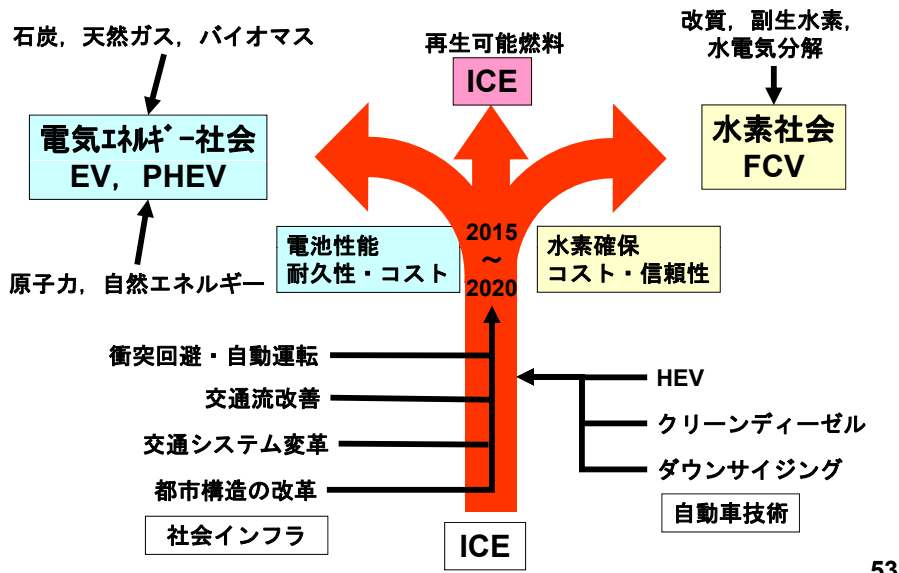
➡ 動力源の主流はエンジン（SI，CI）

－新しい動力システムの採用

- ・ハイブリッド，プラグインハイブリッド
- ・電気自動車／燃料電池車

52

自動車技術・社会インフラの方向性



次世代自動車の展望

社会的動向・ニーズ <ul style="list-style-type: none"> - 燃料ニュートラルの規制 - CO₂、GHG 低減 - 燃料・エネルギー多様化 ・・・2次燃料の使用拡大 	技術的進展 <ul style="list-style-type: none"> - 可変機構の発展 バルブタイミング、スワル、過給圧、... - 燃料噴射システムの高度化 高圧多段噴射、ピエゾ、... - 複合・高機能触媒の開発 リンNOx, SCR, 各種センサ、... - 電気ハイブリッド技術 高性能・低コスト電池の開発 - ITS技術の活用
注目点・話題 <ul style="list-style-type: none"> - ディーゼル乗用車は復活するか - 天然ガス、バイオ燃料 (EtOH, BDF), DME, FTD の利用は拡大するか - NGV, PHV, EV, FCV の利用は拡大するか - HCCI (予混合圧縮着火燃焼), PCCI, RCCI の利用は拡大するか - 燃料電池自動車が実用化(普及)し、水素社会への移行は実現するか 	

まとめ

- <自動車を巡る状況>
 - ・排ガス規制への対応がエンジン開発の原動力
環境基準は概ね達成 (規制強化一段落), 試験モードの世界統一基準
 - ・今は燃費向上に注力/高効率化は自然な流れ (商品力向上に寄与)
 - ・様々な燃料への対応
ガソリン・軽油の性状変化, 液体・気体の代替燃料
- <エンジンの先進技術>
 - ・ガソリンエンジン: 三元触媒システムで排ガス浄化達成 / ノック制御, 過給ターボ, EGR・VVT活用, 直噴リン.....
 - ・ディーゼルエンジン: 高過給, 大量EGR, CR噴射率制御 (高圧多段), 後処理システム (酸化触媒, DPF, SCR, LNT) / 損失低減 (低摩擦, 低冷損), 排熱回収,
- <これからの自動車>
 - ・ガソリン車もディーゼル車も熱効率50%を目指す
/ いずれも損失低減が鍵/産産および産官学連携の動き
 - ・先進環境対応車はエネルギー需給および各国の政策に依存

VWのディーゼル車排ガス不正制御 <補足>

2009~15年型「ゴルフ」「ジェッタ」「ビートル」/14~15年型「パサート」/アウディ09~15年型「A3」のディーゼル仕様車(約48万2000台)に搭載されているエンジンECUのソフトウェアに不正制御が組み込まれていた

- 「ステアリングの位置」「車速」「吸気圧」などから、シャンダイ試験中かどうかを検知し、異なる制御ソフトウェアを用いる
- ・試験時 : 排ガス中の有害物質のレベルを基準値以下に抑える制御。とくに燃費を犠牲にしたNOx低減制御。
 - ・走行時 : 燃費を重視し、NOx抑制するための制御(噴射時期遅延、EGR抑制、deNOx触媒活性を弱める、等)
- 結果として、通常走行時には排ガス中のNOx量は、走行状況によってEPAの基準値の10~40倍に達した
- EPAでは、通常走行時に排ガスの浄化装置の働きを弱める「ディフィート・デバイス(無効化装置)」の搭載を禁止しており、法律違反とされる

West Virginia大 実路走行試験

供試車: ディーゼル乗用車3台 (Tier2 Bin5対応車)

A: DPF+LNT、B: DPF+Urea SCR、C: DPF+Urea SCR

実路走行ルート:

R1: ロス高速、R2: ロス市街地、R3: ロス郊外+登坂路、
R4: サンジエゴ市街地、R5: サンフランシスコ市街地

Route	Route 1 ¹⁾	Route 2 ²⁾	Route 3	Route 4 ²⁾	Route 5 ²⁾
Route distance [km]	70.18	25.67	59.09	21.22	26.72
Avg. vehicle speed [km/h]	77.85	24.09	52.27	26.54	24.69
Max. vehicle speed [km/h]	112.65	92.57	112.65	109.87	112.65
Avg. RPA ³⁾ [m/s ²]	0.24	0.27	0.26	0.30	0.33
Characteristic Power [m ² /s ³]	2.57	2.24	3.93	2.60	2.97
Min. elevation [m a.s.l. ⁴⁾]	46.0	42.1	300.1	1.1	1.0
Max. elevation [m a.s.l.]	360.1	123.5	1319.7	101.4	190.9
Share [%] (time based)					
- idling (<=2 km/h)	7.0	23.8	13.5	26.8	27.9
- low speed (>2<=50 km/h)	20.5	64.2	23.9	57.0	58.9
- medium speed (>50<=90 km/h)	14.9	11.2	55.6	12.9	7.5
- high speed (>90 km/h)	57.7	0.8	7.0	3.3	5.6

¹⁾ week-day, non-rush-hour driving conditions

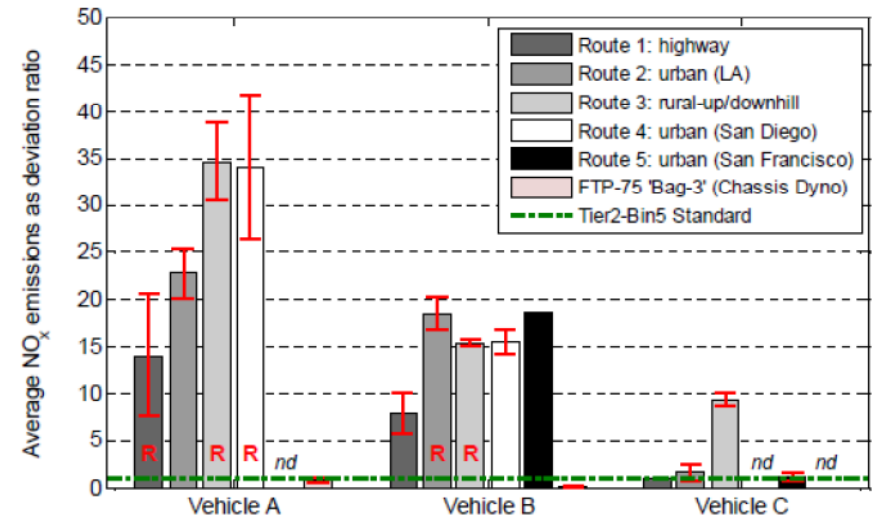
²⁾ typical week-day driving conditions

³⁾ RPA - relative positive acceleration

⁴⁾ a.s.l. - above sea level

57

実路NO_x排出値



悪いクルマ: A & B 車と良いクルマ: C車の間には、歴然とした差が見られる。

58

実走行における排出ガス(RDE)低減対策

車載式排出ガス測定システム

PEMS: Portable Emission Measurement System

- ・試験サイクルから大きく逸脱する場合の実走行における排ガスレベルの維持を確認
- ・欧州重量車排出ガス規制規制 EURO6 (2014より)において、PEMSを活用して実走行時の排出ガスを測定する試験が導入された



- ・PEMS試験の実施や、許容限度目標値の設定、システムの測定誤差や校正、等に課題
- ・我が国の実態を踏まえたPEMSの活用方策について、その適用の可能性を含めて検討を進める

59

LDV-PEMS導入に向けた各国の動向

昨今の排ガス不正問題をトリガーにリアルワールドでの排ガス測定要求の高まりは、避けられない状況にある
⇒ PEMSが世界的に注目される兆しを見せ始めている

- ◆ 日本国内
 - ・国交省をはじめ、各環境機関のPEMSに関する関心が高まりつつある。
- ◆ 中国/北京
 - ・RDE (PEMS) 規制導入に向けたリサーチが既に開始、国6/RDE規制導入に向け展開中。
- ◆ 米国
 - ・ディフィートデバイスの検出として、IUCPのPEMS試験追加適用を示唆。
- ◆ World wide的な視野

今後、PEMSが世界的にクローズアップしてくる可能性有り。

IUCP: In-Use Compliance Program (使用過程車適合プログラム)

欧州のPEMS導入をトリガーに、各国追従の動きもあり、その動向は要注意 60