



2017年5月23日  
大隈小講堂

## AVL 寄付講座シンポジウム

わが国における排出ガス規制と燃費基準  
～過去・現在・将来～

早稲田大学 研究院  
特任研究教授

大聖 泰弘

# モビリティに関わる永遠の課題

## < 環境 >

大気汚染



地球温暖化



## < エネルギー >

石油消費



## < 交通渋滞 >



## < 交通事故 >



## < 自然災害 >



# 国際基準調和のための排出ガス・エネルギーに関する専門家会議 (GRPE)

## □ 全世界規制 (gtr)

- ・ 二輪車排出ガス試験法 (WMTC) (決定)
- ・ ノンロードエンジン試験法 (NRMM) (決定)

- |                                                                                                                                    |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重量車排出ガス試験法 (WHDC)</li> <li>・ 排出ガス故障診断 (WWH-OBD)</li> <li>・ オフサイクル試験法 (WWH-OCE)</li> </ul> | } 重量車排出ガス関係<br>(決定) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|

- ・ 乗用車排出ガス試験法 (WLTP) (決定)

## □ ECE規則改正

- ・ 粒子測定法 (PMP) (決定)

## □ その他

- ・ 環境に優しい自動車 (EFV)

- |                                                               |       |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料性状 (FQ)</li> </ul> | (検討中) |
|---------------------------------------------------------------|-------|

# 1980年から2016年までに生まれた自動車用動力システム

☆35年前の1980年代には予測されなかった次世代車技術が実用化されている。

1980年

## 《 わが国の動向 》

## 《 海外の動向 》

2000年

2015年

2030年

2050年

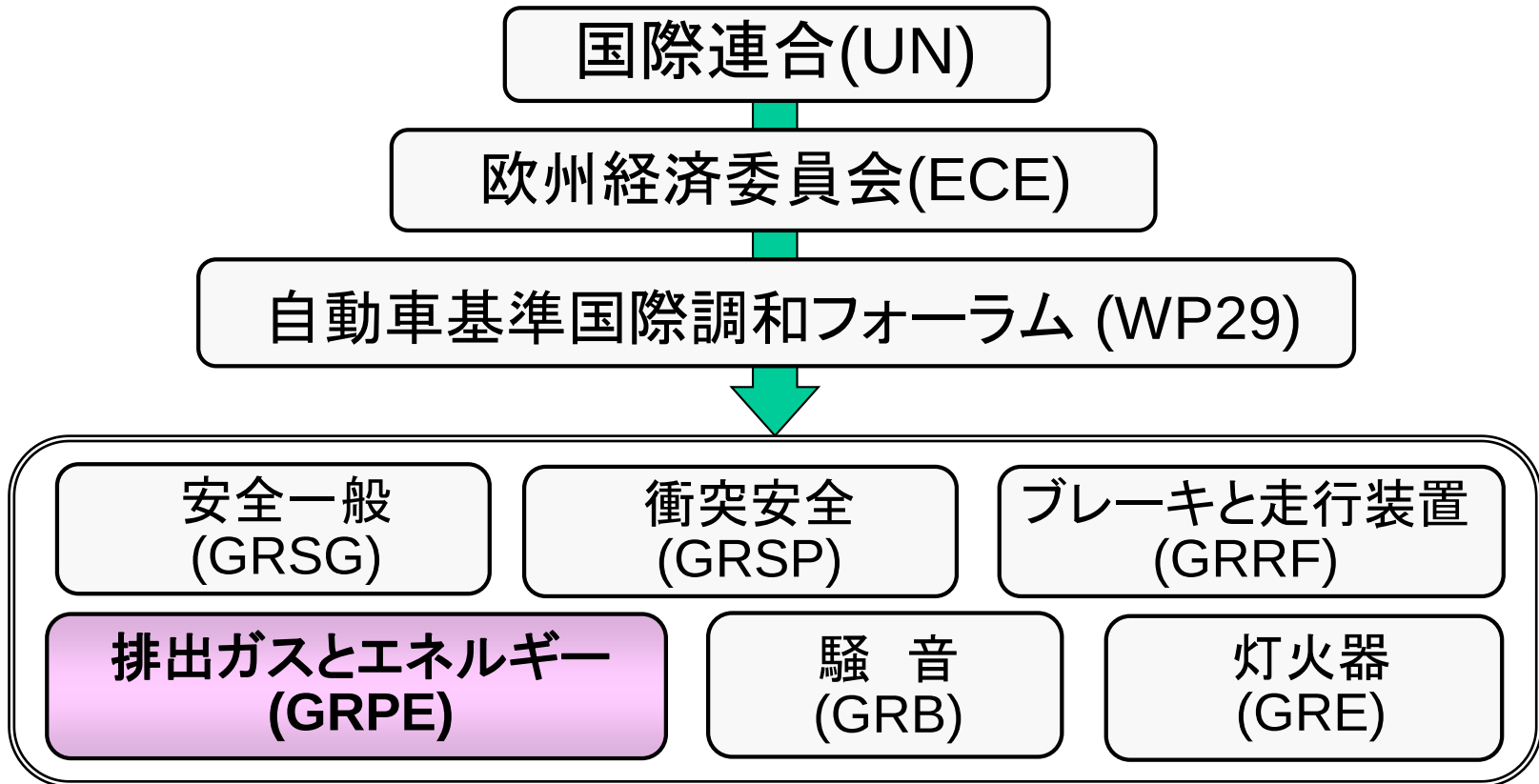
- ・1985 燃費基準の初施行
- ・1991 Liイオン電池の商業化(ソニーET)
- ・1995 直噴ガソリン車(三菱GDI,トヨタD-4)
- ・1997 ハイブリット車(トヨタ・プリウス)
- ・1998 省エネ法でトッランナー方式導入
- ・1999 ハイブリット車(ホンダ・インサイト)
- ・2002 JHFCプロジェクト(~2010)
- ・2009 EV(三菱・iMiEV)
- ・2010 EV(日産・Leaf)
- ・PHEV(トヨタ・プリウス)
- ・2012 ディーゼル乗用車(マツダ・CX-5)
- ・2013 PHEV(三菱・アウトランダー)
- ・2015 FCV(トヨタ・Mirai)
- ・2016 FCV(ホンダ・クラリティフュエルセル)

- ・1980~日米自動車貿易摩擦
- ・1992 地球サミット「リオ宣言」
- ・1993 米国PNGV(燃費3倍プログラム)
- ・1997 京都議定書(COP3)
- ・1998 米国加州LEV, ZEVプログラム
- ・1999 米国加州FCパートナーシップ
- ・2000~EUでのディーゼル乗用車の本格普及, ダウンサイジング直噴ターボガソリン車の登場
- ・2008 EV(米国テスラ・ロードスター)
- ・2009 オバマ政権のスマートグリッド構想
- ・2010 EV(GM・シボレーボルト)
- ・2012 米国シェールガス・オイル商業化
- ・2015 パリ協定(COP21)

☆2030年まであと15年, CO<sub>2</sub>を30%低減出来るか?

☆2050年まであと35年, どんな技術を研究開発し, 普及すべきか?

# 自動車に関する国際基準調和活動の枠組み



- わが国としては、開発の合理化が図られる国際基準調和に積極的に参画し、推進すべき。そのような戦略の構築と国際舞台で活躍し得る人材の育成が重要な課題。
- 注)各国の基準認証制度が国際貿易の不必要な障害を防ぐためのWTOの「貿易の技術的障害に関する協定」(1995年1月17日発効)に基づく。

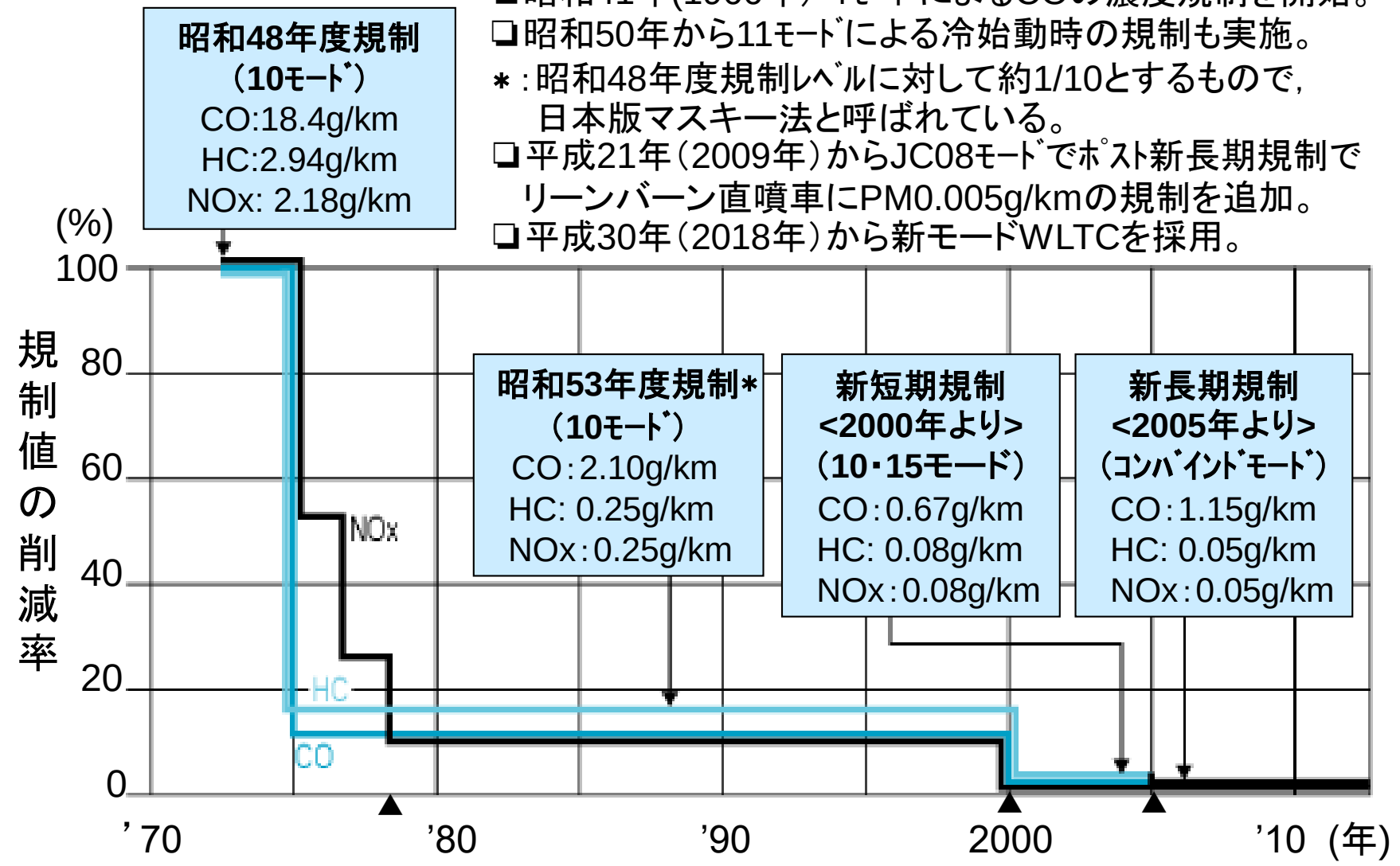
# 自動車排出ガス規制に関わる中央環境審議会の 答申の経緯(1996年諮問)

- ・ 中間答申 (1996年) : 二輪車規制導入, ガソリンの低ベンゼン化
- ・ 第二次答申 (1997年) : ガソリン車の新短期, 新長期規制  
ディーゼル特殊自動車規制導入
- ・ 第三次答申 (1998年10年) : ディーゼル車の新短期, 新長期規制
- ・ 第四次答申 (2000年12年) : ディーゼル車の新長期の前倒し  
ディーゼル特殊自動車の前倒し  
軽油の硫黄分の低減 (500→50ppm)
- ・ 第五次答申 (2002年4月) : ディーゼル・ガソリン車の新長期規制
- ・ 第六次答申 (2003年6月) : 二輪車, 特殊自動車の規制強化
- ・ 第七次答申 (2003年7月) : 軽油の超低硫黄化 (50→10ppm)  
ガソリン, 軽油の燃料品質規制の強化
- ・ 第八次答申 (2005年4月) : ディーゼル・ガソリン車の次期規制  
(ポスト新長期規制, 2009~2010年)
- ・ 第九次答申 (2008年1月) : ディーゼル特殊自動車の規制強化
- ・ 第十次答申 (2010年7月) : ディーゼル重量車NOx挑戦目標, E10燃料
- ・ 第十一次答申 (2012年8月) : 二輪車, ディーゼル重量車, ディーゼル特殊車の  
排出ガス低減対策
- ・ 第十二次答申 (2015年2月) : 乗用車等の排出ガス試験方法の国際調和等
- ・ 第十三次答申 (2017年5月) : (パブリックコメント受付中)

# わが国におけるガソリン乗用車の 排出ガス規制値の推移

(国交省  
自工会  
資料他)

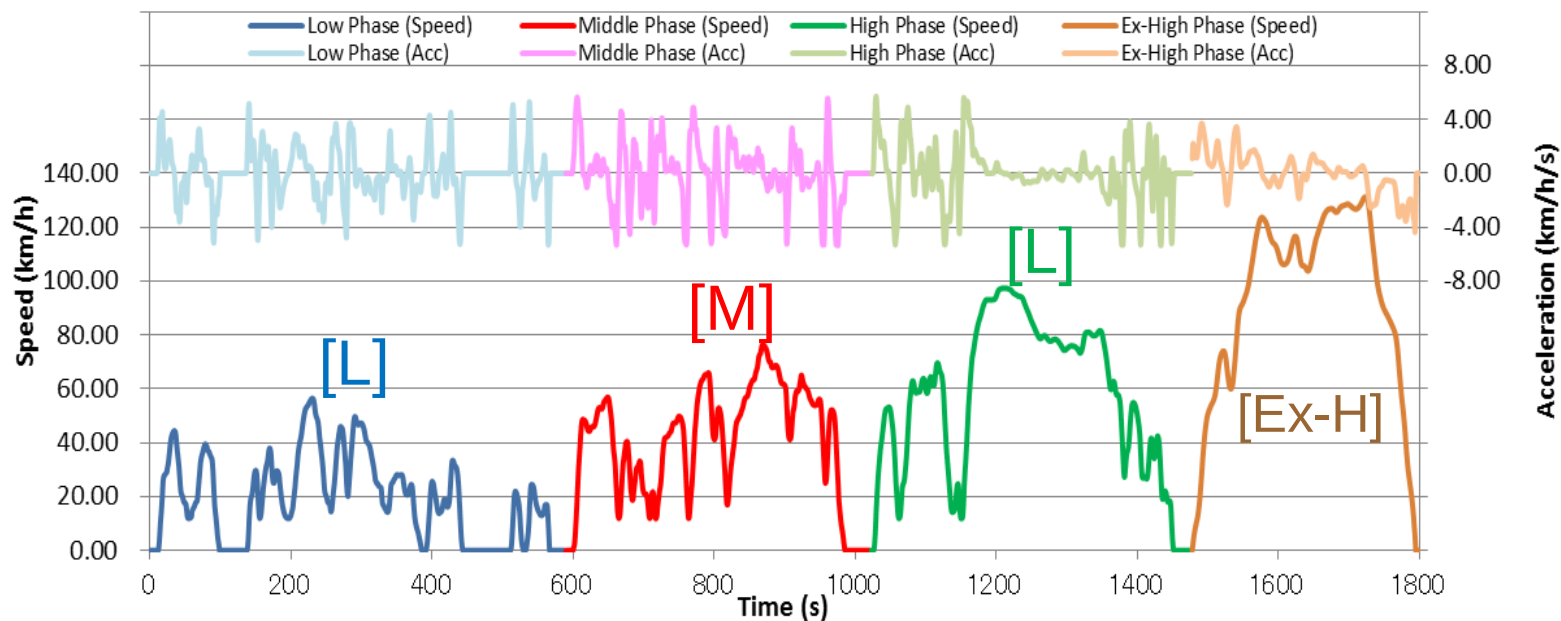
- 昭和41年(1966年) 4モードによるCOの濃度規制を開始。
- 昭和50年から11モードによる冷始動時の規制も実施。
- \* : 昭和48年度規制レベルに対して約1/10とするもので、日本版マスキー法と呼ばれている。
- 平成21年(2009年)からJC08モードでポスト新長期規制でリーンバーン直噴車にPM0.005g/kmの規制を追加。
- 平成30年(2018年)から新モードWLTCを採用。





# 乗用車の世界統一排出ガス試験法“WLTP”を決定 (中環審第12次答申より, 2015年2月)

- ❑ 重量車を除くガソリン・LPG自動車及びディーゼル自動車を対象に, UN-ECE/WP29で, 我が国も参画して世界統一試験サイクルWLTCを含む世界統一試験法WLTPを採用することとした。WLTCの導入対してJC08モードでの排出ガス特性との相関を取り, 新たな排出ガス許容限度目標値の設定され、2018年から実施される。
- ❑ 燃費基準でも採用され, L, M, Hの燃費も表示される見通し。



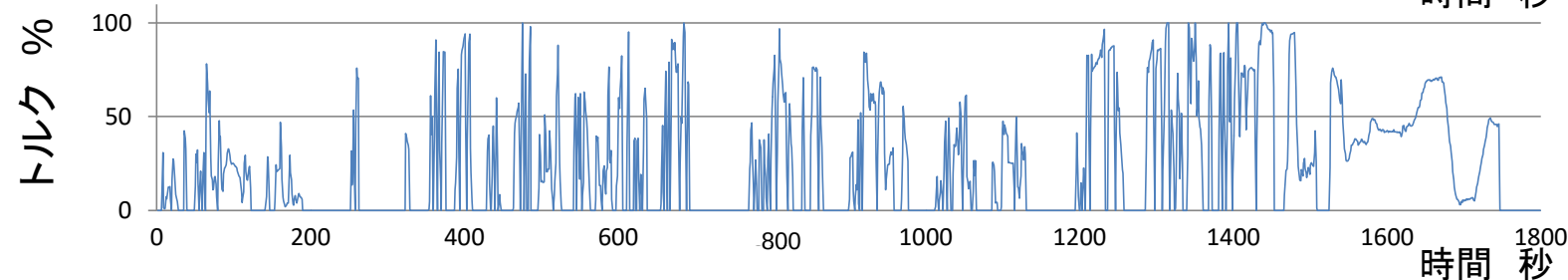
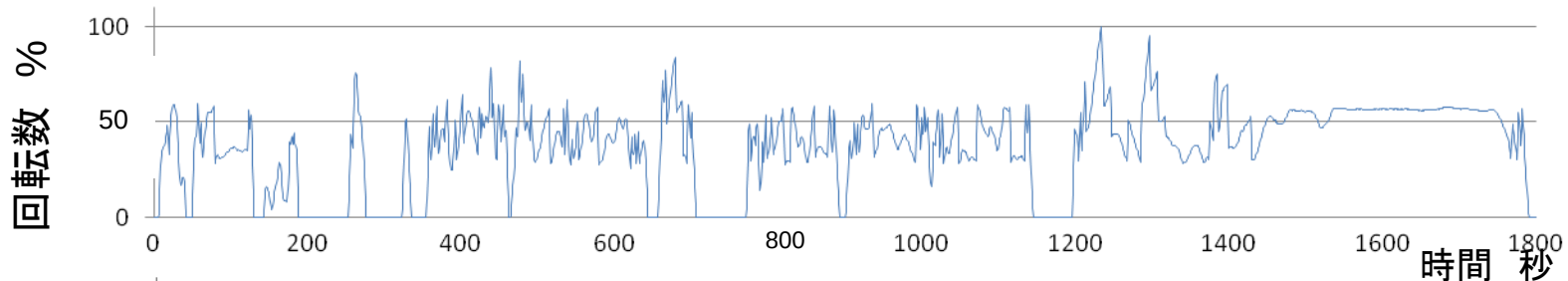
WLTC: Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle

★わが国では、4番目のEx-high Phaseは除外される。

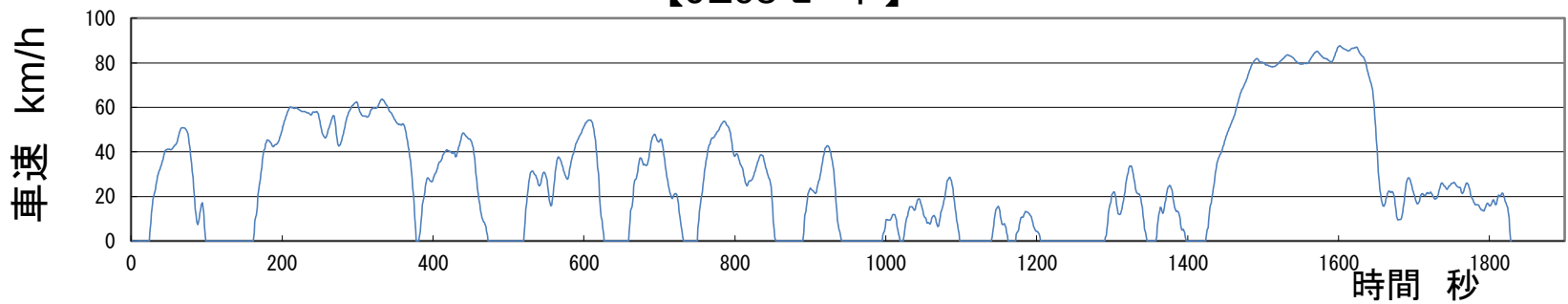


# 次期重量車排出ガス規制における世界統一試験サイクル

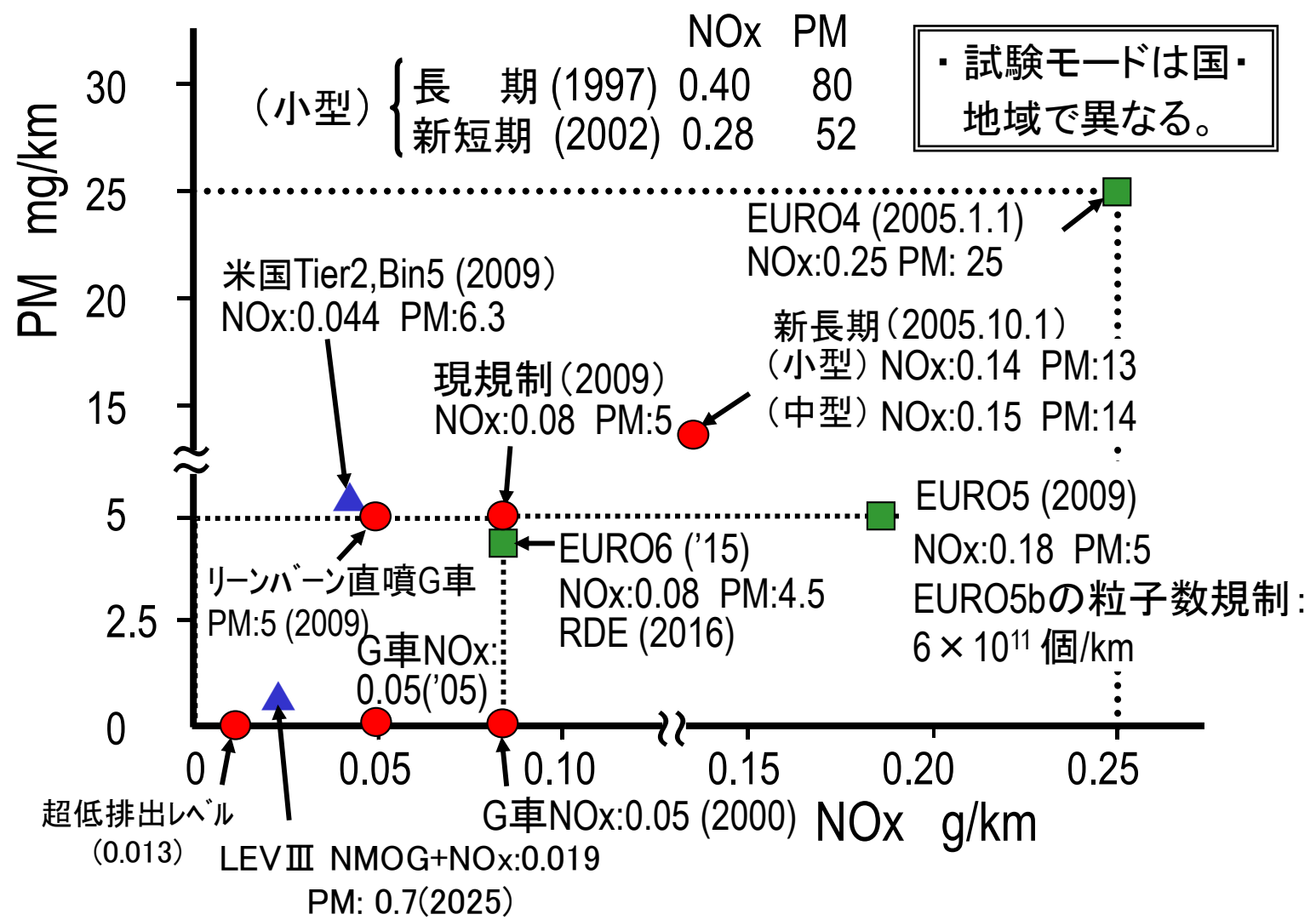
国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）において、我が国も参画し、平成18年に重量車世界統一試験サイクル（WHDC）が策定された。【WHTC（過度モード）】（EURO6, 2016年規制から採用）



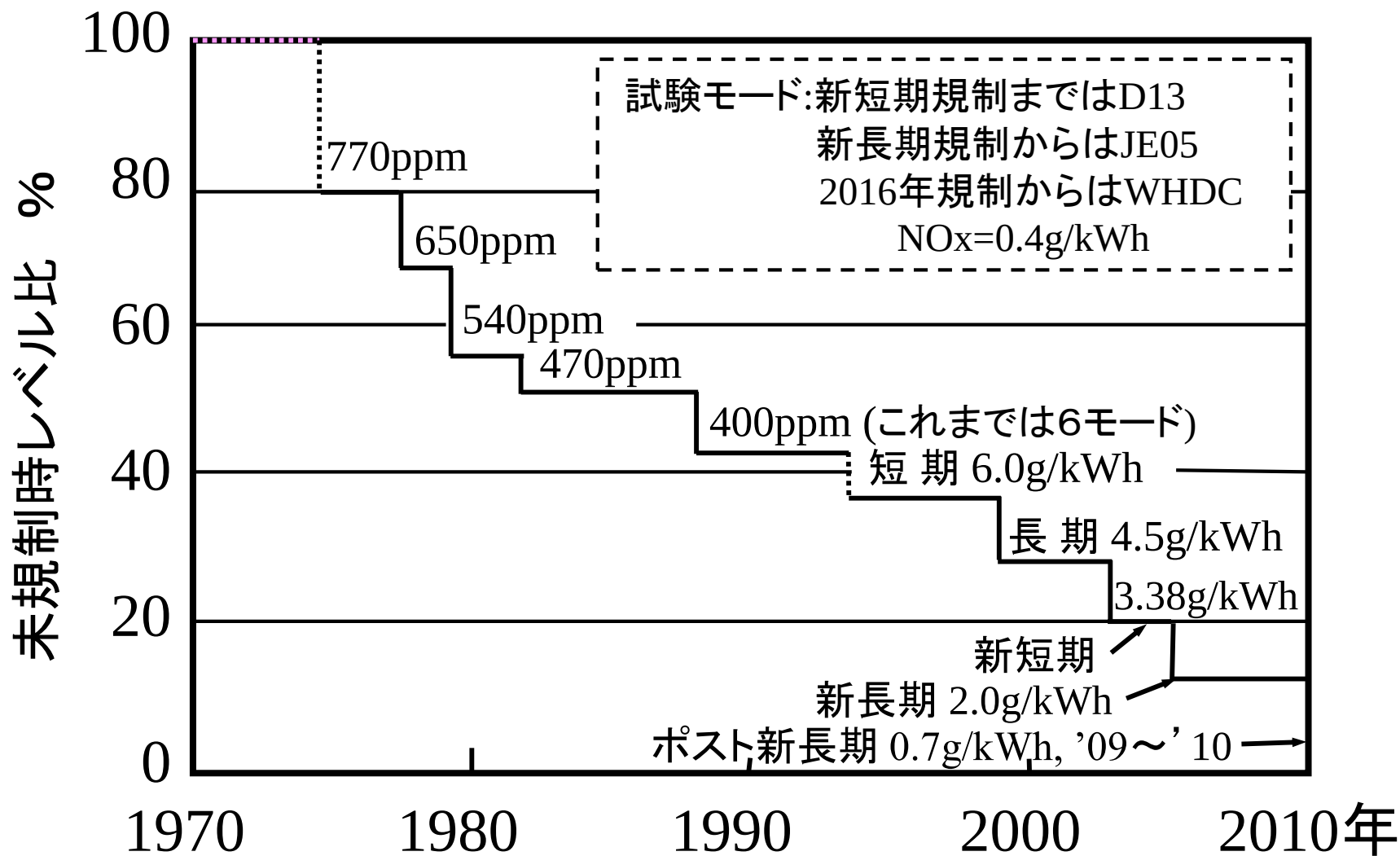
【JE05モード】



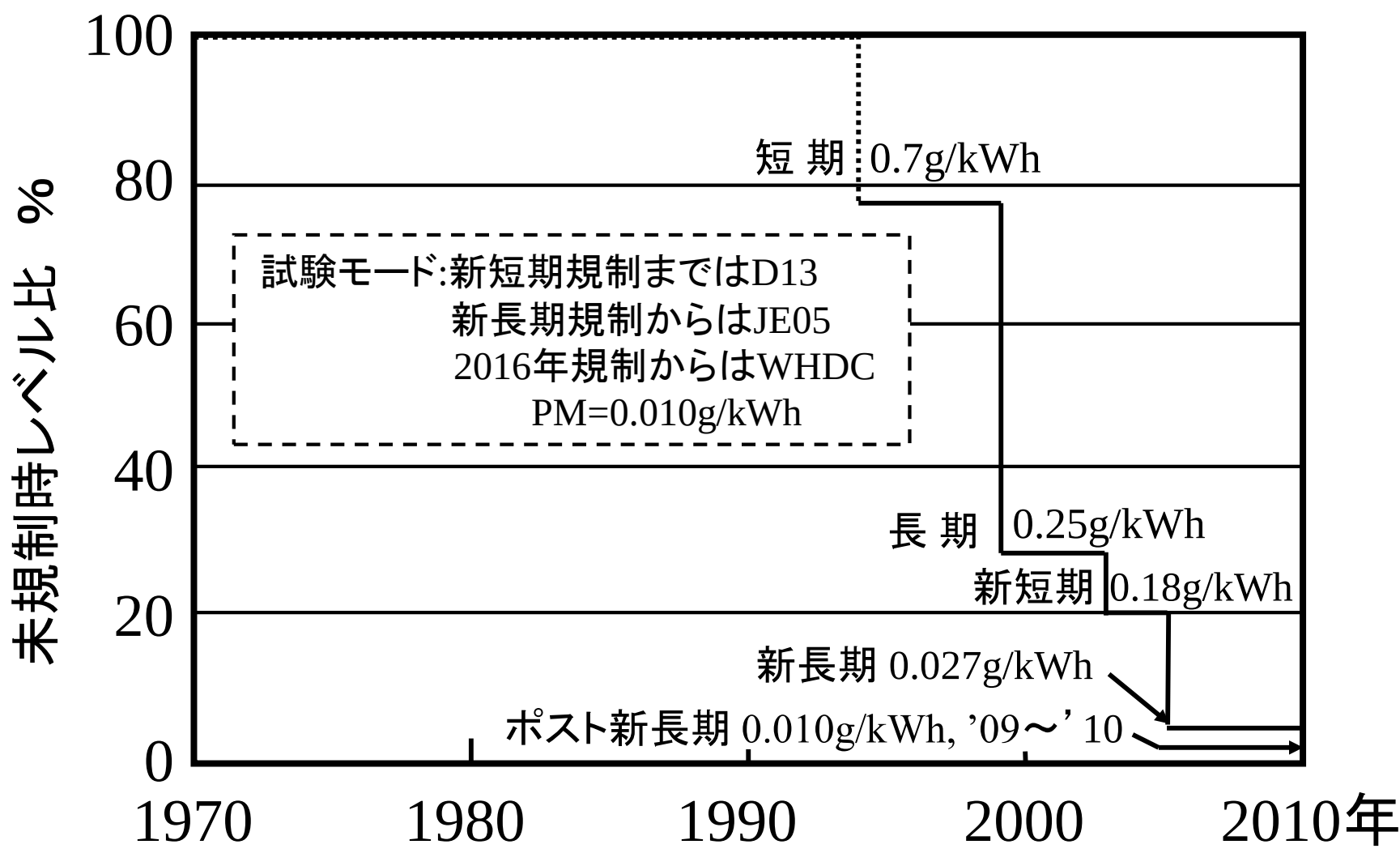
# 日欧米におけるディーゼル乗用車のNOxとPMの規制値比較



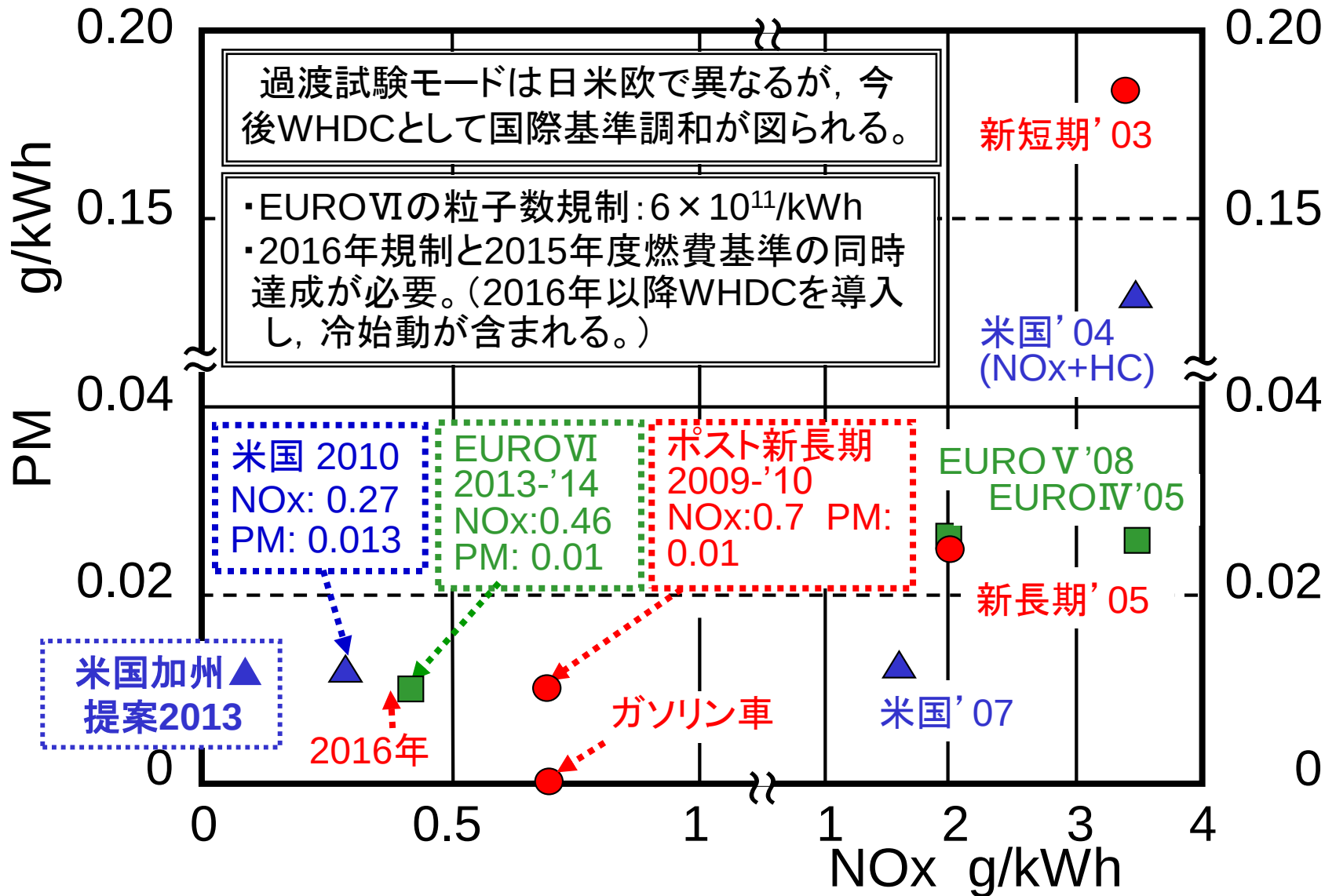
# ディーゼル重量車のNO<sub>x</sub>規制の推移



# ディーゼル重量車の微粒子規制の推移



# 日米欧におけるディーゼル重量車のNOxとPMの規制



# 最新重量車排出ガス規制値（2016年以降）

- ・CO<sub>2</sub>低減対策の重要性を考慮し、今後の燃費の改善代を確保すること。
- ・NO<sub>x</sub>還元剤の噴射制御が不適切な場合等に温室効果ガスであるN<sub>2</sub>Oや有害物質であるアンモニアの排出量が増加するおそれがあること。
- ・後処理装置等の耐久性を確保すること。

| 規制物質   | NO <sub>x</sub> | PM         | CO         | NMHC       |
|--------|-----------------|------------|------------|------------|
| 規制値 *  | 0. 4g/kWh       | 0. 01g/kWh | 2. 22g/kWh | 0. 17g/kWh |
| ポスト新長期 | 0. 7g/kWh       | 0. 01g/kWh | 2. 22g/kWh | 0. 17g/kWh |
| 低減率    | 43%             | 0%         | 0%         | 0%         |

\* エンジンが冷機状態、暖機状態において、それぞれ排出ガス試験を実施する。  
 排出ガス量＝冷機時排出ガス量 × 0.14 ＋ 暖機時排出ガス量 × 0.86

## 【平成28年までに見込んだエンジン技術の進展】

- ・二段過給，二段過給導入によるエンジンダウンサイジング
- ・EGR率の増大，EGR制御の高度化，一部車種へのLP-EGRの採用
- ・燃料噴射圧力の向上，PCI燃焼範囲拡大等の燃料噴射制御の高度化

## 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（中環審第11次答申より，2012年8月）

- 法定試験モードに外の運転条件において，排出ガスを悪化させるディフィートストラテジーとみなされるエンジン関連の制御の適用を禁止する。ただし，そのような制御の中に，エンジン保護（排出ガス低減装置の故障防止）や車両の安全確保のために必要と考えられる制御については，それと見なさないこととする。
- 【保護制御の運転条件】
  - ・低回転連続運転時      ・高負荷・高回転時      ・エンジンオーバーヒート危険時
  - ・高地での運転時      ・低大気温時      ・エンジン等異常検出時
- エンジン始動時や暖機過程時の低温のための触媒低活性等，意図的な制御以外の要因により排出ガス低減装置が有効に作動しない場合に配慮する。
- エンジンを保護する条件から外れた場合は速やかに保護制御を解除すべきである。また，保護制御が許容される条件は通常発現しない運転条件の範囲のみ認め，かつその中でも作動は最小限とすべきである。
- 今後の技術開発により，保護すべき条件は変化する可能性があり，保護機能の出現頻度や新たな排出ガス低減技術等の情報収集に努め，必要に応じて条件を見直すこととする。



## ディーゼル重量車のオフサイクルでの排出ガス低減対策に関する課題（中環審第11次答申より，2012年8月）

### □エンジンベンチ認証試験条件の見直し

- ・ 尿素SCRシステムは，触媒温度により活性状態が敏感に変化し，また，一定温度以下ではNO<sub>x</sub>浄化性能が低いこと及び尿素水結晶化による触媒損傷防止のため，尿素水の噴射を停止する制御が行われている。
- ・ シャンダイナモでの排出ガス試験結果から，同一エンジンでも後処理装置のレイアウト位置により温度条件が変わり，排出ガス量が大きく異なることが確認されている。
- ・ このため，エンジンベンチ認証試験条件については，使用実態を考慮して後処理装置にとってより厳しい条件に変更することが望ましい。

### □車載型排出ガス測定システムの導入

- ・ 実走行で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PEMS (Portable Emission Measurement System)が提案されており，欧州でも次期排出ガス規制EURO VIより導入される予定である。
- ・ PEMSによる試験法や許容限度目標値の設定，システムの測定誤差や校正等の課題はあるものの，PEMS導入について検討することが望ましい。

## 欧米における排出ガス規制の動向

- ❑ 米国カリフォルニア州では、LEVIII 軽量車規制値を最終決定し、2025年までにフリート平均でNMOG+NOxを75%、PMを1mg/mile (0.07mg/km)として90%低減することを求めている。
- ❑ 同州では、重量車に対して、NOxを現行値から75% (0.05 g/bhph, 0.07g/kWh)減らすことを検討。
- ❑ 米国EPAでは、軽量車のGHG 規制を2016-2025年で実施し、現状に対して 50%の削減を目指す。
- ❑ EUでは、Real driving emissions (RDE)規制を想定して、ランダムダイナモメータ試験および、または PEMS (Portable emission measurement system) 試験の実施を検討中。
- ❑ インドと中国では、大気汚染の悪化が社会問題化しており、排出ガス規制と燃料性状改善を目指す。

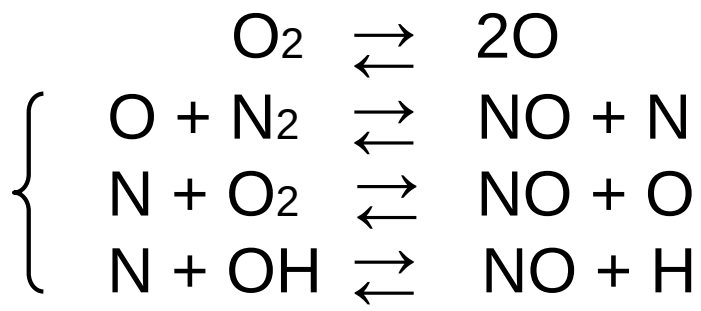
# エンジン内におけるNOxの生成機構とその低減

## <生成要因・機構>

- 燃焼による高温とその保持時間 ・ 燃焼での余剰O<sub>2</sub> 存在
- 予混合気の燃焼ではλが1.1～1.2でNOx濃度がピークとなる。  
ディーゼル燃焼では、混合に大きく支配される。

・ 高温における熱解離

・ 拡大Zeldovich機構



## <低減対策>

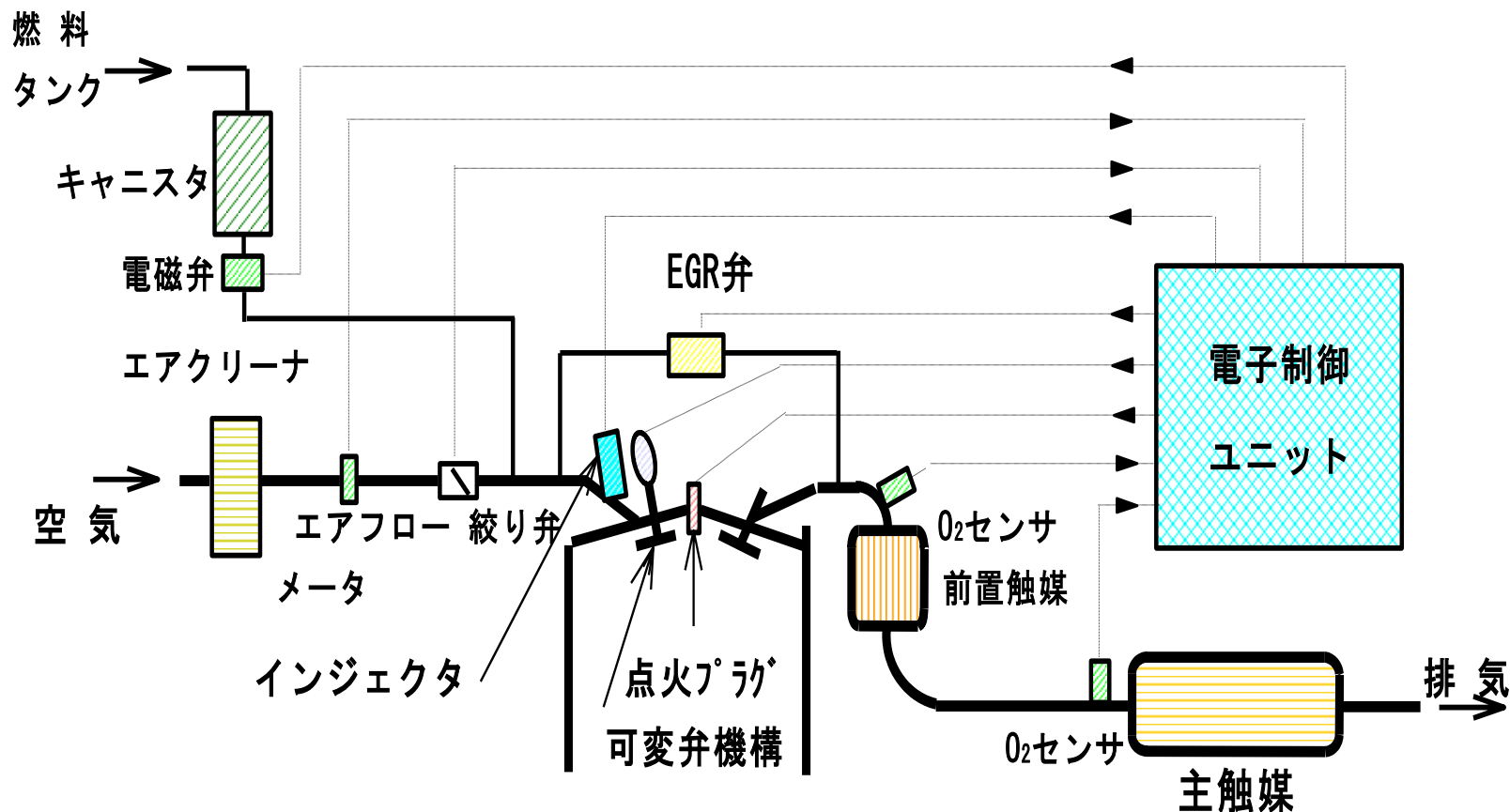
□ ガソリンエンジン

- ・ 三元触媒の利用(理論混合比燃焼)
- ・ NOx吸蔵触媒, リーンNOxトラップ<sup>°</sup>の利用(希薄燃焼)
- ・ EGR, 希薄燃焼, 点火時期の遅延

□ ディーゼルエンジン

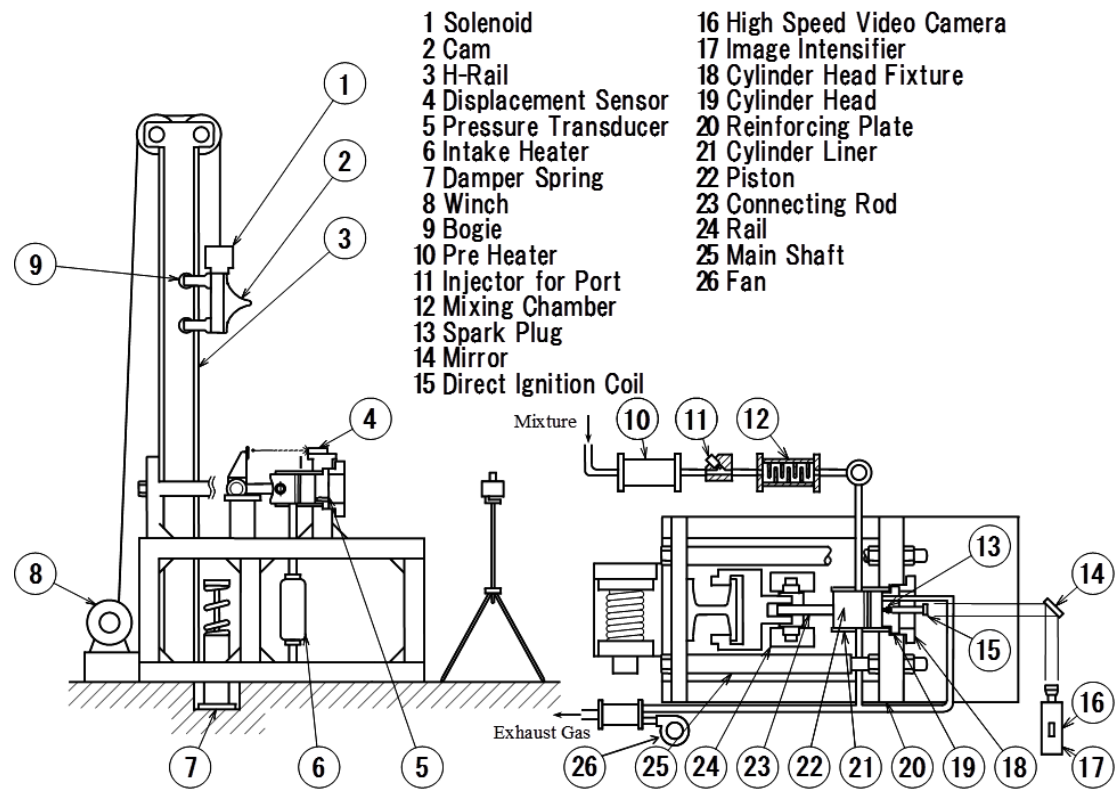
- ・ EGR, 尿素SCR触媒 ・ 噴射制御

# ガソリンエンジンの排出ガス対策例



- ☐ ガソリン車は、理論混合比燃焼での三元触媒システムを含む精緻な制御により超低排出ガス特性を実現している。リーンバーンでこれを達成することは難しいのが現状である。
- ☐ 中長期的には燃費規制の強化に適合してさらに進化を続ける必要がある。

# ディーゼル燃焼の高速撮影

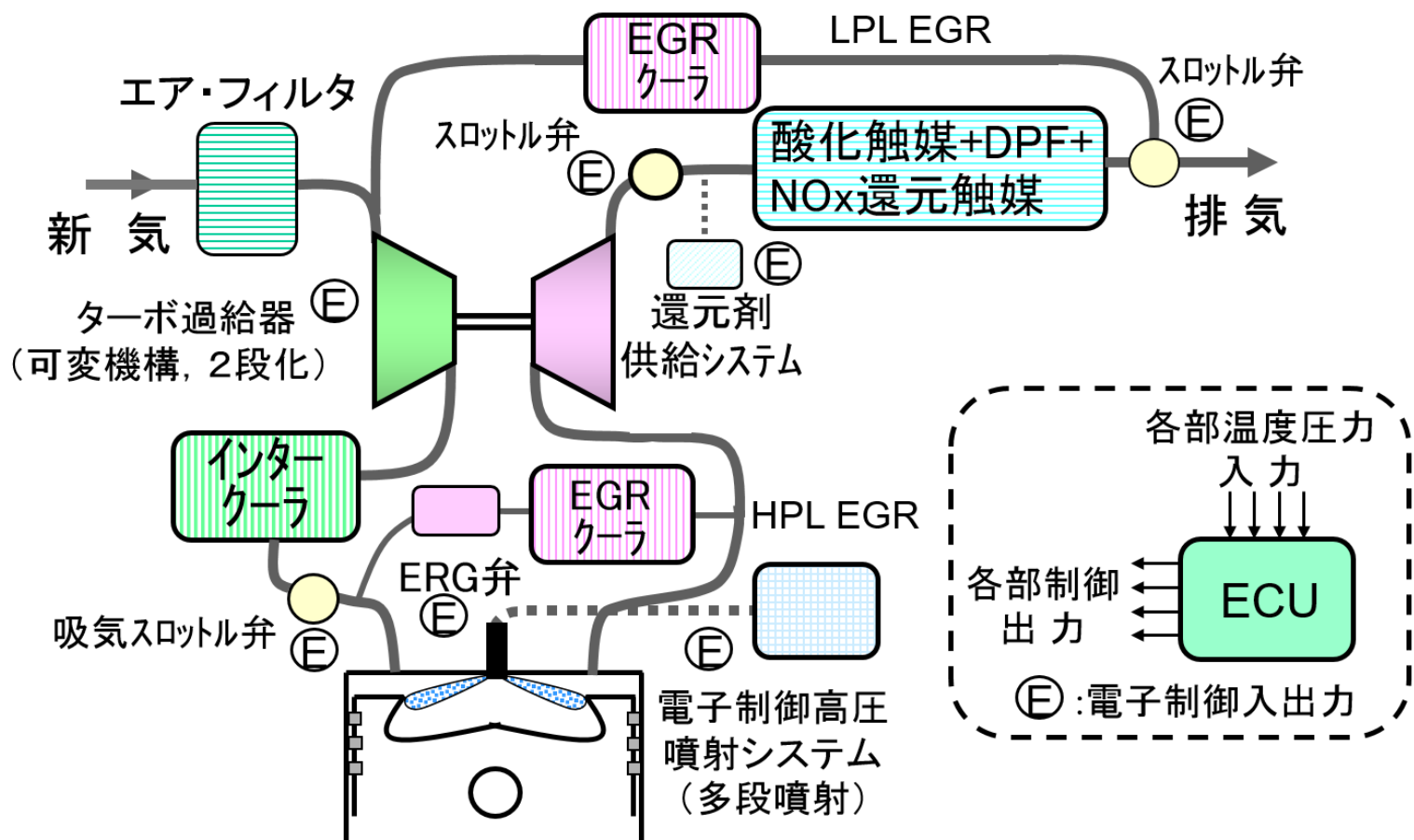


Bore × Stroke: 125 × 135mm  
Compression ratio: 17.0  
Speed: 800 rpm

☆不均一な噴霧燃焼により,  
NO<sub>x</sub>と粒子状物質が同時に  
発生する。

Rapid compression and expansion machine  
(急速圧縮膨張装置)

# 今後のディーゼルエンジンの排出ガス対策例



- ❑ 低硫黄軽油を利用して、燃料噴射系と排気後処理の最適な制御のシステム化、信頼耐久性の確保、コスト低減が重要。小型車ではコスト負担が大きい。
- ❑ 今後、デフィートデバイスを排除するためRDE (Real Driving Emissions) 規制が施行される予定である。燃費とのトレードオフを克服する必要がある。
- ❑ 中長期的には一層の低排出ガス化と高効率化の両立を目指す必要がある。

## 欧米における排出ガス規制の動向

- ❑ 米国カリフォルニア州では、LEVⅧ 軽量車規制値を最終決定し、2025年までにフリート平均でNMOG+NO<sub>x</sub>を75%, PMを1mg/mile(0.7mg/km)として90%低減することを求めている。
- ❑ 同州では、ZEV規制により、2018年4.5%, 2025年には22%のEV販売義務付けが課せられる。他州も追随する動きがある。
- ❑ 同州では、重量車に対して、NO<sub>x</sub>を現行値から75% (0.05g/bhph, 0.07 g/kWh)減らすことを検討。(技術的には極めて困難と見られる。)
- ❑ 米国EPAでは、軽量車のGHG 規制を2016-2025年で実施し、現状に対して50%の削減を目指す。
- ❑ EUでは、ディーゼル乗用車のNO<sub>x</sub>を対象に、PEMS (Portable emissions measurement system) によるRDE (Real world driving emissions) 規制が2017年から実施される。CF (Conformity factor) は2.1とし、2020年からは1.5とする。
- ❑ 中国とインドでは、自動車による大気汚染の悪化が社会問題化しており、排出ガス規制と燃料性状改善を目指す。

☆グローバルな視点から、究極的にはゼロエミッションを目指す必要がある。



# The Volkswagen emissions scandal called “Dieselgate” announced on Sept. 18<sup>th</sup> , 2015, by U.S.EPA



search publications

🔍

▼ PUBLICATIONS



PROGRAMS / WHERE WE WORK / WHO WE ARE / INFO & TOOLS



## WHERE WE WORK



✓

 SELECT REGION

- TOPICS
- Europe's vehicle CO2 targets
- Airline fuel efficiency
- US heavy-duty vehicle regulation
- In-use NOx emissions

The International Council on Clean Transportation

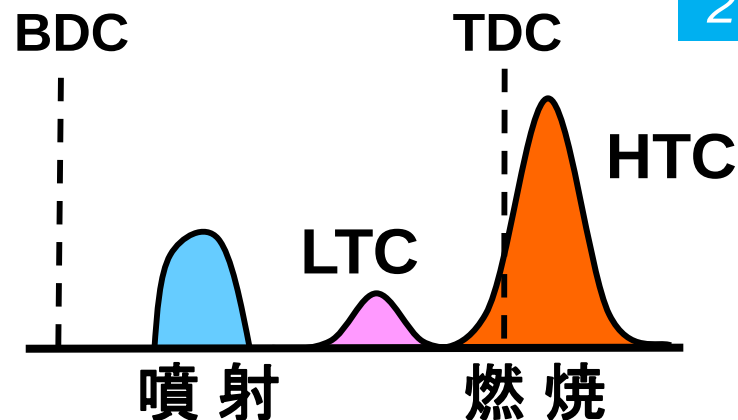


# Real Driving Emissions (RDE)と 車載排出ガス計測システム (PEMS)



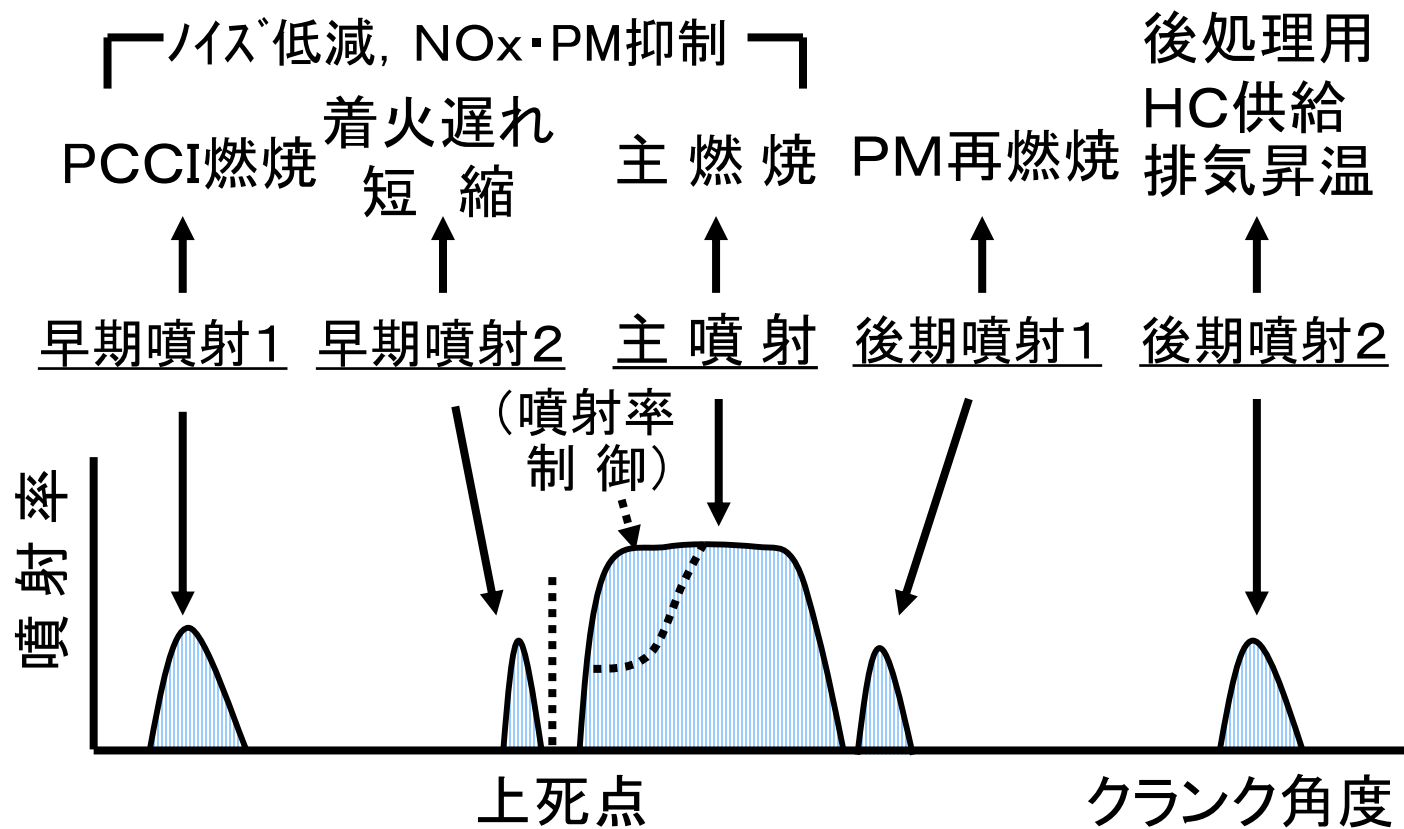
- ❑ 米国EPAからVW社のディーゼル乗用車の排出ガス対策不正が発表された。その解明に使われたPEMS (ICCT, ウェストバージニア大学 2014年)
- ❑ わが国でもこれを使ったRDE規制の施行が検討され、2022年から実施され、CFは2.0とする予定である。(現在、パブリックコメント受付中)

# PCCI (予混合圧縮着火) 燃焼方式の実現可能性



- 低負荷における希薄燃焼によって超低NO<sub>x</sub>, PMとディーゼル並みの高効率化を実現して, 後処理の負担を大幅に低減することがねらい。
- ▲高負荷では爆発的な燃焼となるため適用が極めて困難。
- ▲未燃HCとCOの排出増加(燃料の壁面衝突とクエンチング)。
- セタン価, 温度と混合気の不均一性に支配されるので, PCCI (Partially Premixed Charge Compression Ignition)と呼ぶべき。
- 冷始性確保, 気筒間バラツキ抑制, 通常燃焼との接続性等, 制御が難しい。制御には, 噴射制御, EGR, 可変バルブ機構, 圧力/火炎センサー類が必要。燃費は通常のディーゼル燃焼を超えられない。
- ガソリン車における低中負荷での燃費・排出ガス改善の可能性。
- 低温・高温における化学反応を含めた詳細な燃焼シミュレーションモデルと計測による現象解明, さらには予測手法の開発が必要。

# 多段噴射によるディーゼル燃焼の制御

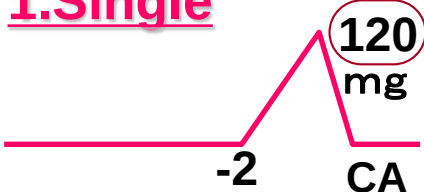


- ・ 電子制御式コモンレール高圧噴射システムの活用。
- ・ 噴射圧力: 180MPa~240MPa, 将来は300MPaへ?
- ・ 燃焼室形状との整合でさらに燃焼改善。

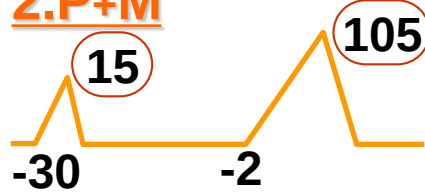
# 高過給，高EGR，多段噴射のよる直噴ディーゼル機関の 排気浄化（早大，自技会2008年）

Single cylinder: 2L,  $\epsilon$ :17, Ne:1,200 rpm, Load: 60%,  $P_{inj}$ : 180 MPa

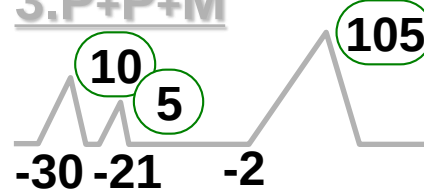
## 1.Single



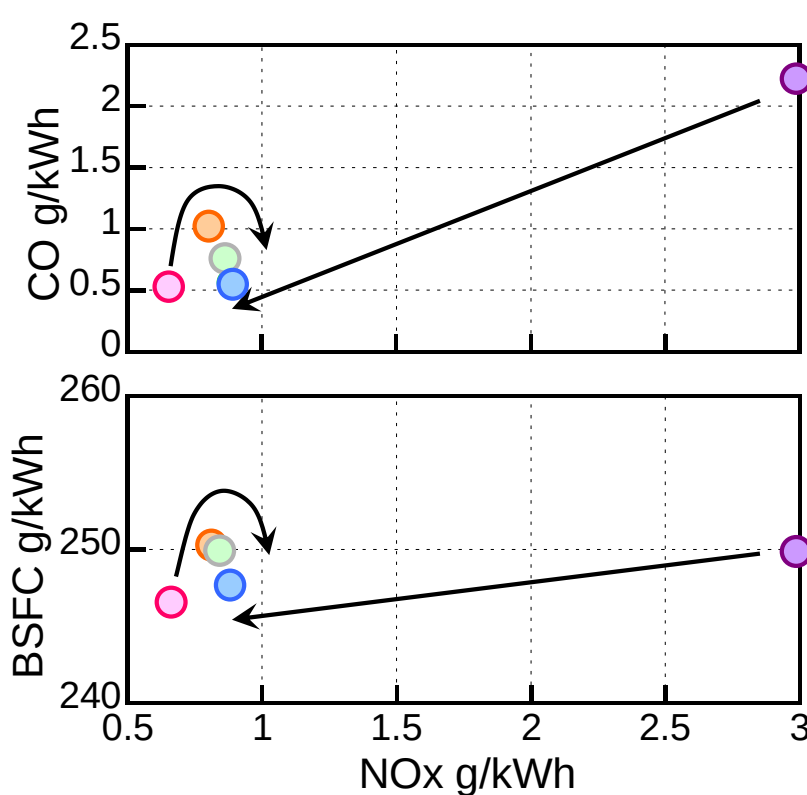
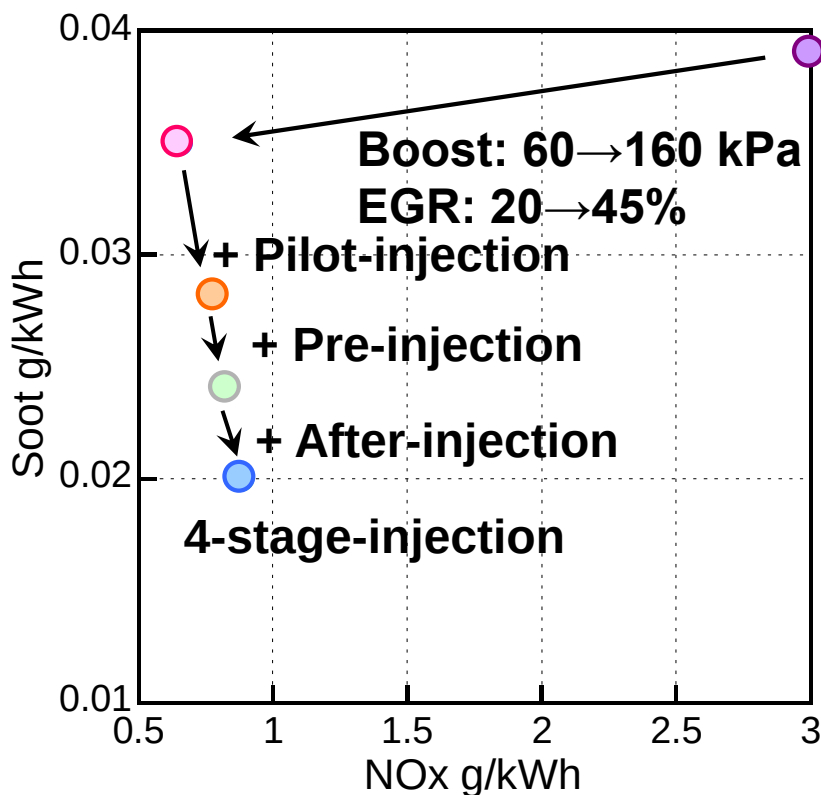
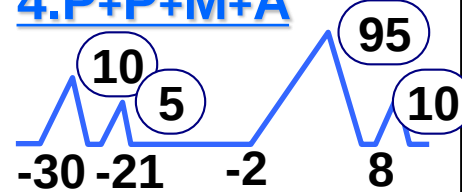
## 2.P+M



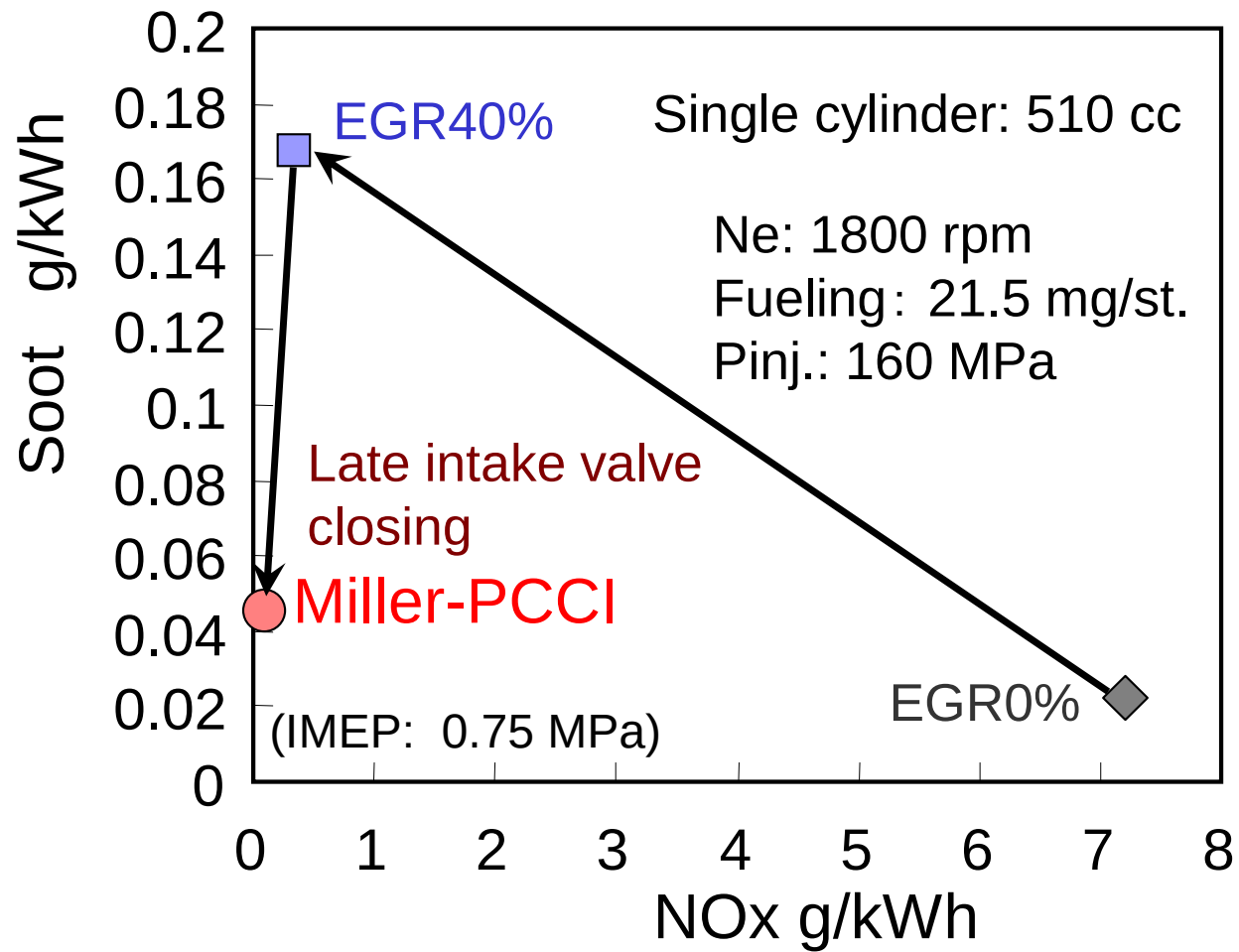
## 3.P+P+M



## 4.P+P+M+A



# Miller PCCI燃焼コンセプトによる NOxとPMの同時低減



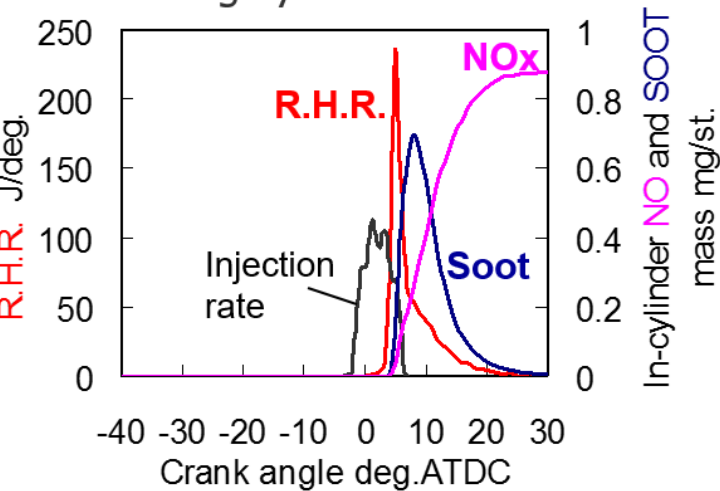
(早大:村田, 草鹿, 大聖, 交通研, SAE 2008 )

# Conventional and Premixed Combustion

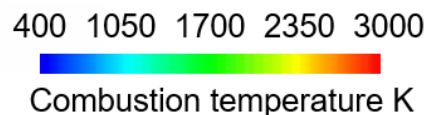
Y. Murata and Y. Daisho, Waseda University

## Conventional Combustion

- High NOx and Soot
- Highly stable

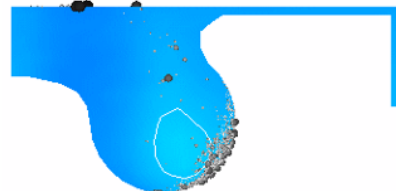
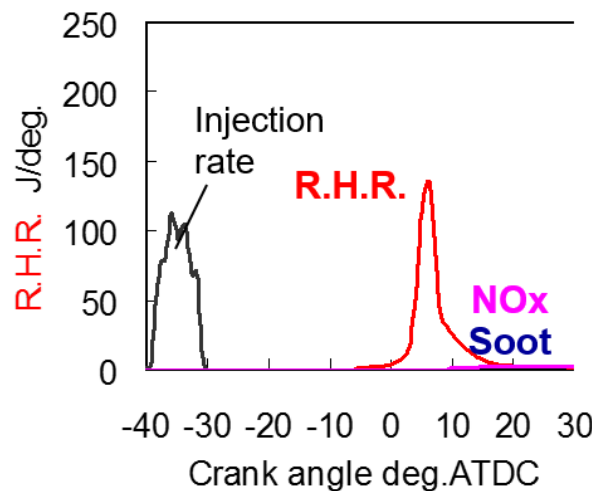


-1 deg.ATDC



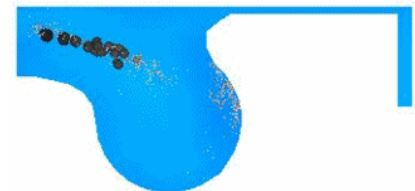
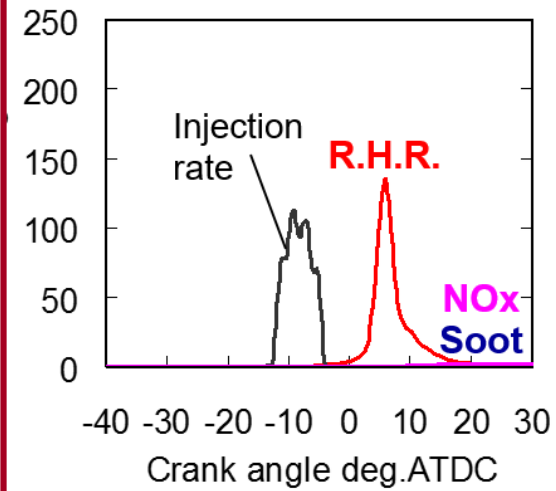
## Early Injection HCCI

- Low NOx, no soot
- Unstable



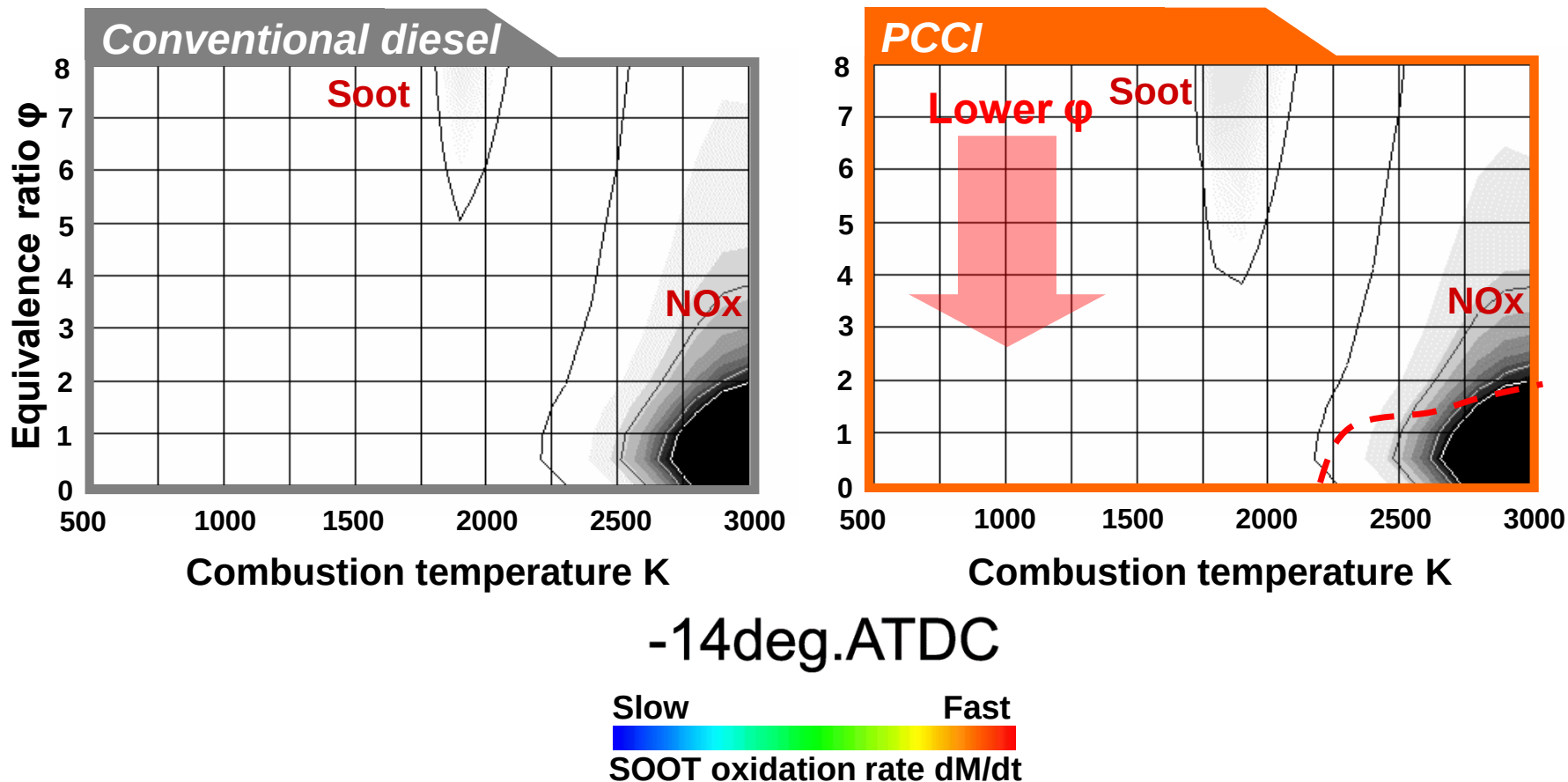
## Miller PCCI

- Low NOx and soot
- Stable



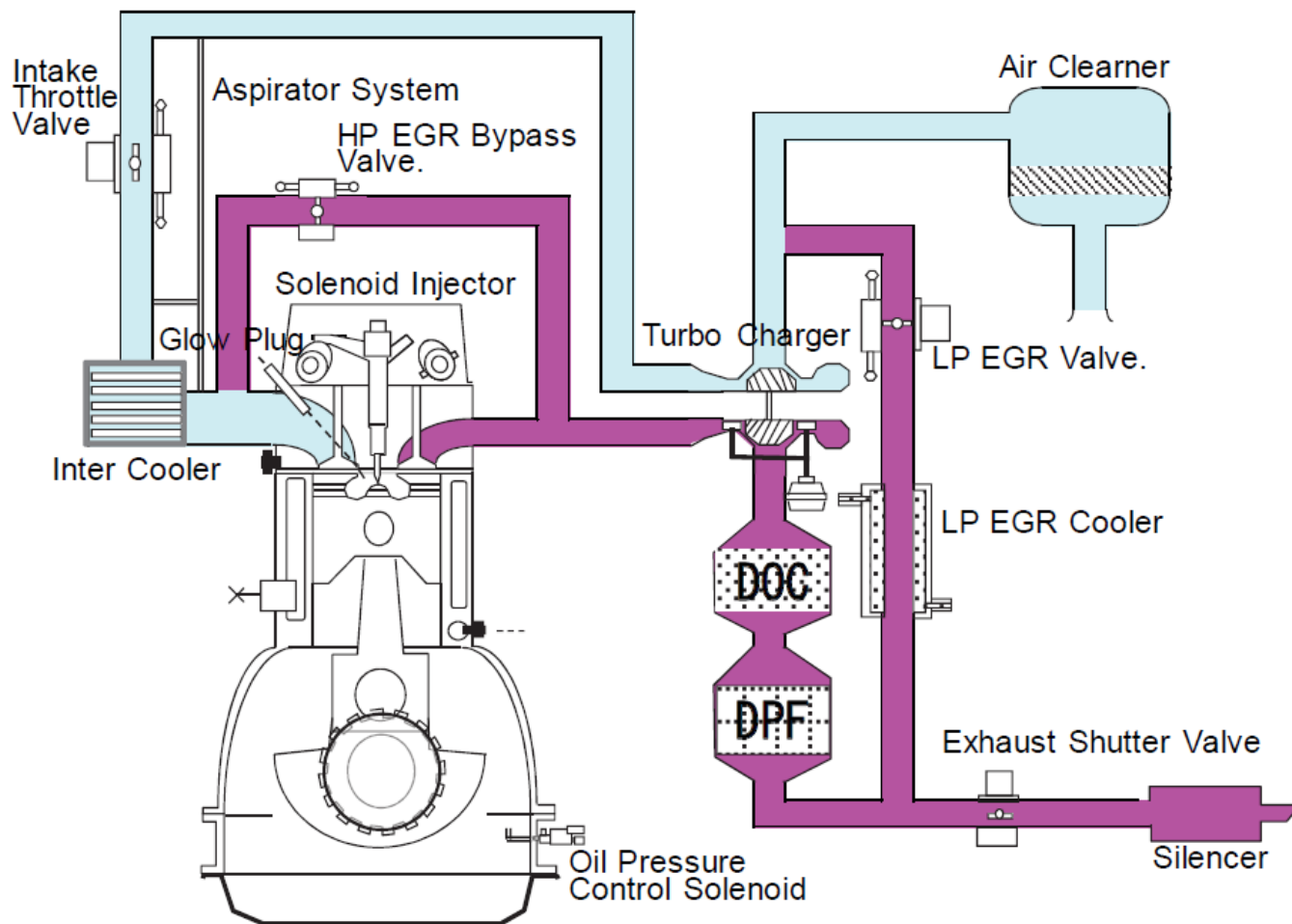
Late intake valve closing (Miller cycle) can realize stable PCCI combustion.

# $\Phi$ -T Maps for Conventional and PCCI Combustion (Y. Murata and Y. Daisho, Waseda University)

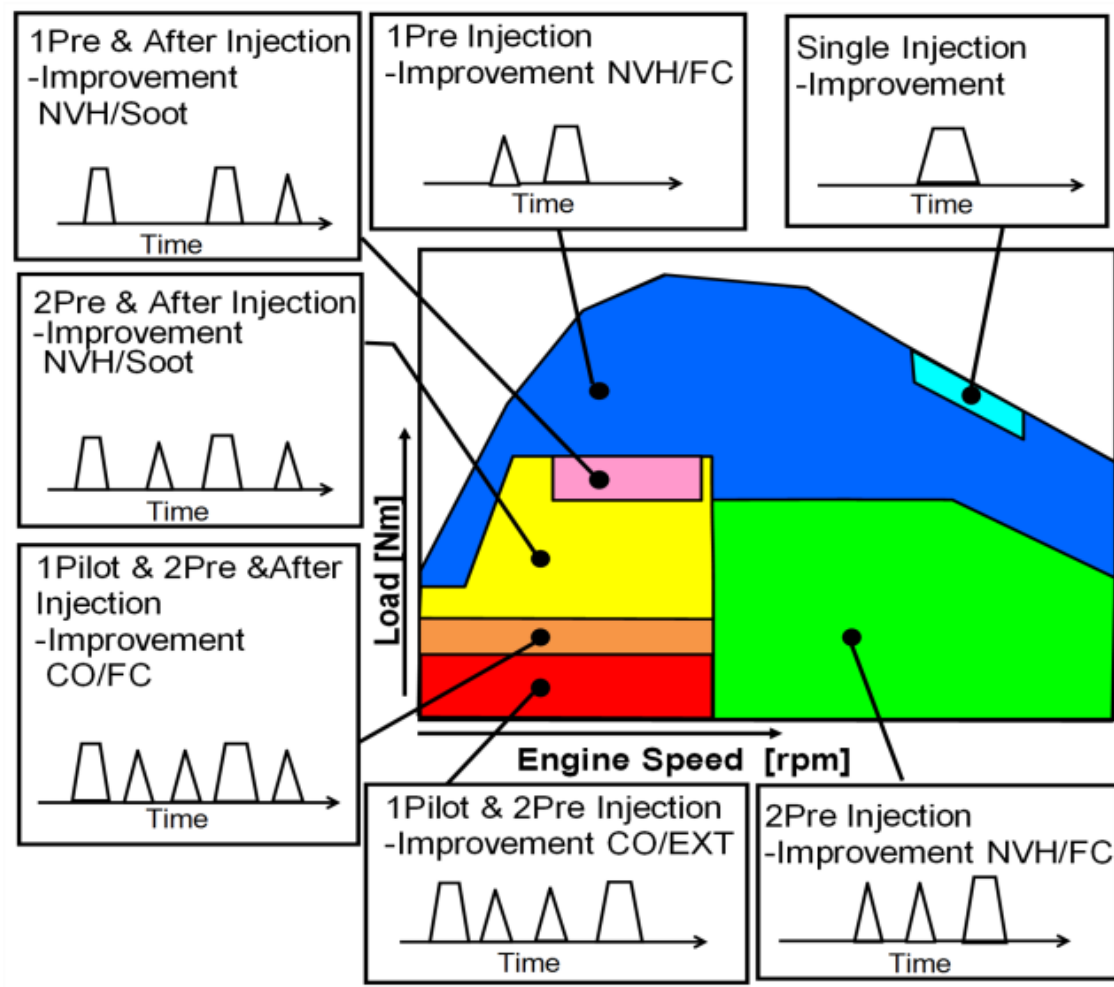




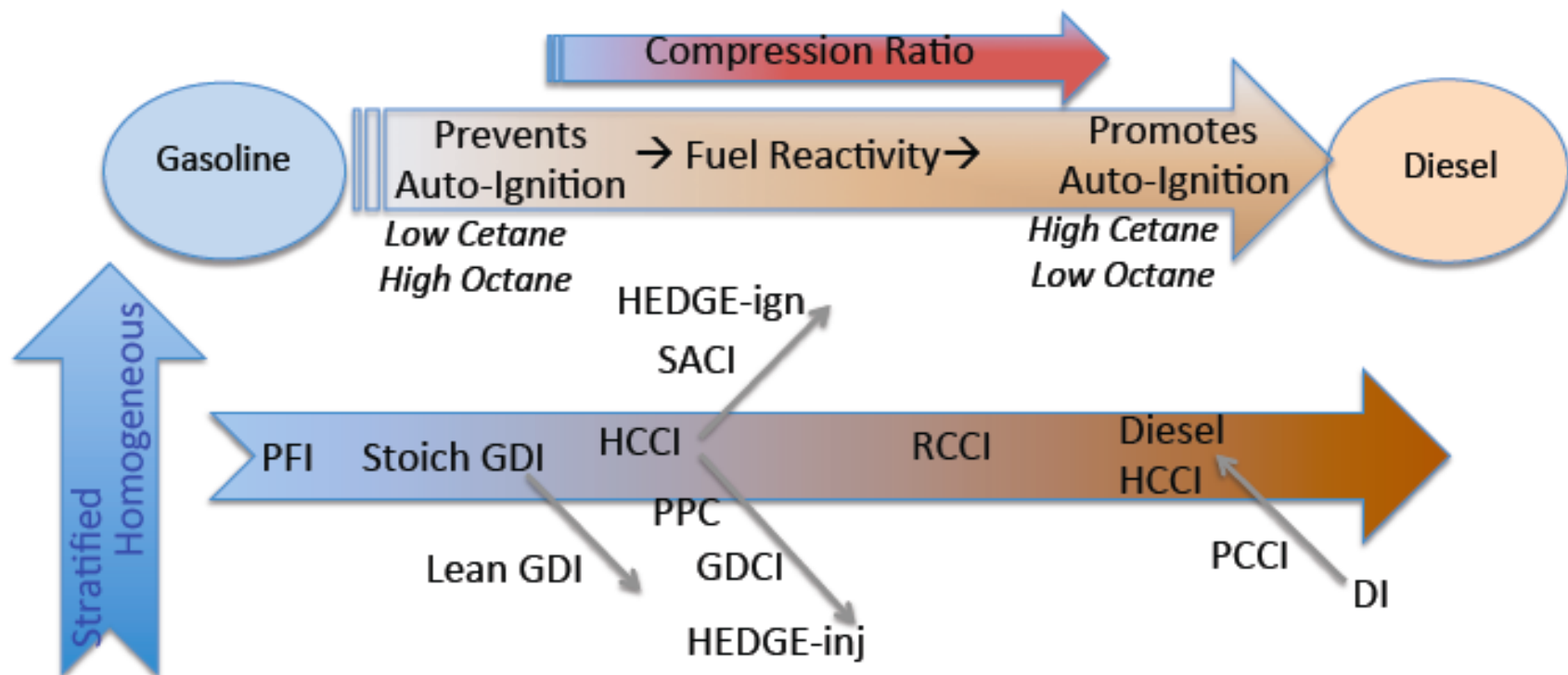
# マツダのSKYACTIV-D 1.5 エンジンシステム



# マツダ社の多段噴射制御 (1.5L STYACTIV-D)



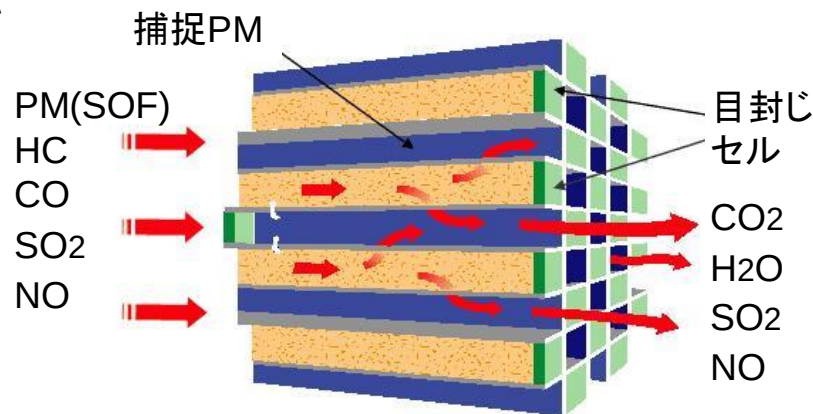
# 先進エンジン燃焼コンセプト ガソリンエンジン～ディーゼルエンジン 各種燃料と成層混合気の制御



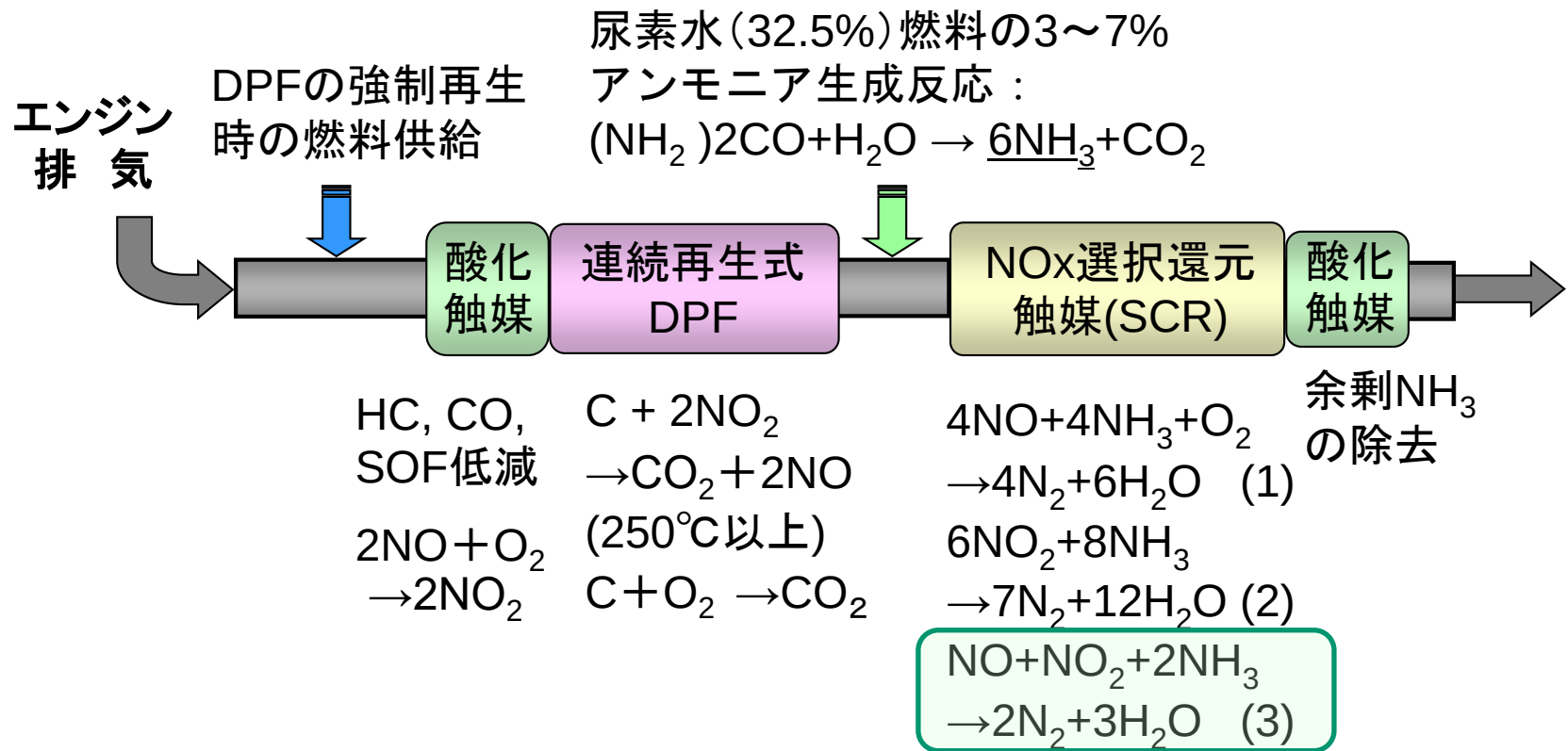
SOURCE: Daw et al. (2013), Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

# 壁流型ディーゼル微粒子フィルターの機能と課題

- 多孔質のセラミックフィルターでPMを捕捉し、それを再生(酸化)処理する方式。
  - 耐久信頼性, ナノ粒子を含めた捕捉率の確保と圧力損失の抑制の両立が課題。  
フィルター材料, 気孔径, 気孔径分布, 気孔率の適切な設計が必要。
  - 連続再生: 250℃以上の高温で連続的に酸化除去する。  
前段酸化触媒の利用: 前置DOCによりNOから酸化したNO<sub>2</sub>によるCの酸化。  
さらに高温でフィルター内の触媒(CSF)によりCを酸化。  
酸化触媒が, HCやS分で被毒する場合があります, 高温で除去する必要がある。
  - 強制再生: 長い低負荷運転が蓄積したPMを排温を高めて酸化除去する。走行時と停車して行う場合がある。(いずれも排気温度を上げるため, 燃費が悪化する。停車時の再生は運行に不都合を招く場合がある。)
  - 捕捉したPMを定量的に把握して再生を最適化することが課題。
  - NO<sub>x</sub>還元触媒との一体化の可能性
- CaSO<sub>4</sub>等による目詰まり防止のため, 10ppm以下の超低硫黄燃料, 低アッシュの潤滑油が必要。(定期的に堆積物の除去を行うことが必要な場合もある。)



# 酸化触媒, DPF, 尿素SCRシステム



- <課題>
- 燃焼によるNOxとPM低減, 燃費改善と後処理をどう分担するか?
  - DPFの強制再生での燃料消費抑制
  - 低温でのSCR浄化率の向上
  - 尿素水供給量制御の最適化
  - HCやS被毒の抑制と触媒種の選択
  - アンモニアとN<sub>2</sub>Oの排出抑制
  - コンパクト化
  - 信頼耐久性の確保

# わが国における燃費基準の沿革

- 1979年 6月: エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)制定
- 1979年12月: ガソリン乗用自動車の燃費基準の策定(1985年度目標)
- 1993年 1月: ガソリン乗用自動車の燃費基準の改正(2000年度目標)
- 1996年 3月: ガソリン貨物自動車の燃費基準の策定(2003年度目標)
- 1998年 6月: 省エネ法改正・・・「トップランナー基準」の考え方の導入
- 1999年 3月: 乗用車, 小型貨物車のトップランナー基準の策定  
(ガソリン車は2010年度目標, ディーゼル車は2005年度目標)
- 2003年 7月: LPガス乗用車のトップランナー基準の策定(2010年度目標)
- 2006年 3月: 重量車(トラック, バス等)のトップランナー基準の策定  
(2015年度目標)
- 2007年 7月: 乗用車, 小型バス, 小型貨物車の新燃費基準の策定  
(2015年度目標)
- 2011年10月: 経産省・国交省は乗用車の2020年度の新燃費基準を取りまとめ、発表した。2012年春に関連法令を改正した。
- 2015年 7月: 小型貨物車の新燃費基準の提示(2022年度目標)  
WLTPによる乗用車燃費試験法の検討, 2018年から実施

# わが国の2030年度におけるエネルギー起源 二酸化炭素削減量（日本の約束草案より）

～ 国連に提出する日本の約束草案、閣議決定 ～  
（平成27年7月17日 地球温暖化対策推進本部決定）

わが国の温室効果ガス排出量の9割を占めるエネルギー起源二酸化炭素の排出量については、2013年度比▲25.0%（2005年度比▲24.0%）の水準（約9億2,700万t-CO<sub>2</sub>）であり、各部門における2030年度の排出量の目安は下表のとおりである。これが、2016年5月13日「地球温暖化対策計画」として閣議決定された。

[ 単位：百万t-CO<sub>2</sub> ]

| 部 門     | 2013年度<br>(2005年度) | 2030年度 /<br>2013年度比%(2005年度<br>比%) |
|---------|--------------------|------------------------------------|
| 産 業     | 429 (457)          | 401 / ▲6.5 (▲12.3)                 |
| 業 務・その他 | 279 (239)          | 168 / ▲39.8 (▲29.7)                |
| 家 庭     | 201 (180)          | 122 / ▲39.3 (▲32.2)                |
| 運 輸     | 225 (240)          | 163 / ▲27.6 (▲32.1)                |
| エネルギー転換 | 101 (104)          | 73 / ▲27.7 (▲29.8)                 |
| 合 計     | 1,235 (1,219)      | 927 / ▲24.9 (▲24.0)                |

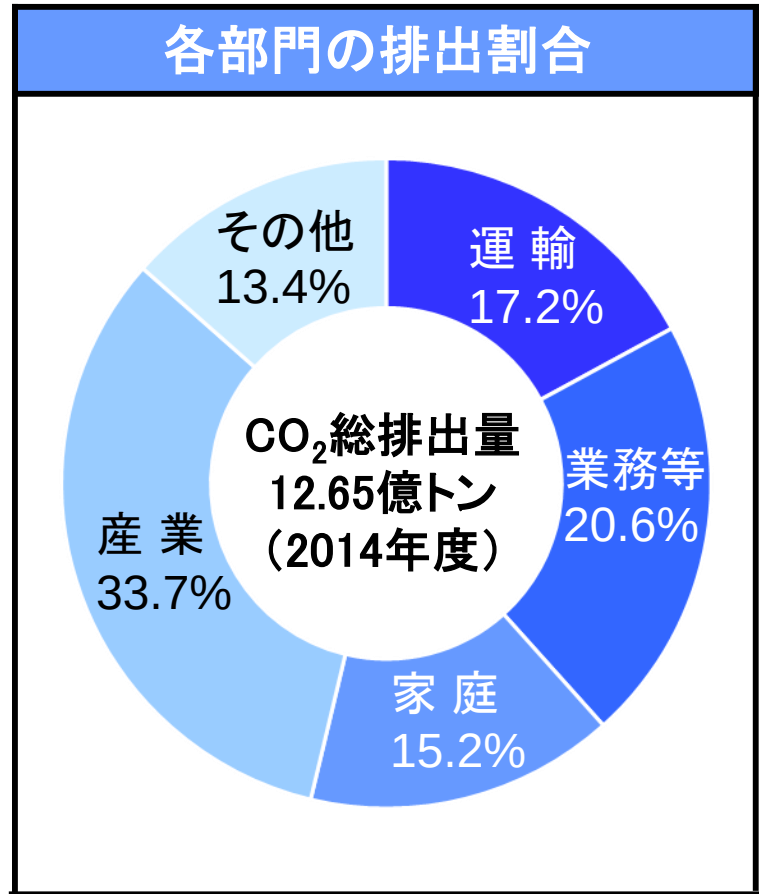
# 各国の削減目標『国連気候変動枠組条約事務局に提出された約束案(パリ協定)』(2015年10月, 出典:JCCCA)

| 国 名                                                                                |     | 削減目標                                                    |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------|--------|
|   | 中国  | 2030年までに GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を <b>60 - 65</b> % 削減 | 2005年比 |
|   | E U | 2030年までに <b>40</b> % 削減                                 | 1990年比 |
|   | インド | 2030年までに GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を <b>33 - 35</b> % 削減 | 2005年比 |
|   | 日本  | 2030年までに <b>26</b> % 削減<br>※2005年比では25.4%削減             | 2013年比 |
|   | ロシア | 2030年までに <b>70 - 75</b> % に抑制                           | 1990年比 |
|  | 米国  | 2025年までに <b>26 - 28</b> % 削減                            | 2005年比 |

- ☆温暖化を産業革命以前より2℃以下に抑えるため、2050年に先進国は温暖化効果ガスを現状から80%削減し、全体として50%削減を目指すことが合意されている。
- ☆全世界で石油の60%を消費する運輸部門では、とりわけ自動車のエネルギー利用の低燃費化と低炭素化の取組みが課題である。



# わが国における2014年度の運輸部門のCO<sub>2</sub>排出量 (国土交通省, 2016年)



| 分 類    | 万トン    | 割合 %  |
|--------|--------|-------|
| 自動車    | 18,657 | 86.0  |
| 自家用乗用車 | 10,303 | 47.5  |
| 自家用貨物車 | 3,831  | 17.7  |
| 営業用貨物車 | 3,795  | 17.5  |
| バ ス    | 405    | 1.9   |
| タクシー   | 323    | 1.5   |
| 内航海運   | 1,075  | 5.0   |
| 航 空    | 1,017  | 4.7   |
| 鉄 道    | 955    | 4.4   |
| 合 計    | 21,700 | 100.0 |

★ わが国の自動車から排出される CO<sub>2</sub> は全体の排出量の14.7%を占めている。

# 乗用車の2020年度燃費基準と 燃費改善率(2011年8月)

ガソリン車, ディーゼル車, ハイブリッド車を対象としたプランナー方式による車両重量別の燃費目標値に応じて販売台数で重み付けして調和平均値としての**企業平均燃費(CAFE)**の基準達成が求められる。新燃費基準を達成した場合, 目標年度(2020年度)における燃費改善率は下表のとおりである。

## ＜2009年度実績値に対する燃費改善率＞

| 2009年度<br>実績値 | 2020年度<br>推定値 | 2009年度実績<br>からの燃費改善率 |
|---------------|---------------|----------------------|
| 16.3(km/L)    | 20.3(km/L)    | 24.1% (年率2%)         |

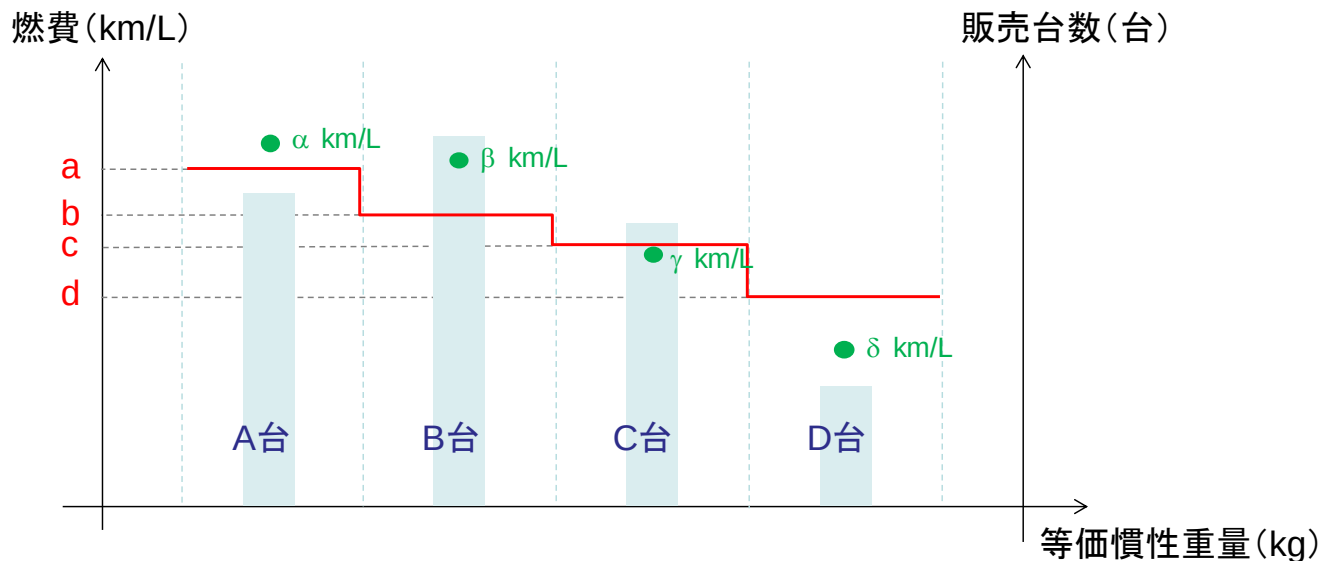
## ＜現行燃費基準の水準に対する燃費改善率＞

| 2015年度<br>基準相当平均値 | 2020年度<br>推定値 | 2015年度基準<br>からの燃費改善率 |
|-------------------|---------------|----------------------|
| 17.0(km/L)        | 20.3(km/L)    | 19.6% (年率4%)         |

※ 上の表の燃費値は、JC08モードによる燃費値。各燃費改善率は、2020年度における各区分毎の出荷台数比率が2009年度と同じと仮定して試算。

※ EVとPHVは、本格的な普及には至っていないので、目標値の決定に当たっては考慮されていないが、企業平均燃費に算入できるので有利である。

# 2020年度企業平均燃費(CAFE)の導入



$$\text{A社のCAFE値} = \frac{A + B + C + D}{\frac{A}{\alpha} + \frac{B}{\beta} + \frac{C}{\gamma} + \frac{D}{\delta}}$$

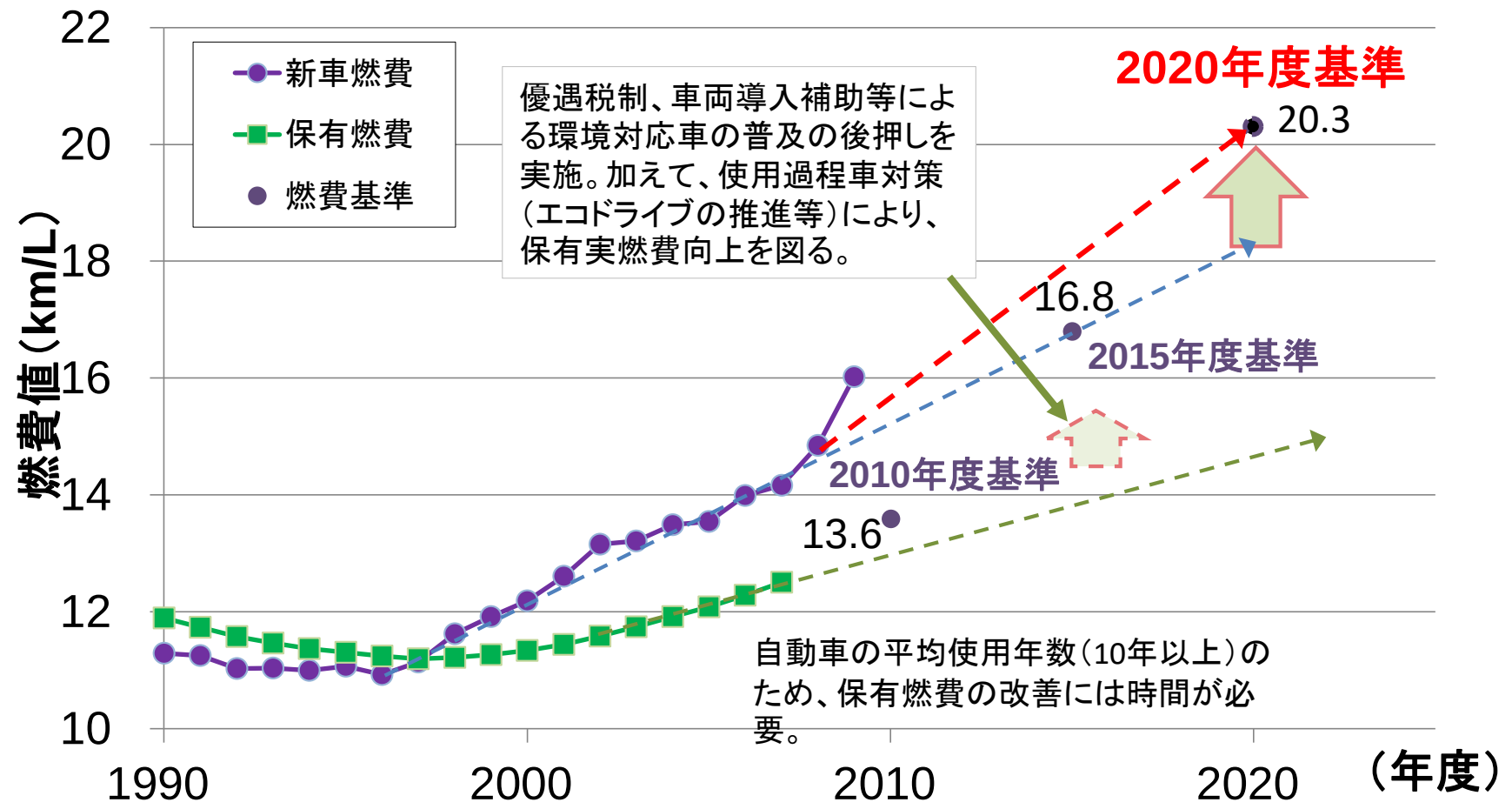
 $\geq$ 

$$\text{A社のCAFE基準値} = \frac{A + B + C + D}{\frac{A}{a} + \frac{B}{b} + \frac{C}{c} + \frac{D}{d}}$$

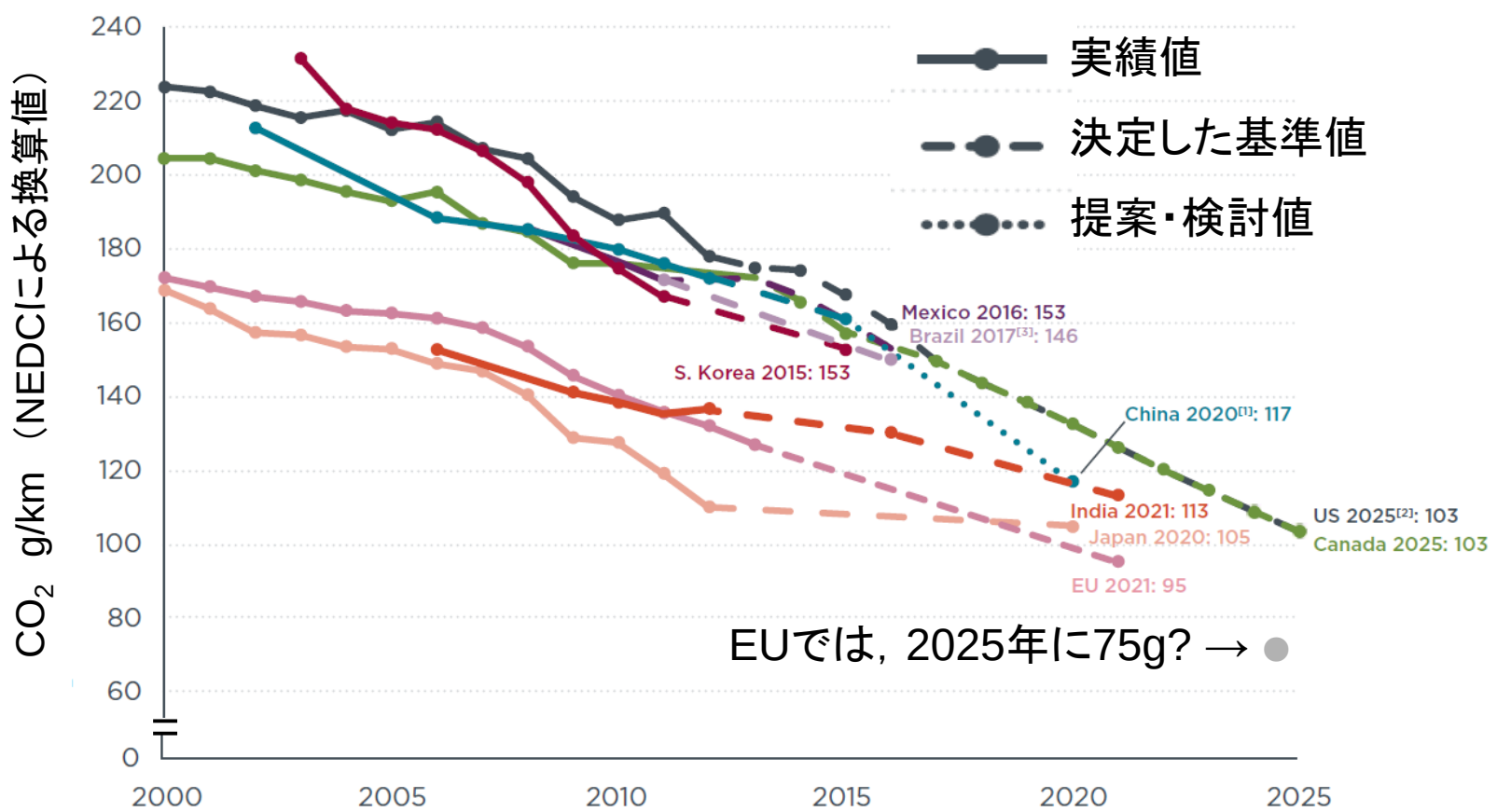
- 燃料についてはガソリンをベースとし、低発熱量換算のため、ディーゼル車とLPG車の燃費は、それぞれ1.10, 0.78で除した値とする。
- EVとPHEVは省エネ法の燃費基準の対象とせず、基準値を設定しない。
- 電費は消費電力量を発熱量に基づいてガソリン使用量に換算低位発熱量 (32.9 MJ/L) を使用した値をガソリン乗用自動車等の燃費とともにそれぞれの出荷台数で加重調和平均した値により基準達成を判断する。

# 乗用車等の燃費基準の推移(国交省, 2011年)

- ・2020年度平均燃費値は**20.3 km/L**となり、2009年度比24.1%の向上。
- ・燃費値はJC08モード。10・15モードによる測定実績値を一定の仮定で換算



# 各国の乗用車燃費基準によるCO<sub>2</sub>排出量の比較



★2020年以降の燃費基準の強化が大きな課題  
(資料: ICCT2014より)

# 各国の乗用車燃費基準の比較 (NEDCベース, ICCT 2015)

| 国 名 | 年               | km/L            | L/100 km       |
|-----|-----------------|-----------------|----------------|
| 日 本 | 2020            | 22.1            | 4.52           |
| E U | 2021            | 24.4            | 4.10           |
| 米 国 | 2025            | 22.5            | 4.44           |
| 中 国 | 2020<br>(2025?) | 19.8<br>(25.0?) | 5.05<br>(4.00) |
| インド | 2021            | 20.5            | 4.88           |

(NEDC: New European Driving Cycle)

□ 2025年以降の次期基準の検討・制定が必要とされている。

# 2015年度重量車燃費基準 (車両総重量>3.5トン)

## <トラック> (L/km)

| 車 種     | 基準2002年度 | 2015年度 | 改善率   |
|---------|----------|--------|-------|
| トラクター以外 | 6.56     | 7.38   | 12.2% |
| トラクター   | 2.67     | 2.93   | 9.7%  |
| 全 体     | 6.32     | 7.09   | 12.2% |

## <バス> (L/km)

| 車 種  | 基準2002年度 | 2015年度 | 改善率   |
|------|----------|--------|-------|
| 路線バス | 4.51     | 5.01   | 11.1% |
| 一般バス | 6.19     | 6.98   | 12.8% |
| 全 体  | 5.62     | 6.30   | 12.1% |

- ❑ 定常運転条件での燃費を元に過渡モード(JE05)を算出する方法を採用している。
- ❑ 2025年以降での次期基準の施行が検討されている。

# 自動車の燃費改善技術

燃費改善率    ◎: 10%以上    ○: 5～10%    □: 5%以下

| 対 象         |       | 技 術      (G:ガソリン車)、(D:ディーゼル車)                                                                                                       |                      |          |
|-------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|
| エンジン        | 新方式   | ◎直噴ガソリン(G)<br>○リーンバーン(G)                                                                                                            | ◎ハイブリッド化<br>○HCCI(G) | ◎ミラーサイクル |
|             | 制 御   | ○アイドルストップ                      □減速時燃料カット<br>□空燃比,点火時期制御の高精度化(G)<br>□空気流動の適正化                      □クールドEGR<br>□熱損失低減                |                      |          |
|             | 機 構   | ◎可変気筒機構                              ◎エンジンダウンサイジング<br>□4弁化                                      ○可変/多段ターボ過給<br>○可変弁機構(VVT等による可変圧縮比) |                      |          |
|             | 摩擦低減  | □潤滑特性の改善                              □運動部の軽量化                                                                                      |                      |          |
| 駆 動・<br>伝達系 | ATの改善 | ◎無段変速機(CVT)                              ◎自動化MT(DCT)<br>□ATの電子制御化                              □ATの多段化                              |                      |          |
| 車 体         |       | ◎軽量化(樹脂,軽金属,超高張力鋼の利用)<br>◎空気抵抗低減(高速時)    □低転がり抵抗タイヤ                                                                                 |                      |          |
| その他         |       | □補機類の高効率化(電動化)    □廃熱利用                                                                                                             |                      |          |



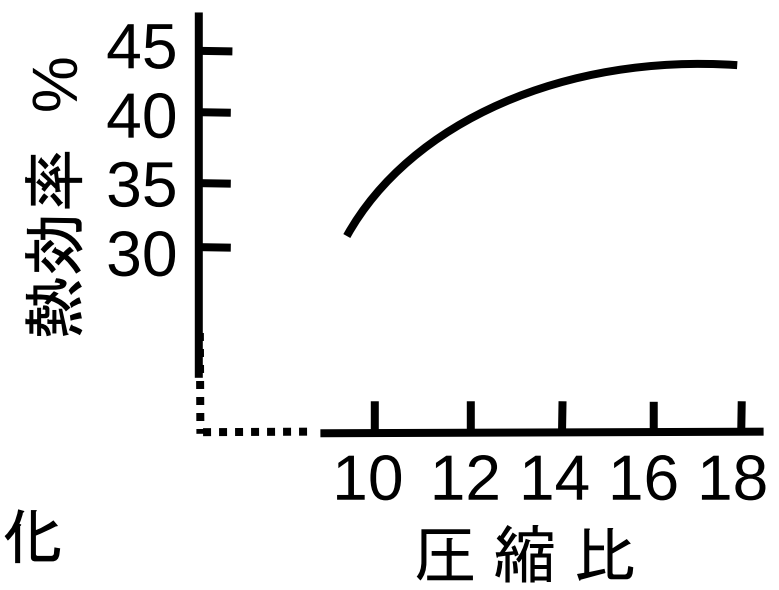
# ディーゼルエンジンは、何故燃費がよいか？

- 圧縮比が高い。
- 部分負荷では燃焼の等容度が高い。
- 吸気を絞らないため、ポンプ損失がない。
- ターボ過給で排気エネルギーの一部を回収。
- 全体的に空気過剰な燃焼を行うので、比熱比が大きく、熱損失が少ない。

★ガソリン乗用車はディーゼル車の燃費に近づけるか？

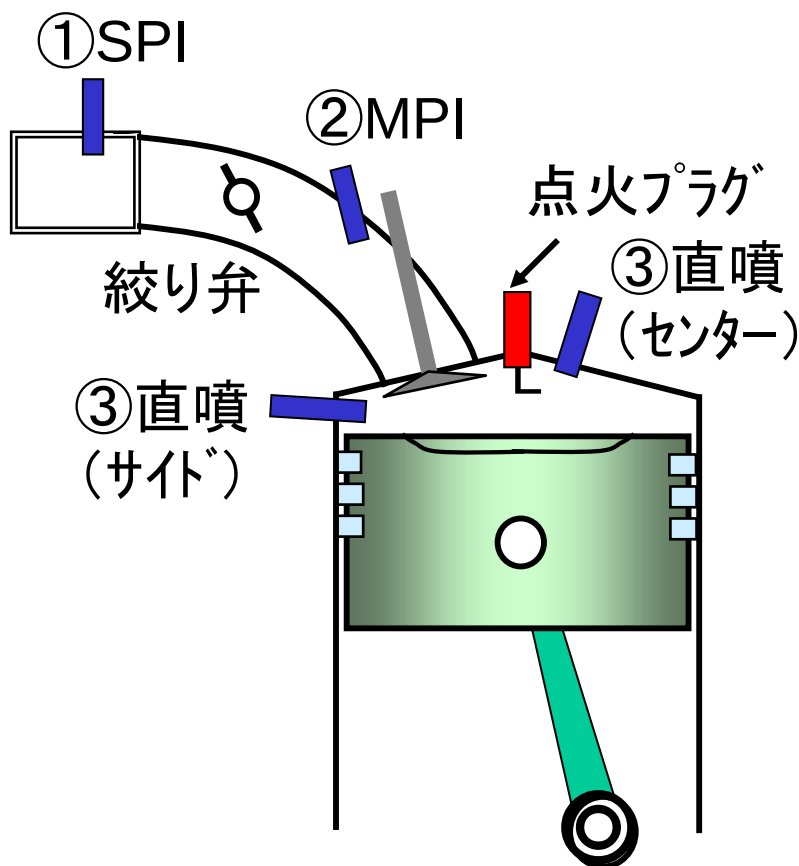
そのための手段は...

- ・直噴 ・高圧縮化(高オクタン価)
- ・ターボ過給 ・リーンバーン
- ・VVT ・VVL
- ・HCCI ・GDCI ★ハイブリッド化



# ガソリンエンジンにおける燃料供給方式とその特徴

①→③: 燃料の輸送遅れ,  
分配性, 始動性の改善



① SPI (シングルポイントインJECTION)

○ 簡易的なシステム

△ 厳密な空燃比制御が困難

② MPI (マルチポイントインJECTION)

○ 厳密な空燃比制御が可能

○ 気筒間の供給バラツキの抑制

◎ 三元触媒によりNO<sub>x</sub>大幅低減

③ 筒内直接噴射

◎ 希薄な成層燃焼/理論混合比

◎ 耐ノック性向上 (高圧縮比化で燃費改善)

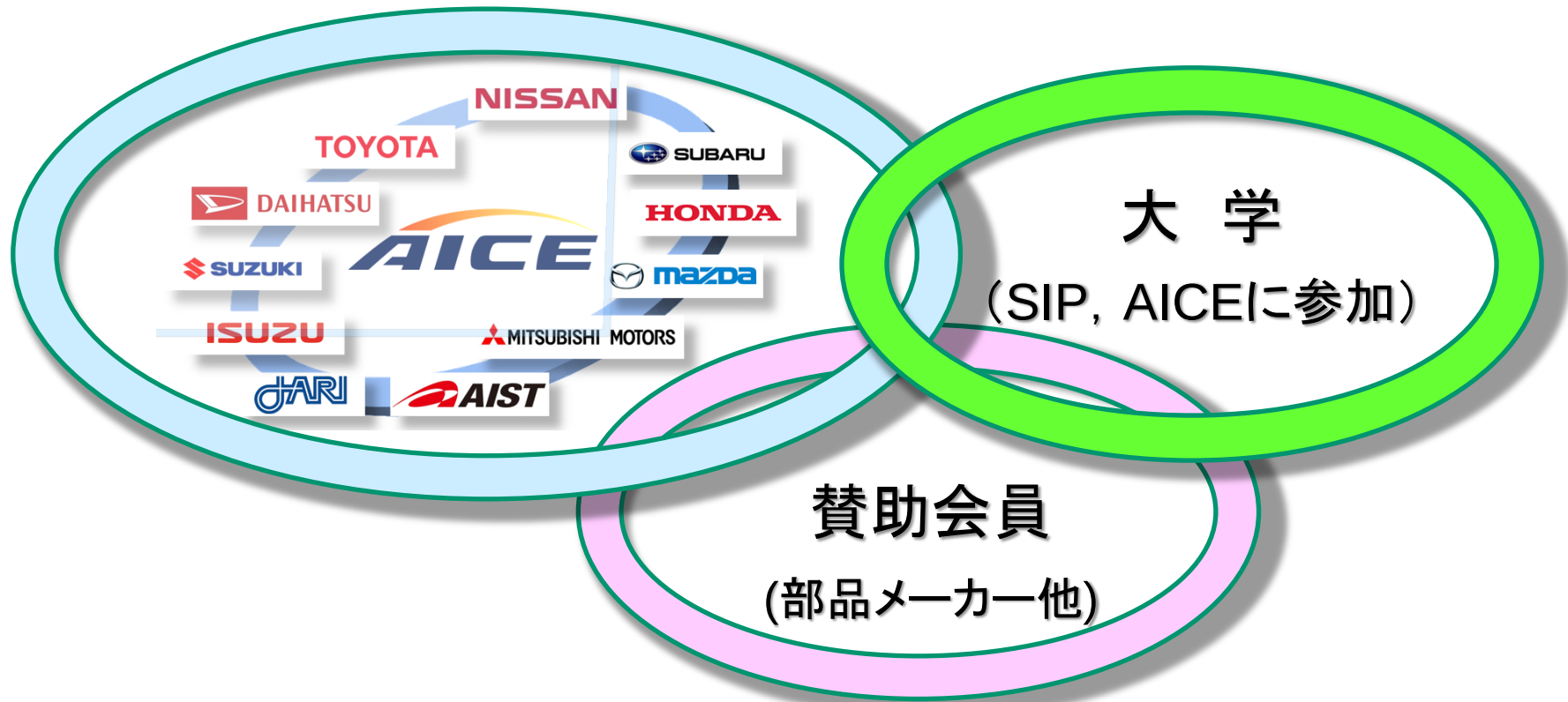
◎ 過給・ダウンサイジングの組合せ (LSPI/HSPI対策が必要)

○ 大量EGRによるHCCIの可能性

△ コスト高 △ 低温PM対策が必要

△ 希薄燃焼ではNO<sub>x</sub>還元触媒が必要

# 自動車用内燃機関技術研究組合“AICE” (経産省, 2014年度～2016年度)



★AICE会員はSIPの大学研究者に技術支援を行い成果を共有する。

# わが国のエンジン関係プロジェクト“SIP”と“AICE”

内閣府

科学技術研究機構  
JST

経済産業省

SIP（戦略的イノベーション  
創造プログラム）  
“革新的燃焼技術”  
2014年度 – 2018年度  
（約20億円/年）



乗用車用先進的  
クリーンディーゼル  
2014年度 – 2016年度  
（約7.50億円/年）

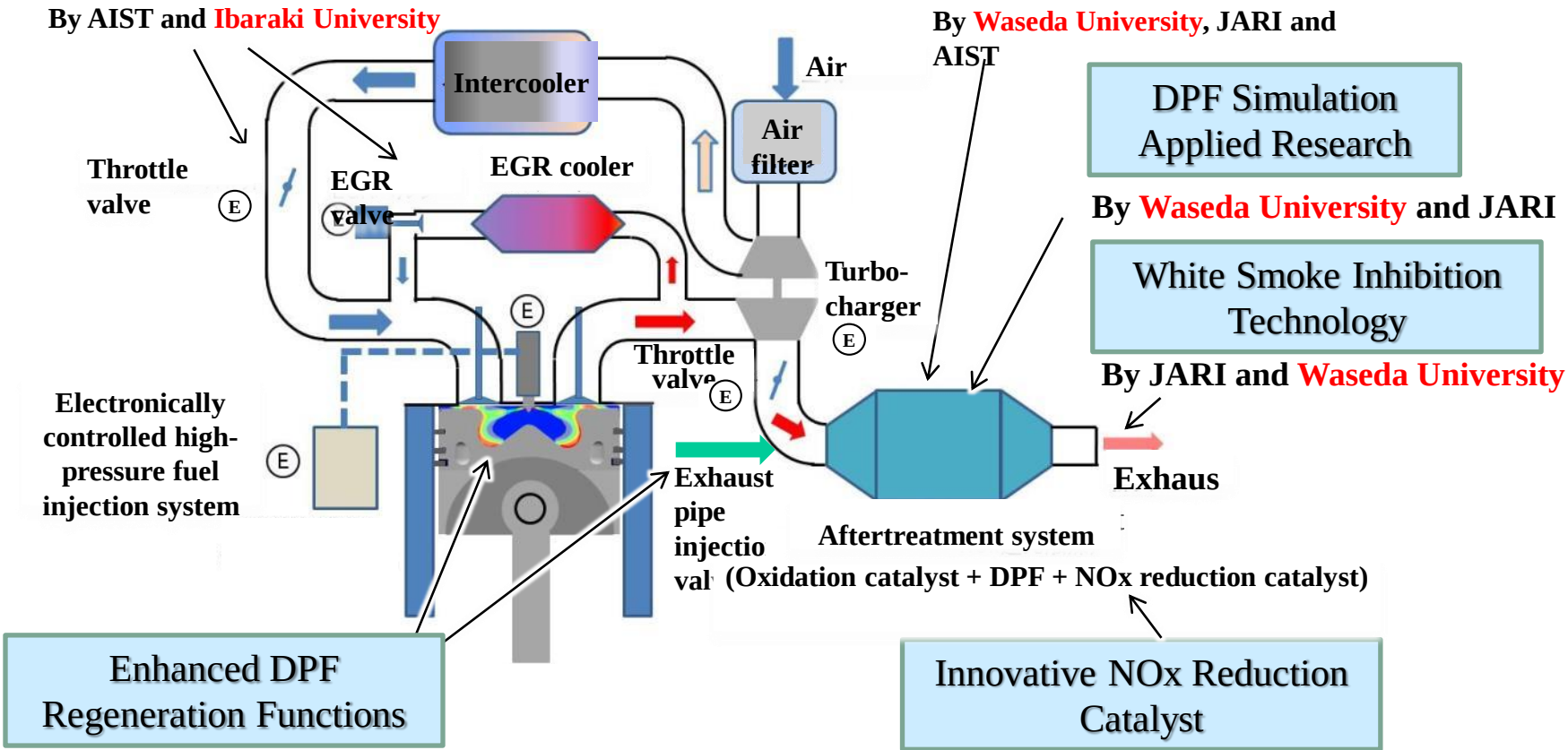
# AICEの先進クリーンディーゼルエンジンに関する基礎研究

## EGR Deposit Inhibition Technology

By AIST and Ibaraki University

## Enhanced DPF Functions

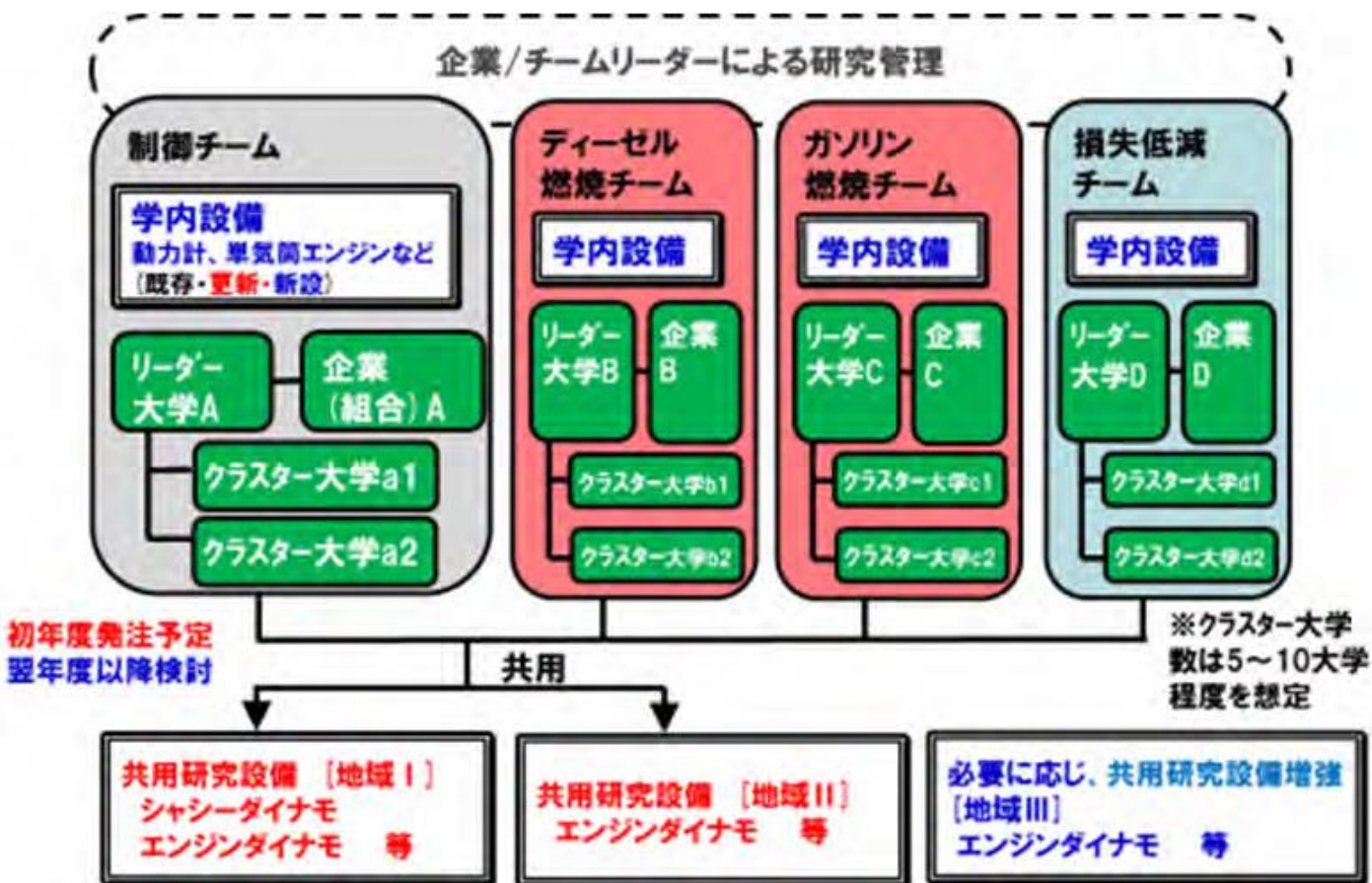
By Waseda University, JARI and AIST



By JARI, Hokkaido University, Kyoto University,  
Doshisha University, Waseda University, and AIST

By The University of Tokyo, Waseda University, Yokohama National University, Hiroshima University, Tokyo Institute of Technology, Hokkaido University, and AIST

SIP「革新的燃焼技術」の研究組織  
(内閣府・JST 平成26年度～30年度)

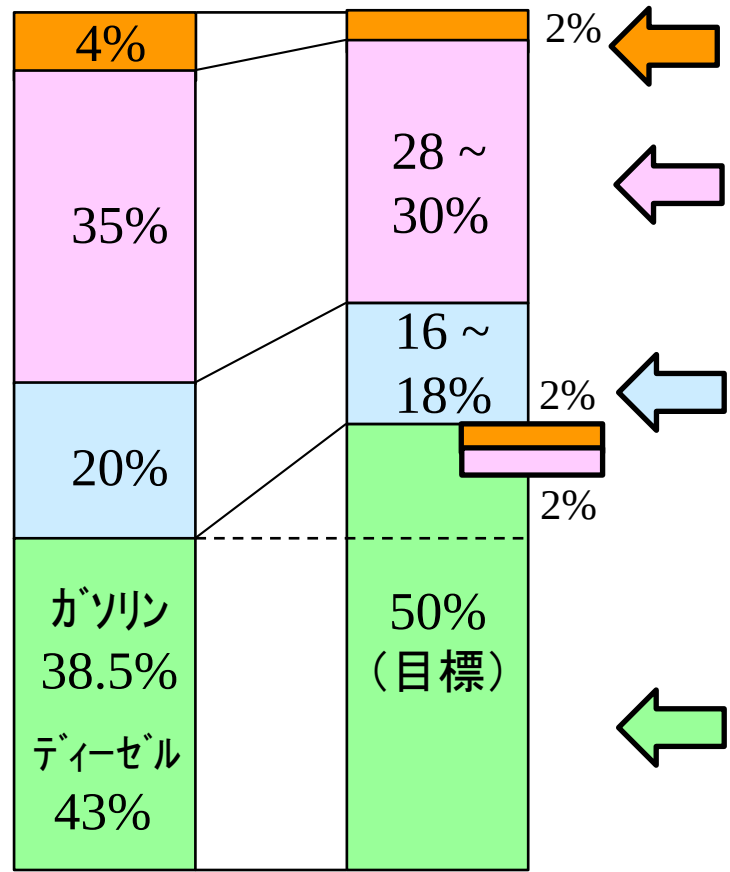


★乗用車用ガソリンエンジンとディーゼルエンジンの正味熱効率50%の達成を目指す。

# SIP「革新的燃焼技術」におけるエンジンの 正味熱効率50%達成のための技術課題

☆2020年から2030年における実用化を目指し、今後の従来車やHEV, PHEVの燃費改善に大きく寄与する。

《エネルギーバランス》

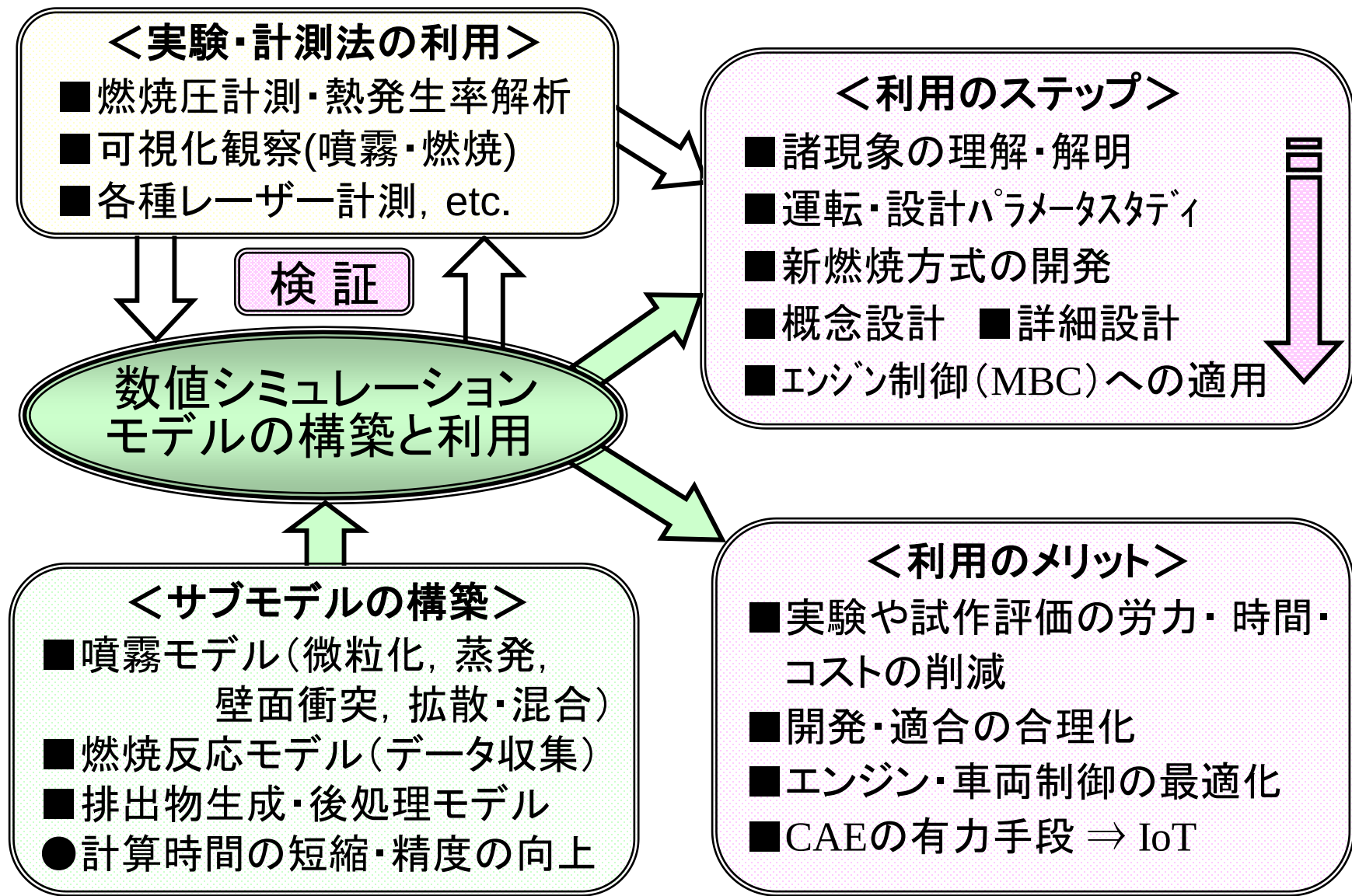


《エンジン技術の課題》

- 機械摩擦損失の半減 (高面圧・低粘性化)
- 排気エネルギー有効利用
  - ・ターボ過給の高効率化 (60数%達成)
  - ・排熱回収 (燃料改質・熱電素子の利用)
- 熱損失の低減
  - ・リーンバーン
  - ・シリンダ内流動の適正化
  - ・遮熱材の利用
- 図示仕事の増大 (図示熱効率の改善)
  - ・燃焼の改善
    - ガソリン: リーンバーン, ロングストローク化
    - ディーゼル: 高分散燃焼



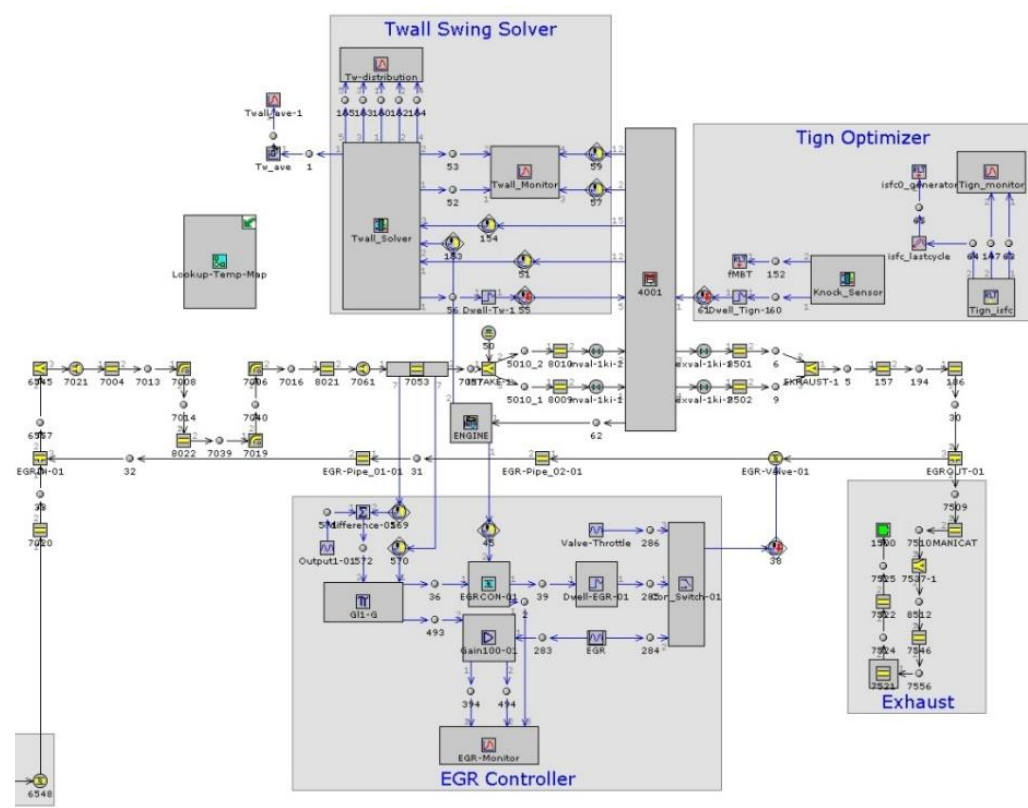
# エンジン燃焼システムの研究開発・設計に関わる 数値シミュレーションの役割





# 統合エンジンシミュレーションモデル (ガソリンエンジンの伝熱とノックを考慮した性能予測)

自技会 2016年5月  
早大:喜久里, 草鹿, 大聖



- 高速で予測評価が可能な  
数値予測モデルの開発
- 伝熱とノックを予測して  
最適点火時期を決定する。

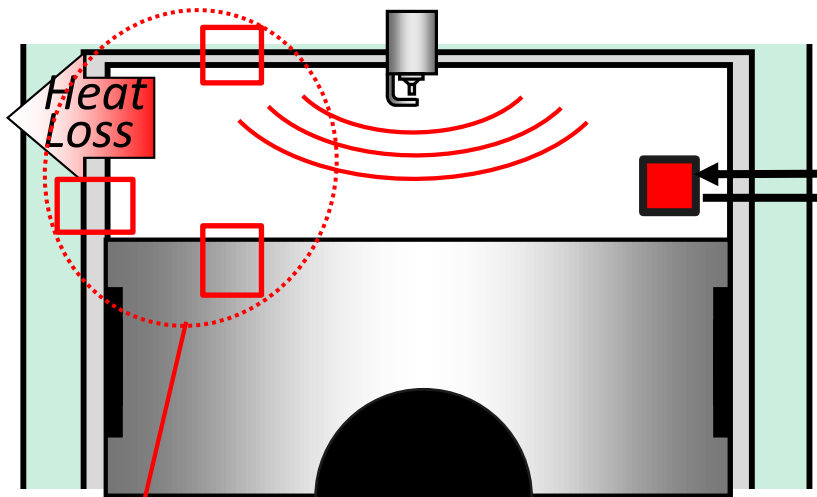
- 考慮する技術
  - ・ 燃焼の改善
  - ・ ターボ過給
  - ・ 燃料改質
  - ・ 機械損失低減  
(・ 熱電素子)

☆GT-Powerをベースに  
各種サブモデルを導入

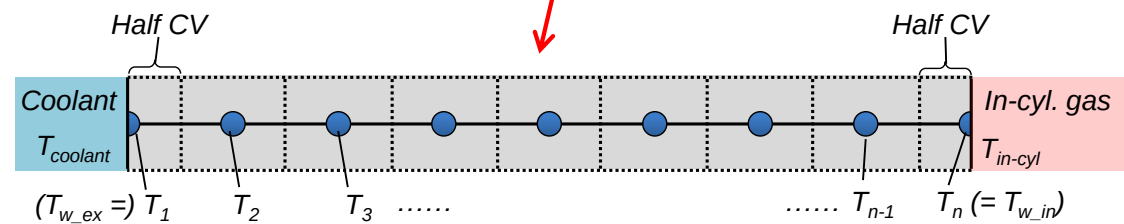
# 統合エンジンシミュレーションモデル (ガソリンエンジンの伝熱とノックを考慮した性能予測)

Spark ignited Combustion  
0D 2Z SI combustion model

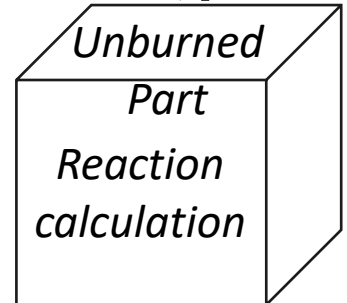
+ Turbocharger  
Intercooler  
EGR systems  
...



$P_{cyl}, T_u$       Knock or not?

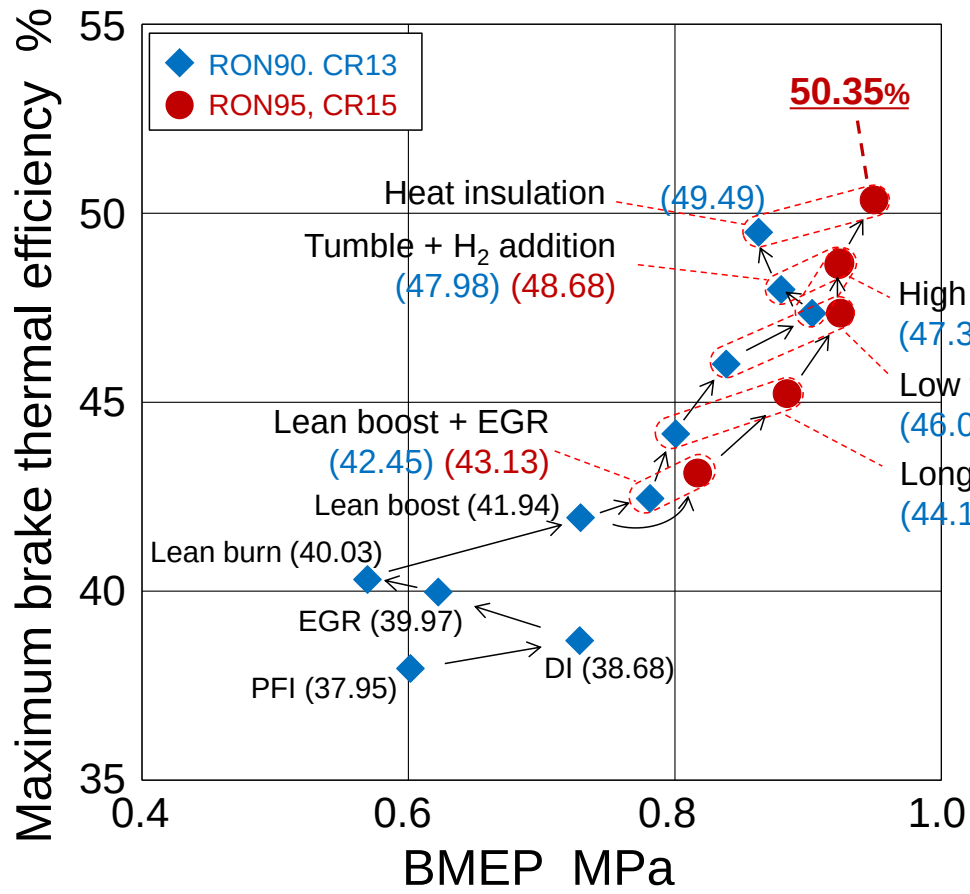


Heat transfer in combustion chamber wall  
Unsteady thermal conductivity calculation



Knock prediction  
Reaction calculation by the  
modified Shell model

# ガソリンエンジンにおける正味熱効率50% 達成のシナリオ（早大：喜久里・草鹿・大聖，2016年）



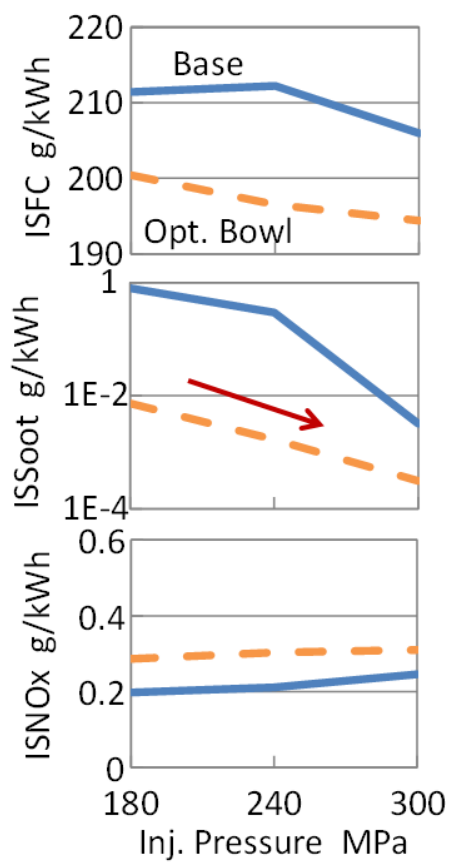
- <主な改善技術>
- 高圧縮比化
  - 直噴化
  - EGR
  - リーンバーン
  - 高効率過給
  - ロングストローク化
  - 低摩擦化
  - タンブル流
  - (水素添加)
  - 遮熱化
  - 高オクタン価燃料

☆ 正味熱効率38%から50%への向上によって、燃費は32%改善し、CO<sub>2</sub>は24%低減する可能性がある。HEVやPHEVにも利用可能な技術である。

# 最適化した燃焼室形状と噴射圧力の影響 (早大2012年)

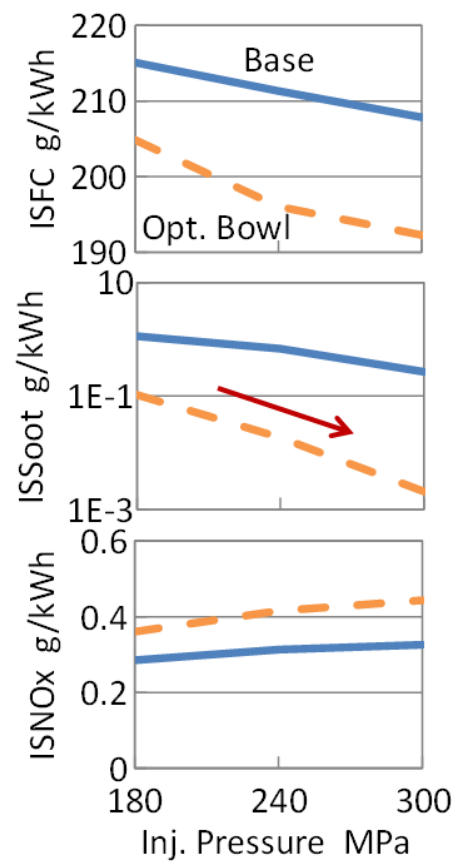
Med. Load

Fuel : 100mg/cyc.  
EGR : 40% Boost : 60kPa



High Load

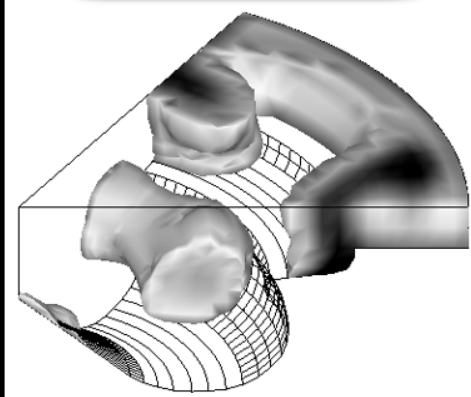
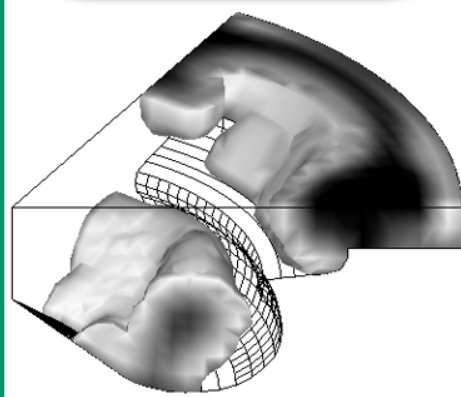
Fuel : 150mg/cyc.  
EGR : 35% Boost : 120kPa



Medium Load

180MPa

300MPa

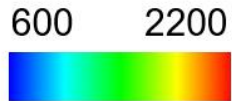


0.001 Soot mg/cm<sup>3</sup> 0.1

最適化形状と超高圧噴射によるSootの大幅低減

# 詳細反応を考慮した熱流束，熱伝達率，壁面温度の 3-Dディーゼル燃焼シミュレーションの結果例

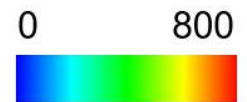
Gas temp. [K]



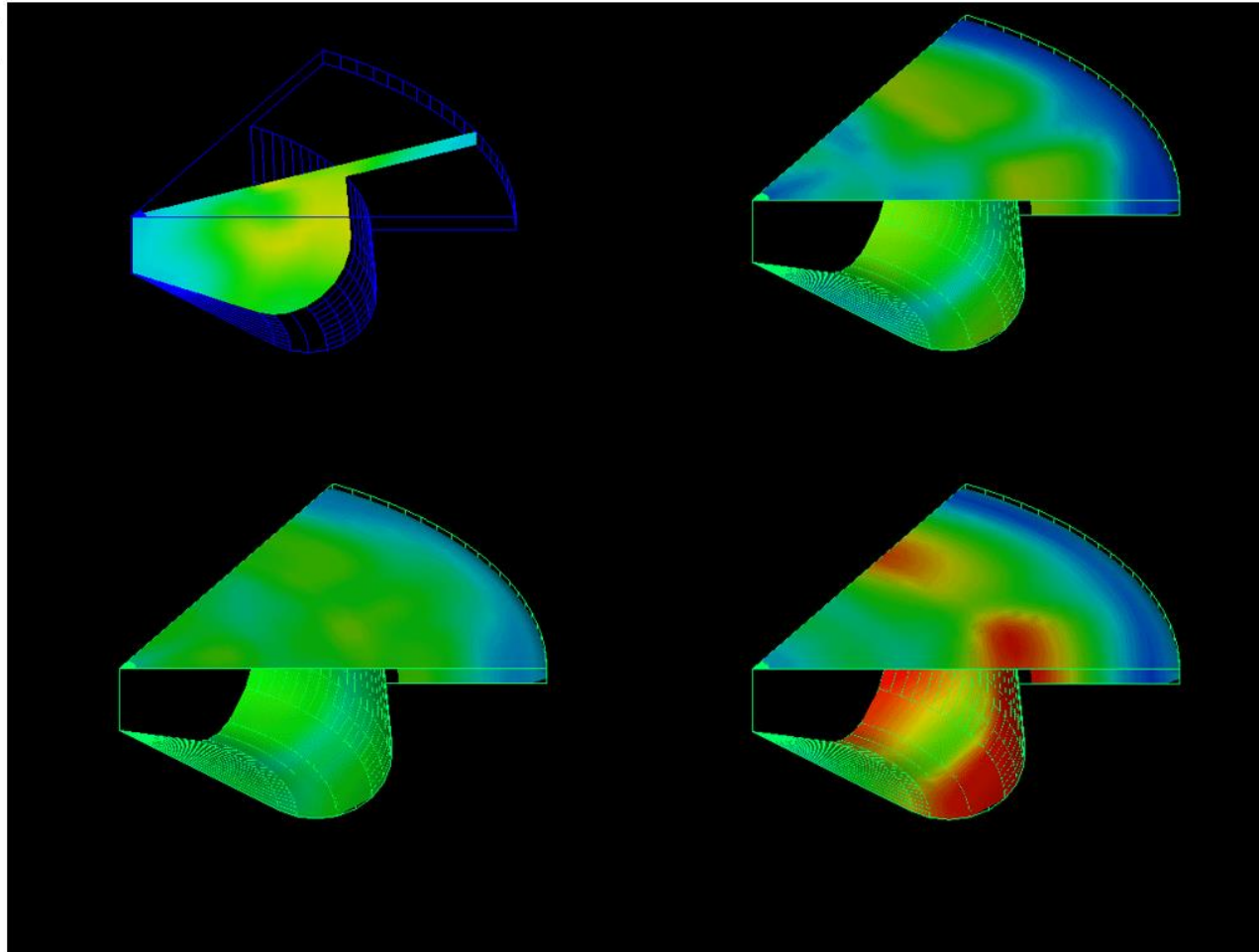
Heat transfer  
coefficient  
[W/m<sup>2</sup>K]



Heat flux  
[W/m<sup>2</sup>]



Wall surface  
Temperature  
[K]



JSAE/SAE 2015, PF&L

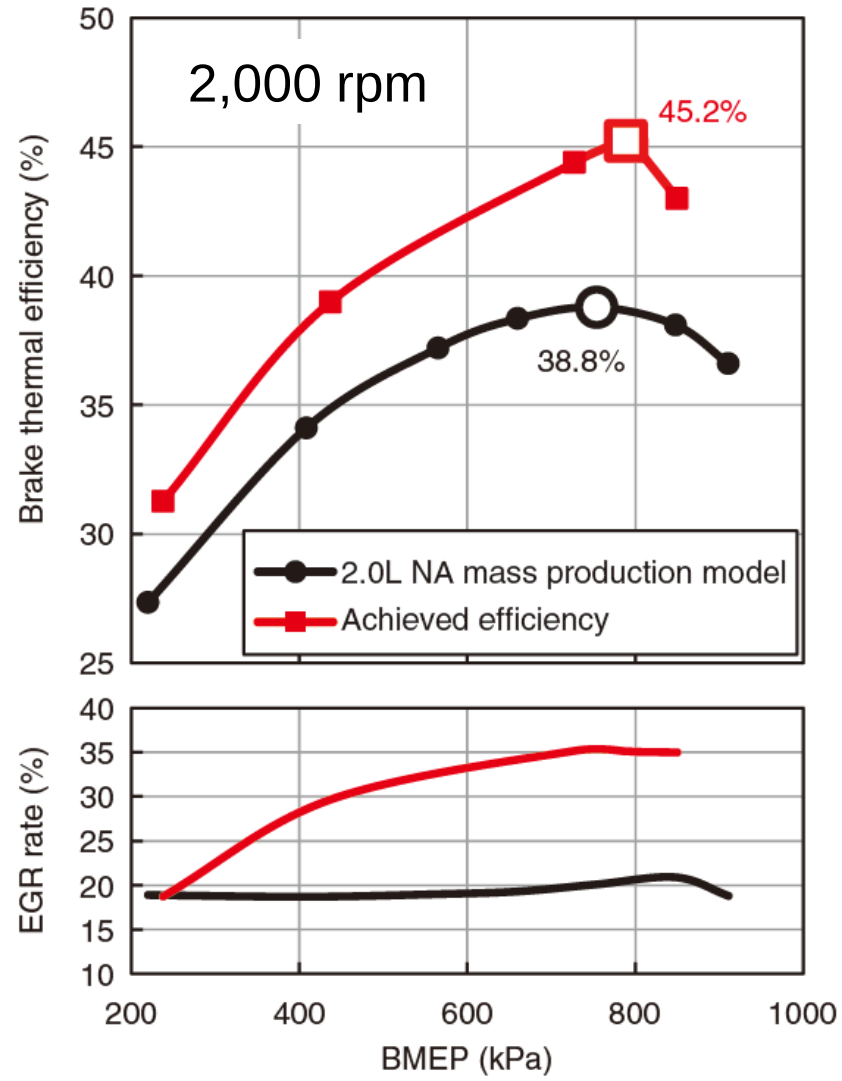
A. Kikusato, J. Kusaka and Y. Daisho, Waseda University

# 正味熱効率45%を達成するホンダの SIエンジン技術(1/2)

## 最終的なエンジン諸元

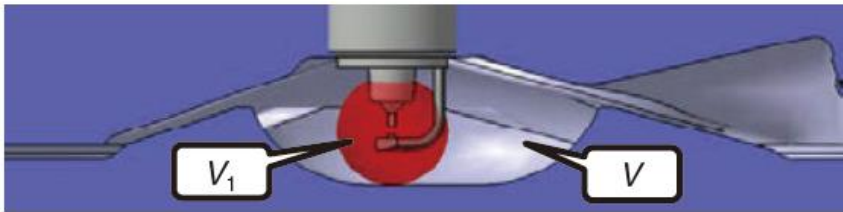
|                                 |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| Engine type                     | DOHC 4-valve single cylinder |
| Bore (mm) × Stroke (mm)         | φ81 × 121.6 S/B 1.5          |
| Compression ratio (-)           | 12.5                         |
| Expansion ratio (-)             | 17.0                         |
| Displacement (cm <sup>3</sup> ) | 627                          |
| Intake port                     | Tumble port                  |
| Air supply                      | Supercharged                 |
| EGR system                      | Low-pressure loop-cooled EGR |
| Fuel supply                     | DI                           |
| Piston shape                    | Shallow dish                 |
| Ignition energy (mJ)            | 450                          |

Honda R&D Technical Review,  
Vol.27, No.2, 2015

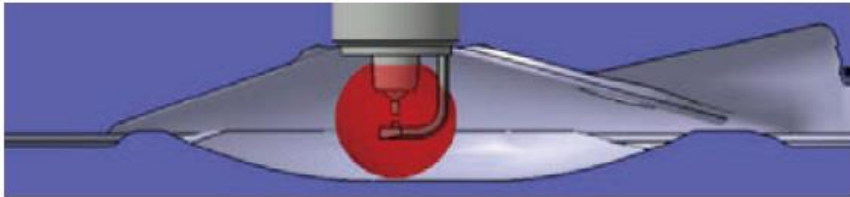




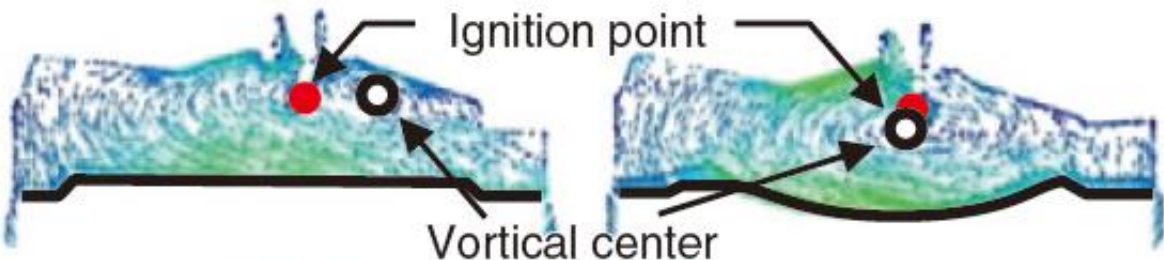
# 正味熱効率45%を達成するホンダの SIエンジン技術(2/2)



(a) S/B 1.2, compression ratio 17.0,  $V_1/V$  2%



(b) S/B 1.5, compression ratio 17.0,  $V_1/V$  2%



(a) Flat piston

(b) Shallow dish piston

## 米国エネルギー省 “SuperTruck Program” の概要

### □ “21<sup>st</sup> Century Truck Partnership” の一環

### □ 予算と期間

- ・ DOEの助成(50%補助) 約100億円／4社
  - Cummins, Navistar, Daimler (DDC), Volvo
- ・ 5年間: 2010年～2014年(超過達成し, Phase IIへ)

### □ 目 標:

- ・ 輸送効率全体を50%改善する。⇒ **達成**
  - トラクター／トレーラー(Class 8)の車両技術で30%達成
  - エンジン技術で20%達成
    - 正味熱効率(BTE)50%達成(42%→50%)
- さらに, 正味熱効率55% の見通しを付ける。⇒ **今後の課題**

### □ 課 題

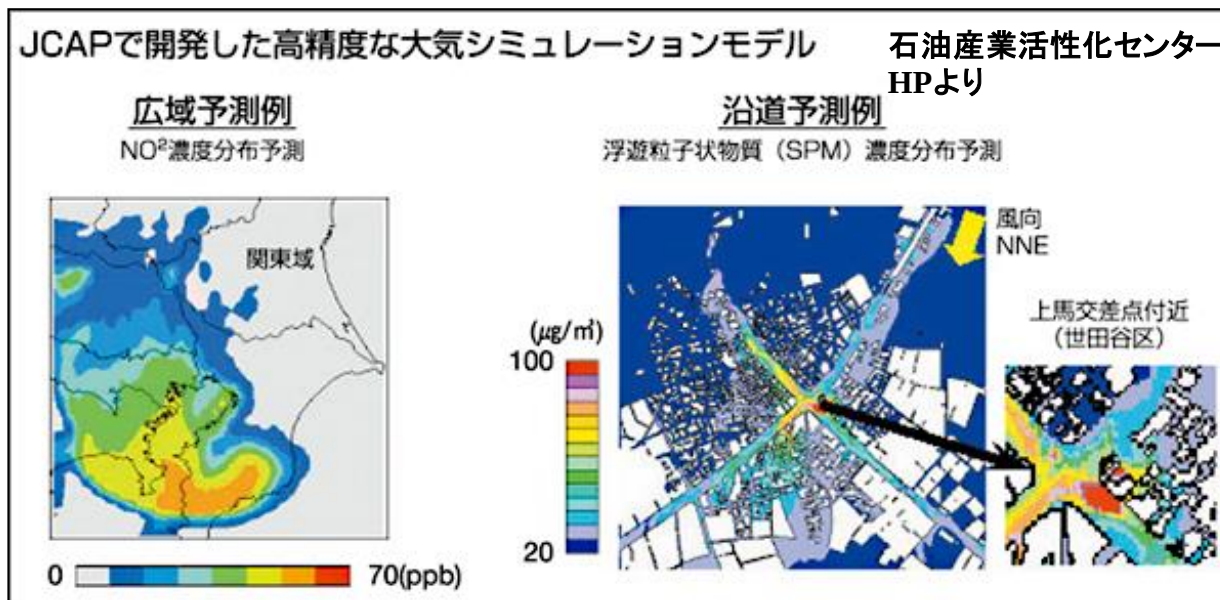
- ・ 費用対効果
- ・ ロバスト性
- ・ 軽量化
- ・ 低燃費と低排出ガスの両立 (NOx後処理システムの簡素化)
- ・ そのための燃料性状の決定
- ・ Class 8以下の車種の低燃費化



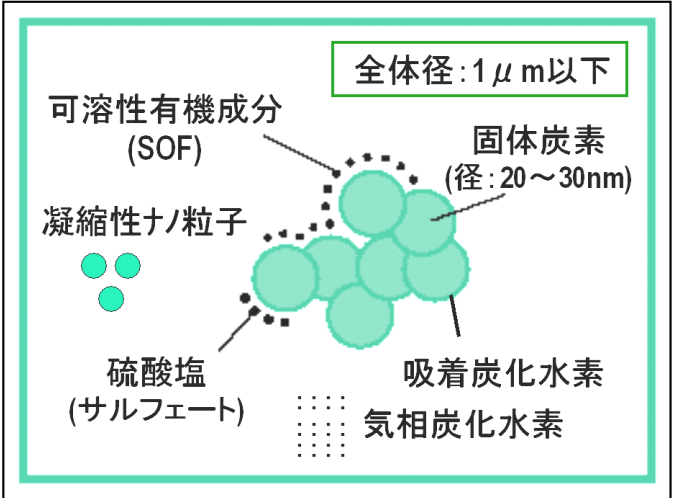
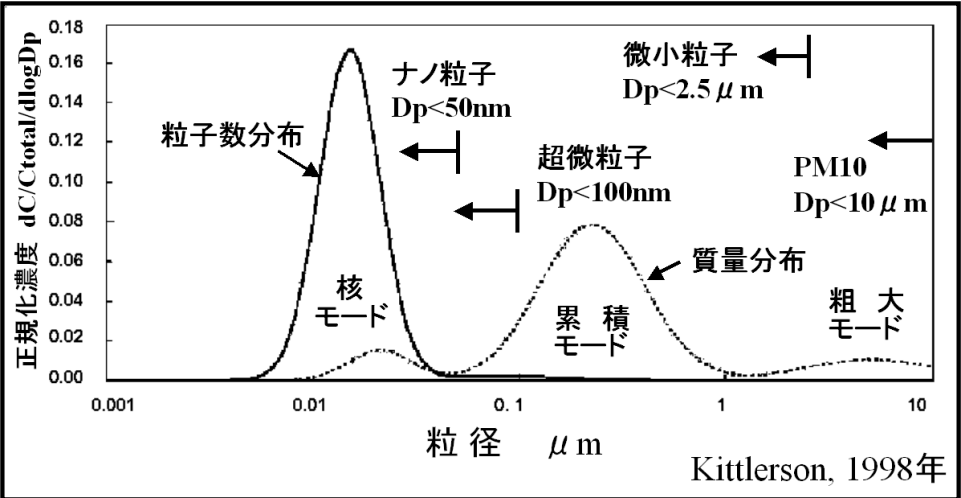
# JATOP(Japan Auto-Oil Program)の活動(2007年度～現在)

JCAPI,IIに続き,「大気環境保全・改善」を前提に,地球温暖化,エネルギーセキュリティ対応のため,「CO<sub>2</sub>削減」「燃料多様化」「排出ガス低減」を同時解決する自動車・燃料利用技術の確立を目指す。

- 低セタン価,高アロマ軽油の影響
- ディーゼル排気後処理システムの性能評価
- 大気環境改善の検討・評価(大気モデルの活用・提供)

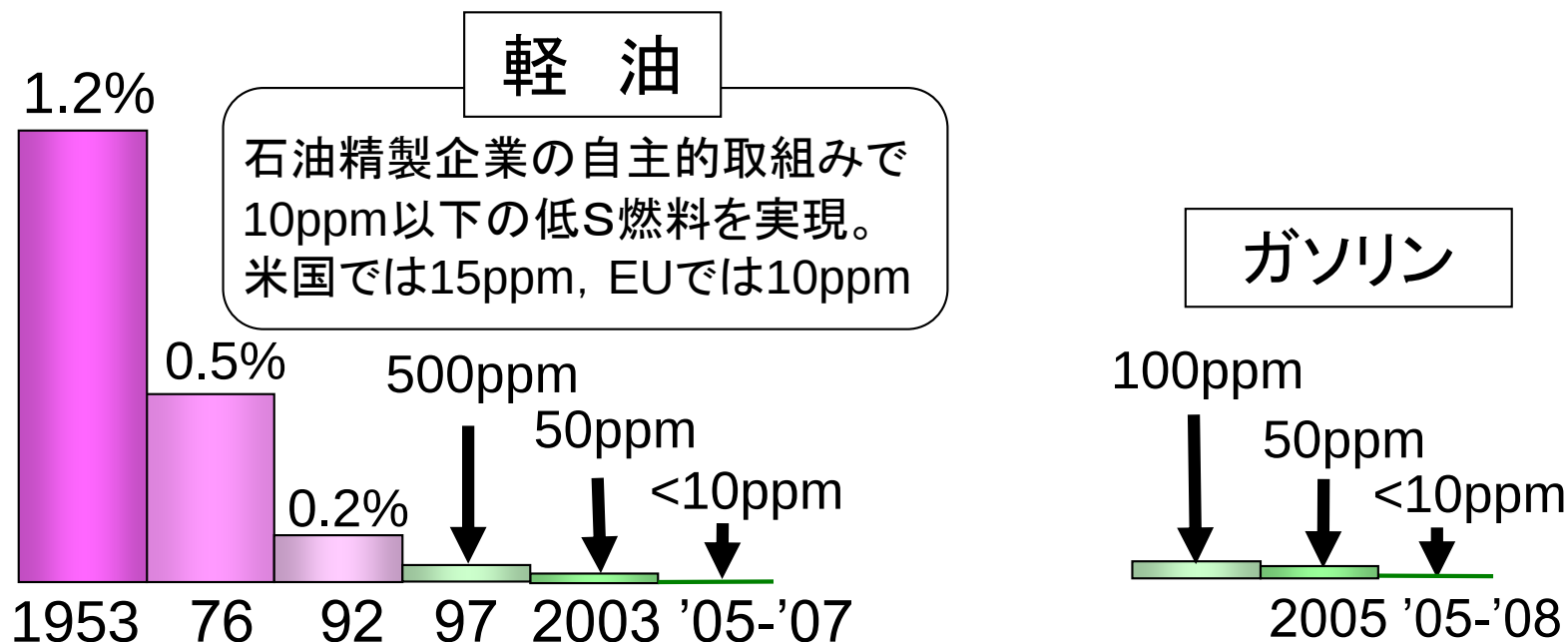


# ディーゼルナノ粒子の生成と対策



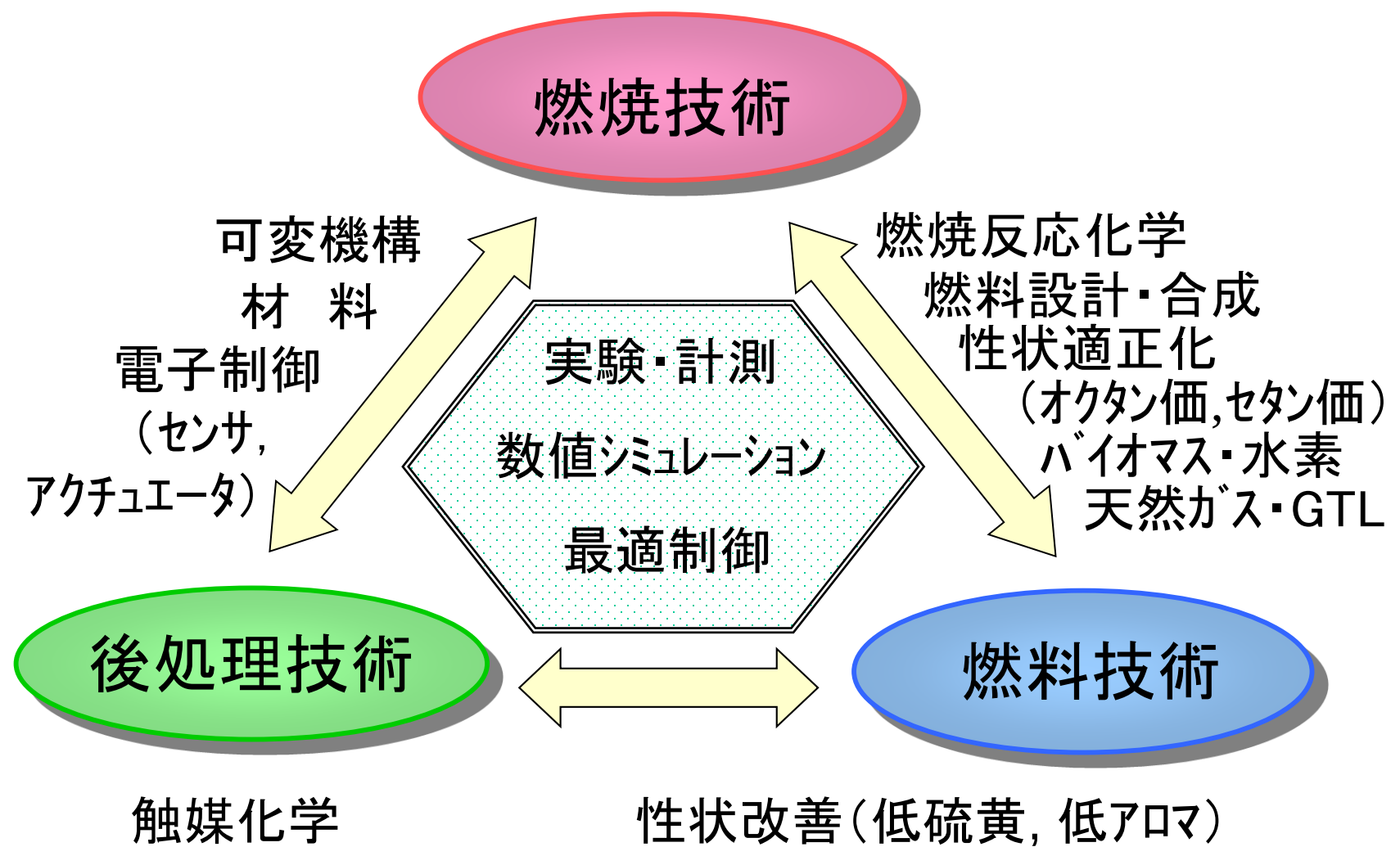
|      |                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 影響因子 | ・排気温度 ・大気との希釈率 ・保持時間 ・湿度                                                                                                                             |
| 成分   | ・軽油の硫黄分 ・潤滑油と添加剤 ・燃料と燃焼起源 (T90, 芳香族)                                                                                                                 |
| 生成要因 | ・低温でDPF内に捕捉された成分の温度上昇時の蒸発と希釈による凝縮<br>・DPF再生時, NOx吸蔵触媒でのリッチスパイク時                                                                                      |
| 規制動向 | ・EUでのPN規制: 乗用車 $6 \times 10^{11}$ 個/km, 重量車 $6 \times 10^{11}$ 個/kWh<br>★直噴ガソリン車にも適用 (冷始動, 壁面衝突等で排出, GPFが必要か?)<br>・わが国でも“PM2.5”の環境基準が設定された。(2009年9月) |
| 対策   | ・大部分はDPFで捕捉可能。酸化触媒でも除去 ・軽油低硫黄化<br>・潤滑油消費量の低減, 添加剤の改善 ・DPF再生時とリッチスパイク時対策                                                                              |
| 課題   | ・PM2.5への影響の解明 ・測定法の確立 ・粒子数規制の可否の検討                                                                                                                   |

# わが国における燃料中の硫黄低減

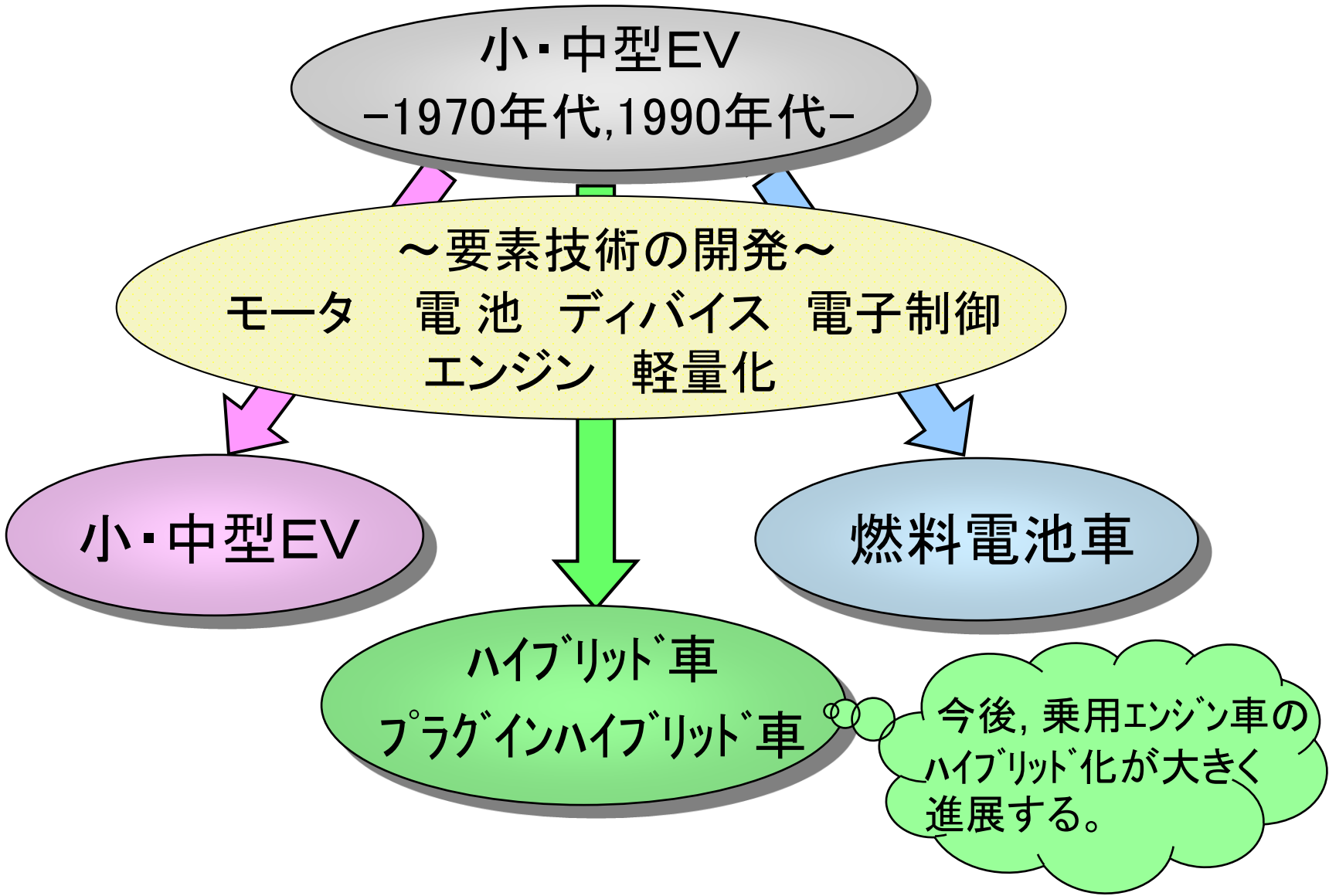


- ❑ 新長期規制, ポスト新長期規制に対応してNOx吸蔵還元触媒を用いる  
リーンバーン直噴ガソリン車とディーゼル車における利点
  - ・ 硫黄による被毒劣化の抑制(耐久性の向上)
  - ・ 被毒回復制御に必要な燃料消費量の抑制
- ❑ 精製過程での超深度脱硫によるCO2増加
  - ・ NOx吸蔵還元触媒装着車の普及促進で克服
- ❑ 課 題: 2009年以降, NOx吸蔵触媒では, ゼロS燃料が必要?

# エンジンに関わる3つの技術

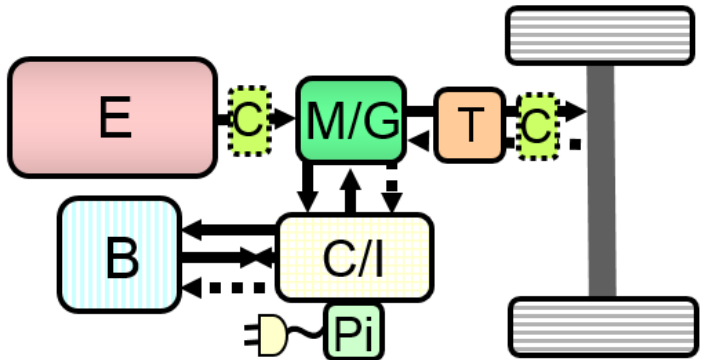


# 今後の自動車の電動化

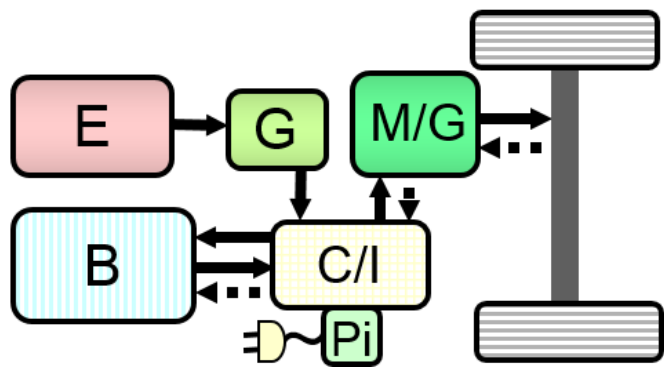


# 各種のハイブリッド方式と燃費改善

(アイドルストップ、回生、パワーアシストを含む  
簡易な機構や48Vシステムも登場)



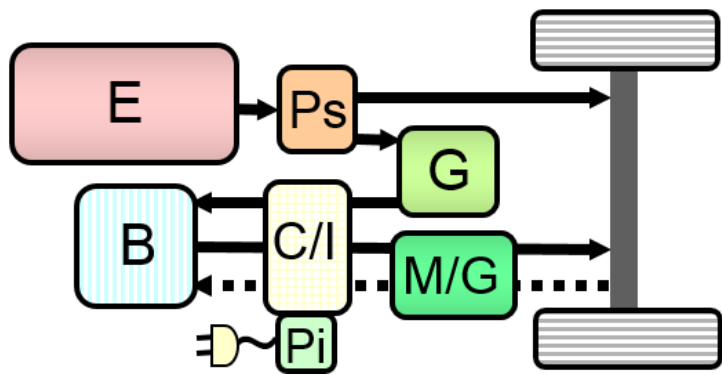
＜パラレル(マイルド)＞【10-50%】



＜シリーズ(フル)＞【50-100%】

## ＜方式＞【燃費改善率】

- E: エンジン
- G: ジェネレータ
- C/I: コントローラ / インバータ
- T: 変速システム
- Ps: 動力分割システム
- Pi: プラグイン
- M: モータ
- B: バッテリ
- C: クラッチ
- : 動力 / 発電
- ←...: 回生



＜シリーズ/パラレル(フル)＞【50-100%】

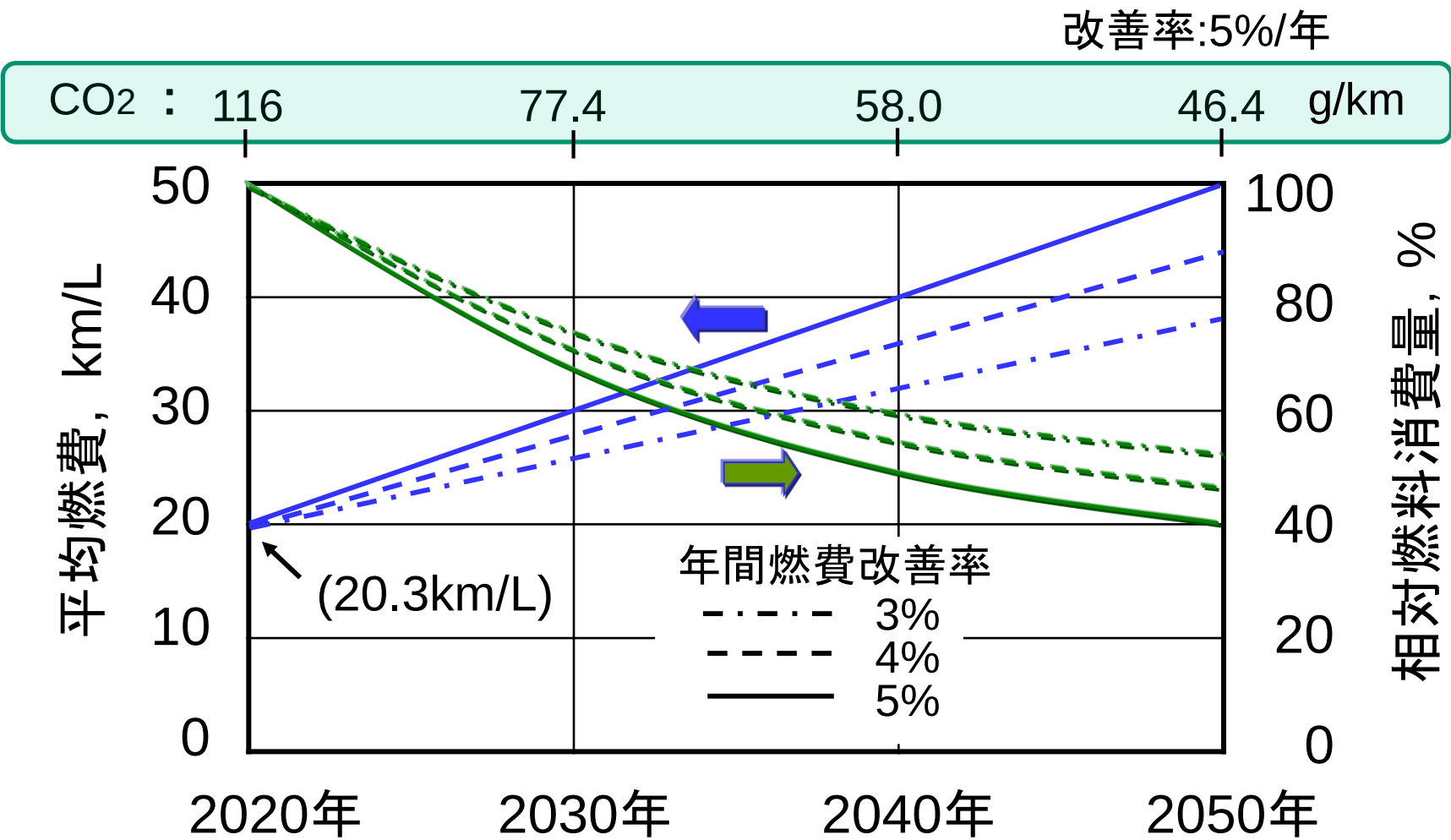
# トヨタの次世代ハイブリッドコンパクトカー “FT-Bh”の発表（ジュネーブ，2012年3月）

- 車体寸法：L 3985mm × W 1695mm × H 1400mm × WB 2570mm。“アクア”に近い。
- 燃費性能：開発段階ではあるが，JC08モード燃費は47.6km/Lで，アクアの35.4km/Lを大きく超える。CO<sub>2</sub>排出量については，アクアの半分程度で49g/km。天然ガス仕様では，38g/km，PHEVでは，19g/kmとなる。
- 燃費向上を可能にした技術
  - ・ 車体の軽量化：同サイズのアクアの1050kgに対し，高張力鋼に加えて，Al，Mgを使って786kgとしている。（ヴィッツの1030kgより3割軽い。）
  - ・ 新型エンジンの開発：2気筒で1.0L，吸気弁遅閉じ方式のアトキンソンサイクルで圧縮比13とし，多量EGRによる直噴とポート噴射を併用する次世代D4を採用。
  - ・ 空気抵抗係数：0.235と小さくしている。
- ハイブリッド：2モーター方式でリチウムイオン電池（約20kg）をリアシート下に設置し，システム重量を約60kgとしている。
- 市販時期は発表から5,6年後の可能性がある。  
価格設定は140万円程度から？





# 乗用車の将来の平均燃費目標





# 物流を担う重量車の高効率化

❑ 物流と公共交通を担うディーゼル車の一層の高効率化は極めて重要な課題

❑ 排気のスーパークリーン化が大前提。

① エンジンシステムの高効率化

～ 正味熱効率55%を目指す！ ～

② 高効率ターボ／ターボコンパウンド

③ 排気熱の利用（ランキンサイクル等）

④ ハイブリッド化

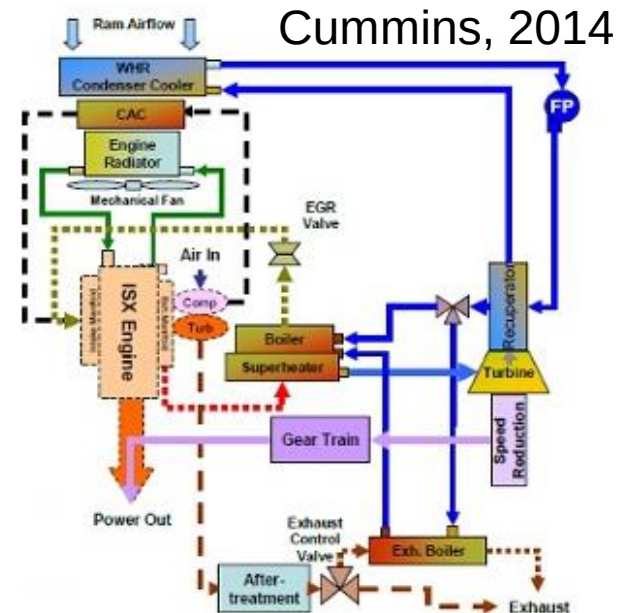
⑤ 軽量化（超高張力鋼等の利用）

⑥ 空力特性の改善

⑦ 低転がり抵抗タイヤの利用

❑ 信頼耐久性，保守性の確保，  
低コスト化が重要

SuperTruck Waste Heat Recovery



Turbo-compounding

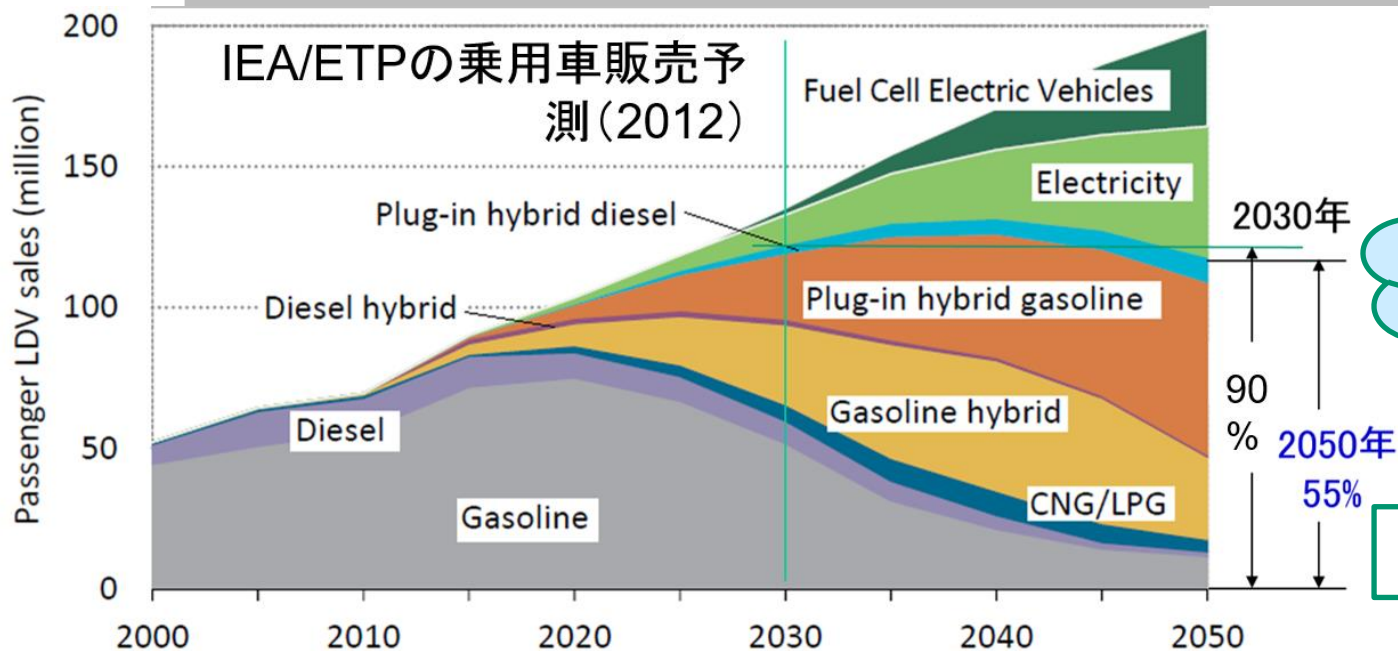


Scania, 2013

# 次世代自動車と特徴と課題

| 車 種               | 排気<br>クリーン<br>度 | 低<br>炭 素<br>特 性 | 航 続<br>距 離 | チャージ<br>時 間 | コスト | 将来ポテンシャルと課題                  |
|-------------------|-----------------|-----------------|------------|-------------|-----|------------------------------|
| 従来ガソリン車           | ○               | △               | ○          | ◎           | ◎   | 普及効果大 石油依存性<br>50%のエンジン高効率化？ |
| ハイブリッド車           | ○               | ◎               | ◎          | ◎           | □   | コモディティ化<br>低コスト化             |
| 電気自動車             | ◎               | ◎               | △          | ▲           | △   | 電池の高性能・低コスト化<br>電源の低炭素化      |
| プラグイン・<br>ハイブリッド車 | ○               | ○               | ◎          | □           | △   | 車両全体の低コスト化<br>電源の低コスト化       |
| 燃料電池自動車           | ◎               | ◎               | ◎          | ○           | ▲   | 原料の低炭素化<br>水素供給インフラの整備       |
| クリーンディーゼル車        | □               | ○               | ◎          | ◎           | ○   | 一層の排気クリーン化<br>ハイブリッド化        |
| 天然ガス車             | ○               | □               | △          | ○           | □   | 天然ガス供給インフラの整備<br>低コスト化       |

# 2050年に至る乗用車のシェアと重要技術



2050年においても  
エンジンは使われ  
続けている。

各技術の課題

各技術の重要度

電力・水素の低炭素化 (EV, PHEV, FCV)

バッテリー・電動化 (EV, HEV, PHEV, FCV)

エンジン (ICEV, HEV, PHEV)

軽量化 (すべての車種に必要)

再生可能な電力の活用  
ステーション整備と電力需給管理

高性能ポストLiイオンバッテリー開発  
1万円/kWh以下への低コスト化

正味熱効率の向上  
軽小中～重量車:50～55%

車両重量:20～40%程度低減  
安全性の確保

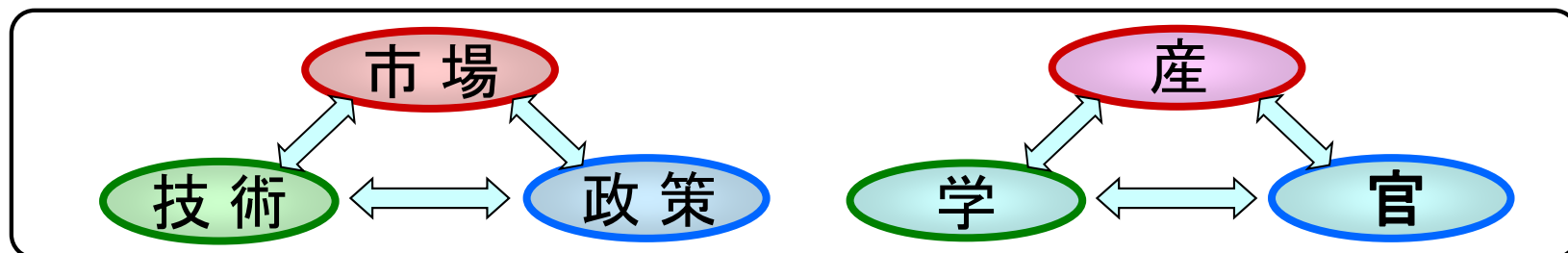




**nextGV** 次世代自動車研究機構  
Research Organization for Next Generation Vehicles



# 2030年から2050年に向けた取り組み



- ❑ 2030年を超えて石油が利用可能な状況にあっては、エンジンの高効率化は、従来車ばかりではなく、HEVやPHEVの燃費改善にも有効である。
- ❑ その一方、2050年に向けた脱石油と低炭素化のためには、HEV、EV、PHEV、さらにはFCVを含む電動化と再生可能で低炭素な電力・エネルギーの活用が不可欠。
- ❑ 電動化において、バッテリーのエネルギー密度・出力密度の大幅な向上とコスト低減は最も重要な課題。
- ❑ FCVにとっては、長期的な計画に基づき、社会受容性を確保しつつ、再生可能エネルギーによる水素の利用、大幅なコスト低減、生産性の向上を図る必要がある。
- ❑ 車両の軽量化はあらゆる車種に対して継続的に取り組むべき課題である。
- ❑ 2050年における温室効果ガス80%の削減を実現するためには、これらの技術的な課題の達成のみでは不十分であり、交通システムや自動車の利用のあり方を見直し、変革する必要がある。（「モビリティ・イノベーション」の実現。）
- ❑ これらの取組みを新興国への支援に役立てて国際貢献を果たし、産学官の連携のもと、わが国の技術立国としての優位を確保することが期待される。