



2018年5月22日

早稲田大学 AVL 合同シンポジウム
「電動化車両 多様化するパワートレイン 2018」

*“Perspectives on Next Generation Vehicles’
Powerplants in Japan”*

「日本における次世代自動車用動カシステムに関する展望」

早稲田大学 研究院
次世代自動車研究機構

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 >



将来の社会交通システムと 自動車用動力システムに関する課題

★ 2030～2050年に向けて、社会交通システムはどうか？
あるいはどうあるべきか？ それを支える自動車用動力システムとは？

□ わが国において両者を左右する制約・要因とは・・・

社会

- ・少子高齢化(労働力・人材不足) ・大都市集中と地域の過疎化
- ・価値観やライフスタイルの変化 etc.

経済

- ・低成長 ・実質収入減 ・研究開発費の増大 ・財政難 etc.

資源

- ・石油や各種原材料の供給逼迫と価格上昇 etc.

環境

- ・ゼロエミッションの要求 ・地球温暖化対策の要求 etc.

□ 注目すべき海外の状況

新興国

- ・経済成長とモータリゼーションの進展 ・技術力の発展
- ・資源エネルギーの消費拡大 ・大気汚染の悪化

欧米

- ・グローバルな技術戦略(産学官連携, デファクト・標準化 etc.)
- ・ブランド戦略 ・保護主義の台頭



ここに来て、大気汚染の改善やパリ協定への対応から、国自体が自動車の電動化を誘導しようとする動きが顕著になりつつある。

中長期的な視点から、それらの動向に柔軟に対応し得る自動車動力システムの研究開発テーマを明確にすることが求められている。

「2050年における自動車用動力システムとは？」(その1) 将来自動車用動力システム委員会(自動車技術会・2016年3月)

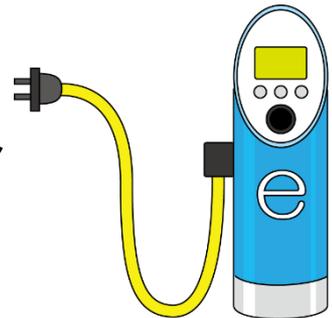
(1)「内燃機関＋石油代替燃料」の可能性

- 内燃機関にとって、石油系燃料は最適な燃料である。その存在価値は将来の石油の供給可能性と国の環境・エネルギー政策に大きく依存する。将来の賦存・供給量の減少と価格の上昇への対応が必要となる。
- 非石油系燃料の以下の代替燃料は、供給量とコストの両面で限定的。
 - ・ 地産地消等の燃料(バイオ燃料や天然ガス),
 - ・ 合成燃料(CTL, GTL, BTL) ・ 水素 ・ アンモニア



(2)「新しい原動機＋非石油燃料(エネルギー)」の可能性

- 2050年までは、水素供給インフラの広範な構築は難しく、コスト高もあって、燃料電池車(FCV)の普及は限定的と推察される。
- 電源の多様性と充電インフラの設置の容易さから、バッテリー電気自動車(BEV)は有力である。
- バッテリー性能は、2050年頃までに内燃機関の性能・コストの水準に達することは困難で、BEVは短中距離(都市内)走行用に使われることになろう。



「2050年における自動車用動力システムとは？」(その2) 将来自動車用動力システム委員会(自動車技術会・2016年3月)

(3) 今後の原動機技術の方向

- 自動車用エネルギーの石油から電気への長期にわたる円滑な分担・移行を進める方策として、両方を使う長距離走行が可能なPHVが有力な選択肢の一つである。その性能向上とコスト低減は、バッテリーを含めた動力システムの重要な課題となろう。
- 自動車は10～15年程度使用されることから、他の動力システムに移行するためには、その間の共存に配慮する必要がある。



(4) 今後のモビリティ社会との関連

- 今後予想されるエネルギー問題とそれに起因する世界経済へのインパクトを克服するには、自動車単体の低燃費化を追求するとともに、エネルギー消費が少ないモビリティ社会の構築を目指すべき。
- それを可能にするハード・ソフト両面の技術を先行して開発・実用化し、海外、とりわけ新興国にも発信し展開していくことが、重要な課題となろう。そのキーワードは、『モビリティ・イノベーションの創出』

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 ₂ 排出を 60-65% 削減	2005年比
	EU	2030年までに 40% 削減	1990年比
	インド	2030年までに GDP当たりのCO ₂ 排出を 33-35% 削減	2005年比
	日本	2030年までに 26% 削減 <small>※2005年比では25.4%削減</small>	2013年比
	ロシア	2030年までに 70-75% に抑制	1990年比
	米国	2025年までに 26-28% 削減	2005年比



トランプ
 政権が
 離脱宣言！

☆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炭素化の取組みが課題である。

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（パリ協定への対応）

～ 国連に提出する日本の約束案、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）

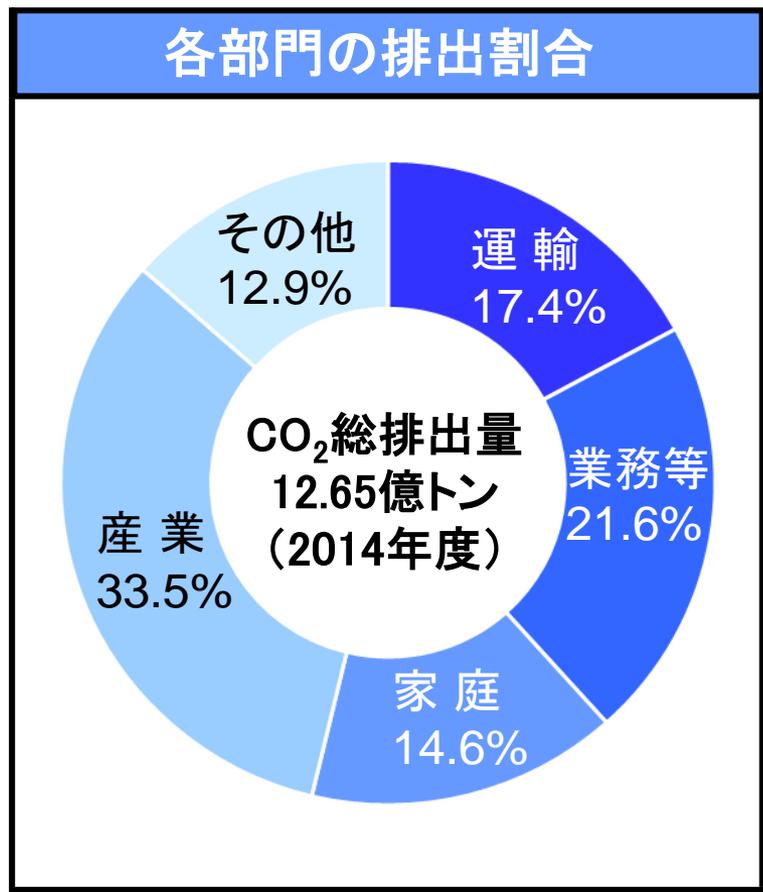
わが国の温室効果ガス排出量の9割を占めるエネルギー起源二酸化炭素の排出量については、2013年度比▲25.0%（2005年度比▲24.0%）の水準（約9億2,700万t-CO₂）であり、各部門における2030年度の排出量の目安は下表のとおりである。これが、2016年5月13日「地球温暖化対策計画」として閣議決定された。

[単位：百万t-CO₂]

部 門	2013年度 (2005年度)	2030年度 / 2013年度比%(2005年度比%)
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)

☆業務・その他，家庭，運輸の3部門には大幅な削減が必要とされている。

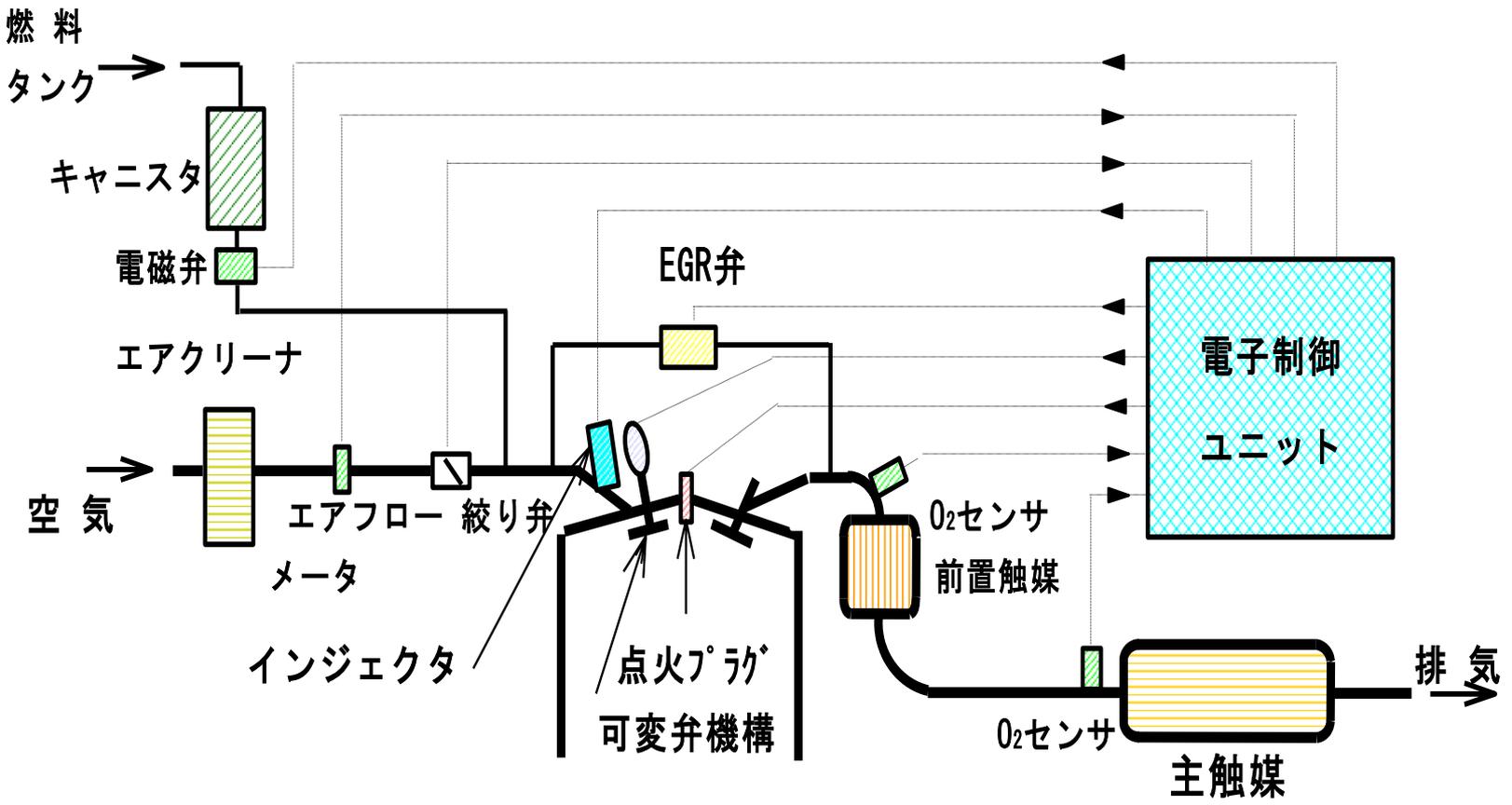
わが国における2015年度の運輸部門のCO₂排出量 (国土交通省, 2017年)



運輸部門	万トン	割合 %
自動車	18,377	86.1
自家用乗用車	10,012	47.5
自家用貨物車	3,633	17.0
営業用貨物車	3,994	18.7
バス	431	2.0
タクシー	307	1.4
内航海運	1,061	4.9
航空	990	4.6
鉄道	916	4.3
合計	21,344	100.0

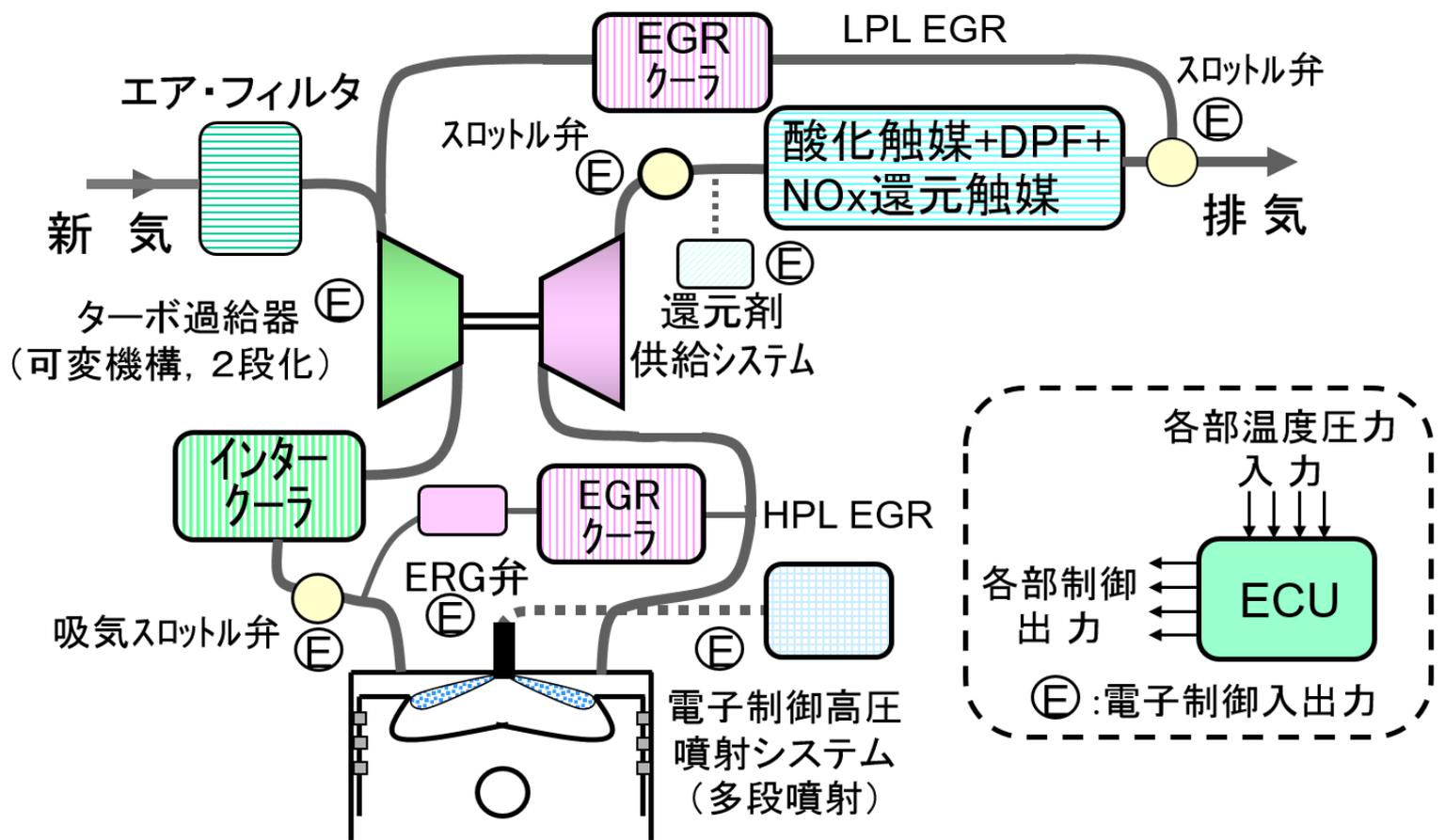
★ わが国の自動車から排出される CO₂ は全体の排出量の15.0%を占めている。

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。リーンバーンにおいてLNT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。

今後のディーゼルエンジンの排出ガス対策例

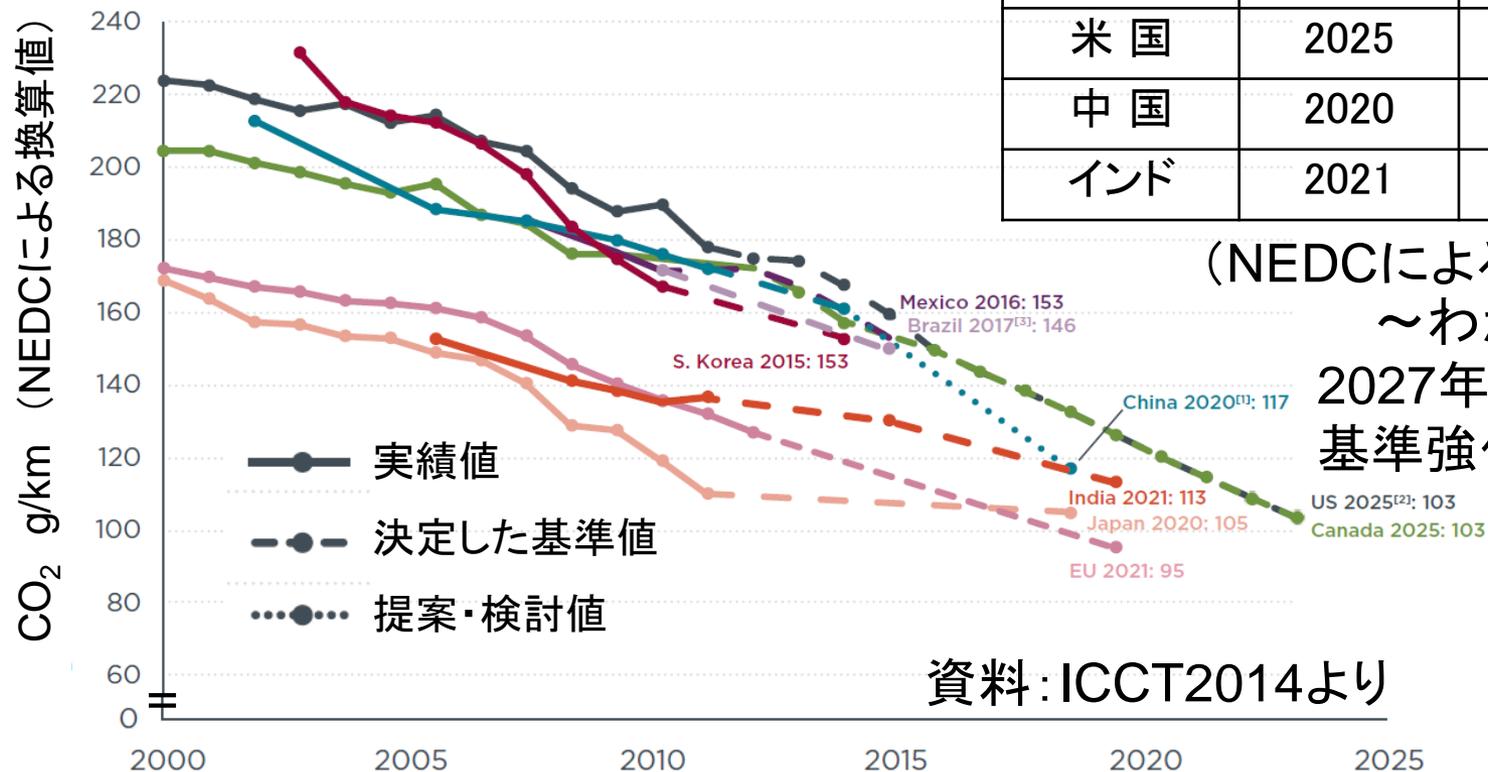


- ❑ 低硫黄軽油を利用して、燃料噴射系と排気後処理の最適な制御のシステム化、信頼耐久性の確保、コスト低減が重要。小型車ではコスト負担が大きい。
- ❑ 今後、デフィートデバイスを排除するためRDE (Real Driving Emissions) 規制が施行される予定である。燃費とのトレードオフを克服する必要がある。
- ❑ 中長期的には一層の低排出ガス化と高効率化の両立を目指す必要がある。

各国の乗用車燃費基準によるCO₂排出量の比較

～EUの2017年11月8日発表～
2021年の95g/kmから2030年に
30%削減の66.5g/km(34km/L)へ
(2025年に15%削減)

国	実施年	基準値 km/L
日本	2020	22.1
EU	2021	24.4
米国	2025	22.5
中国	2020	19.8
インド	2021	20.5



(NEDCによる)

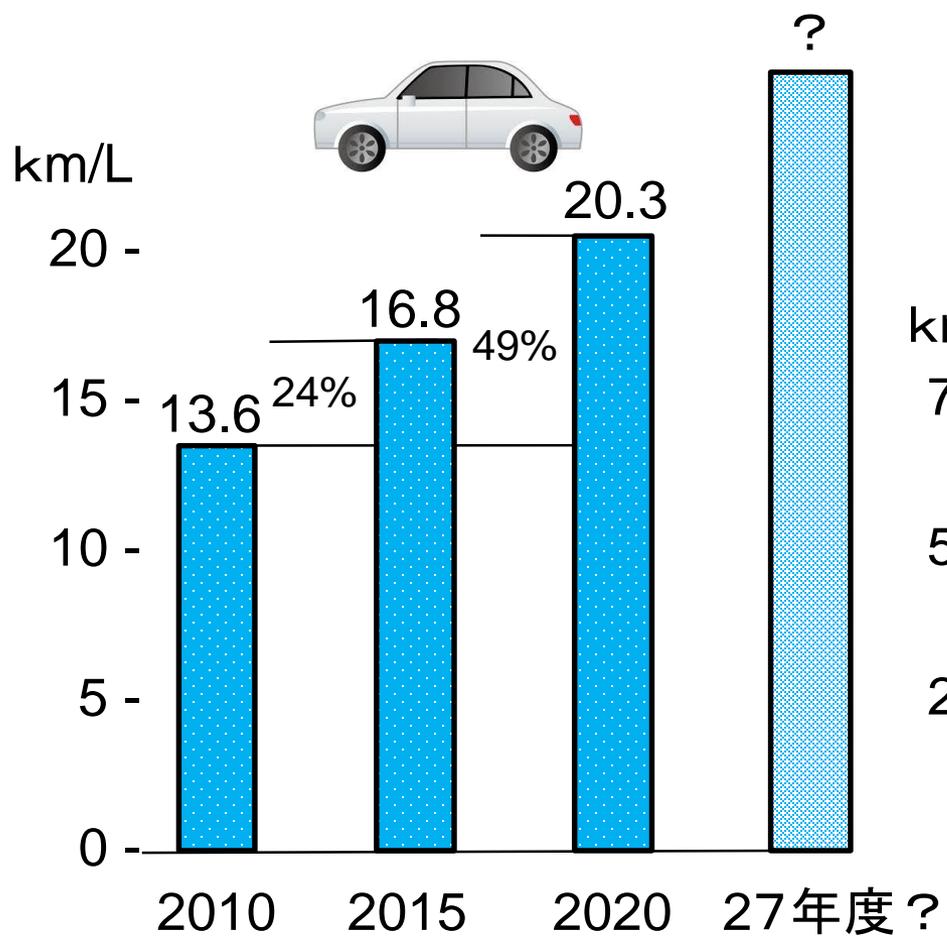
～わが国～

2027年頃を目途に
基準強化を検討中

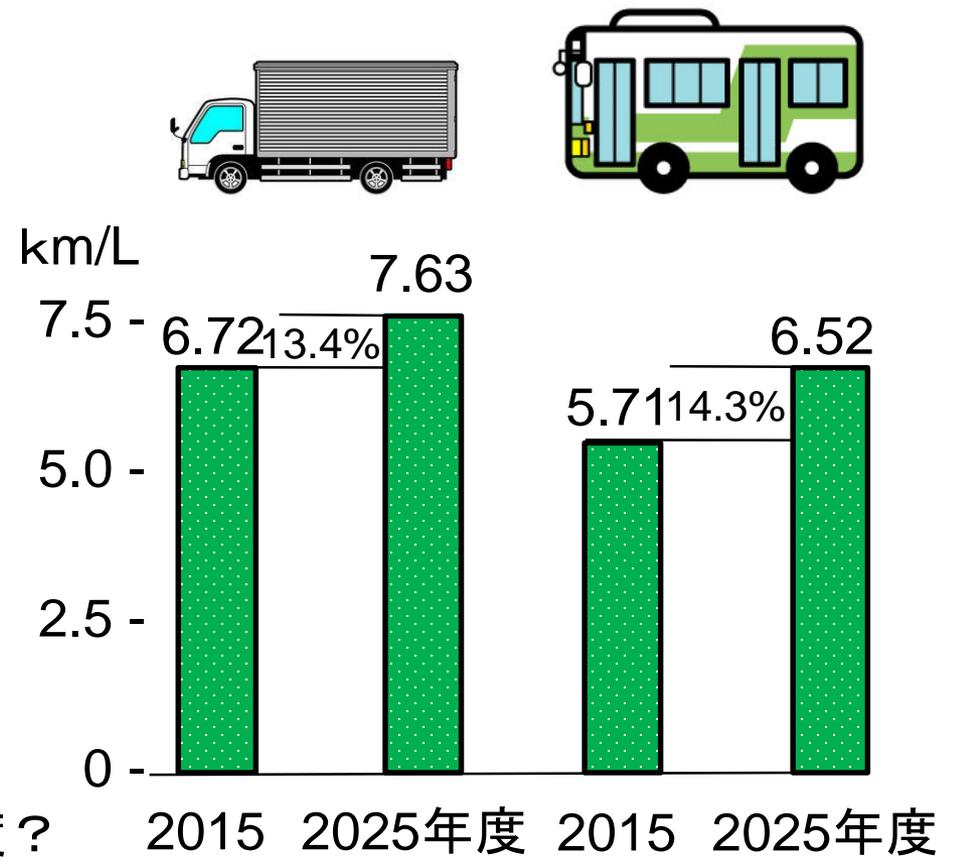
★2020年代には各国ともに20km/Lレベルになる。

★2020年半ば以降の燃費基準の強化が重要な課題

燃費基準(平均値)の推移(国交省, 2017年)

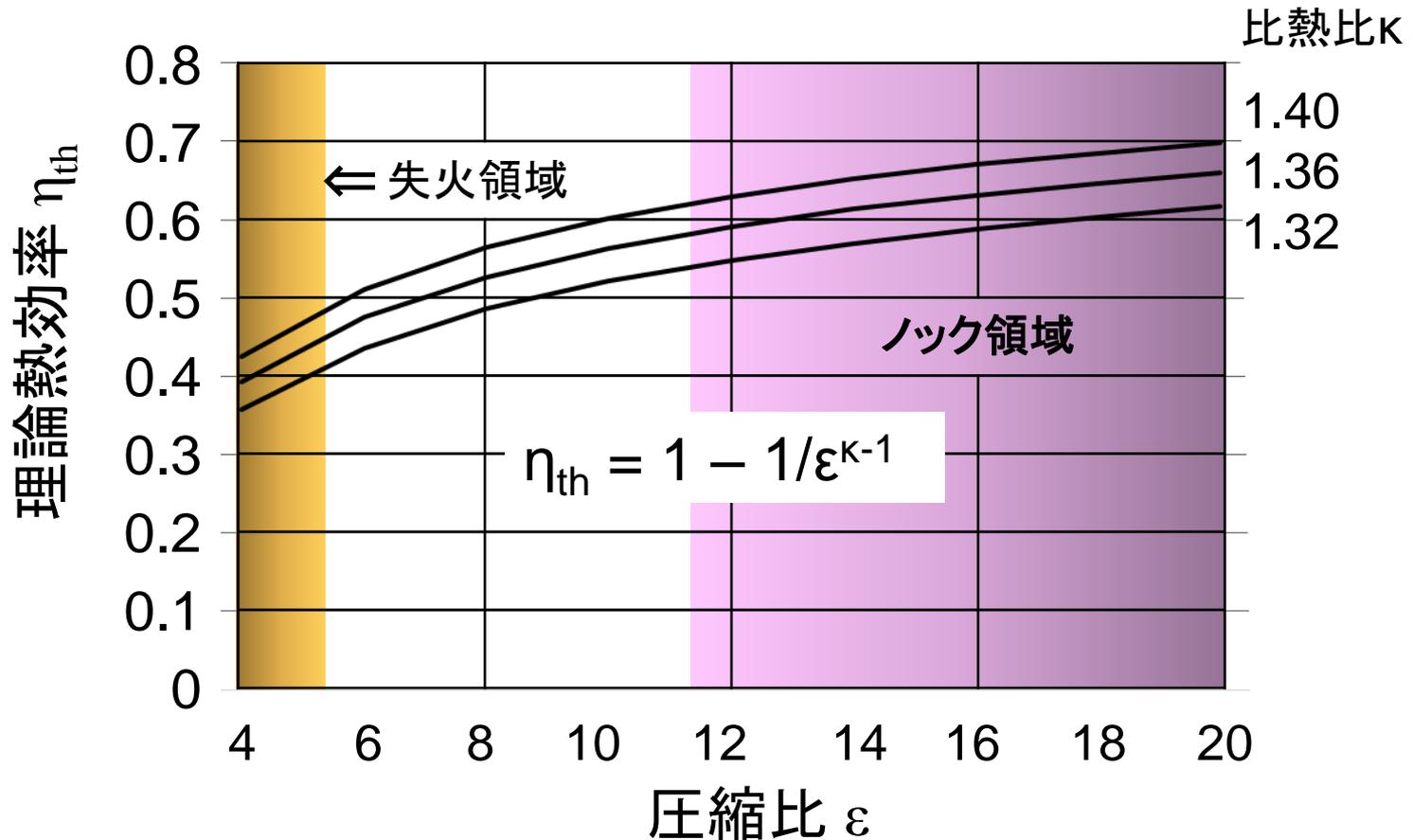


＜乗用車＞
(企業平均)



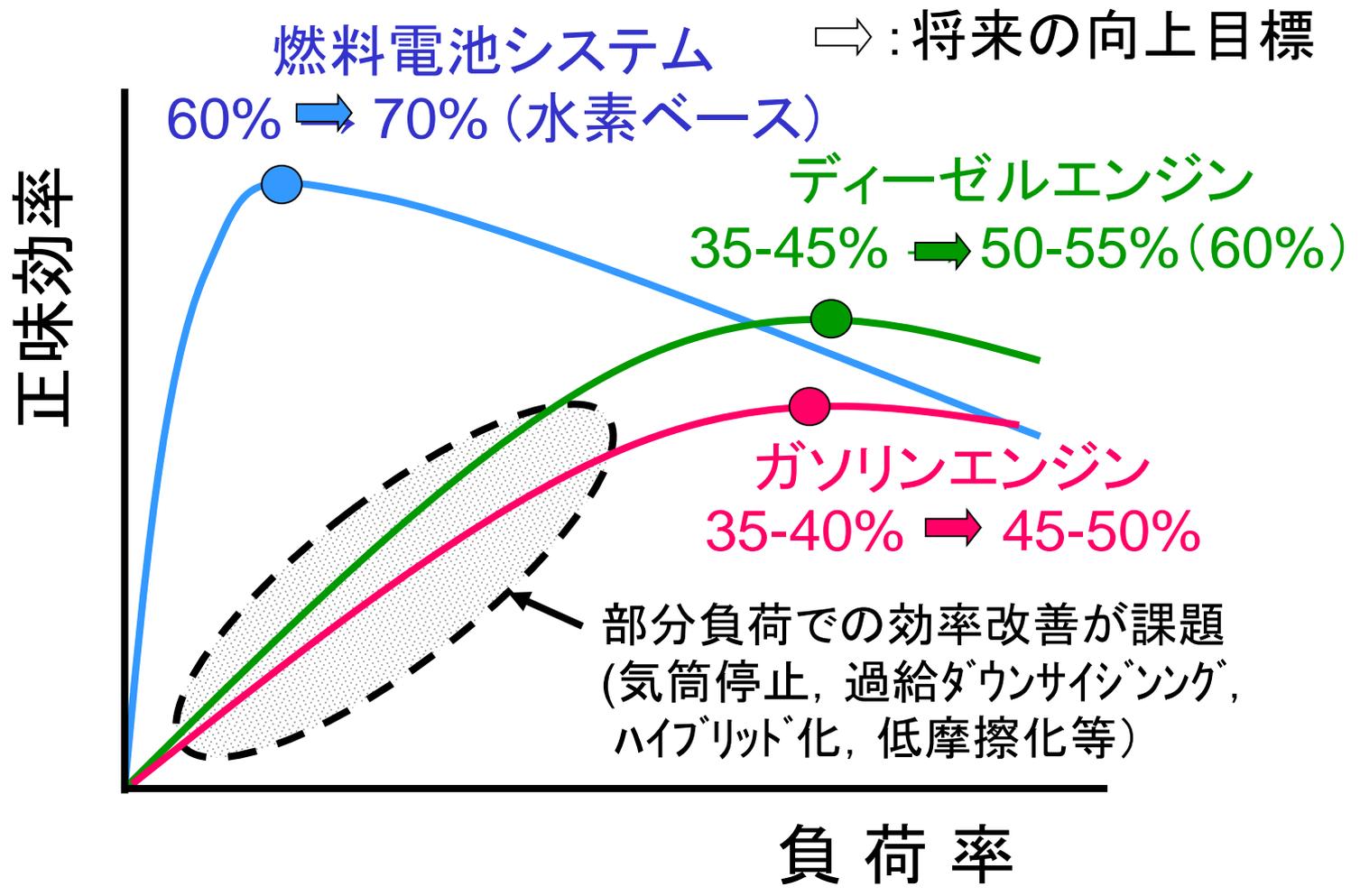
＜トラック等＞ ＜バス＞
《重量車》

定容 (Otto) サイクルにおける圧縮比が理論熱効率に及ぼす影響



- ☆簡単には、等容度:80%, κ :1.32で実際に近い図示熱効率となる。
- ☆ガソリンエンジンではノックや過早着火が高圧縮比化の制約条件。

エンジンと燃料電池システムの効率比較

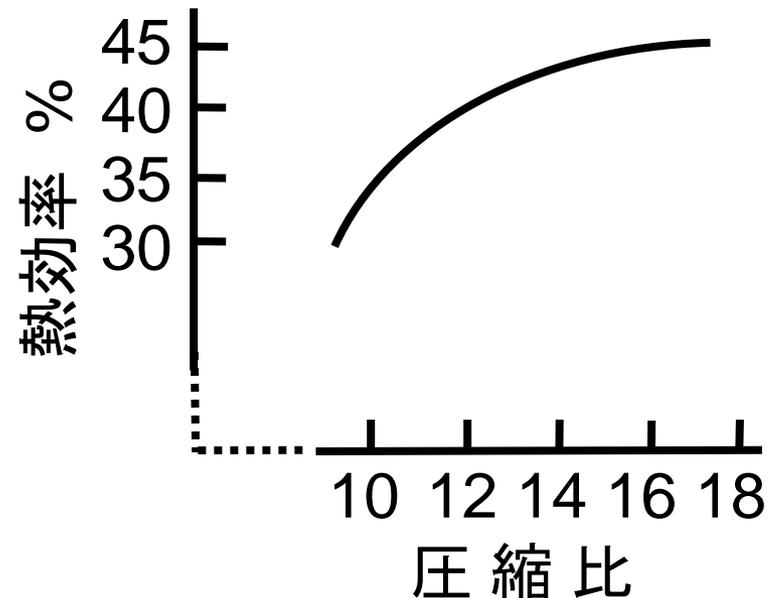


ディーゼルエンジンは、何故燃費がよいか？

- 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。

★ ガソリンエンジンはディーゼルエンジン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
- ・HCCI ・VVT ・VVL
- ・ハイブリッド化



自動車の燃費改善技術

燃費改善率 ◎: 10%以上 ○: 5~10% □: 5%以下

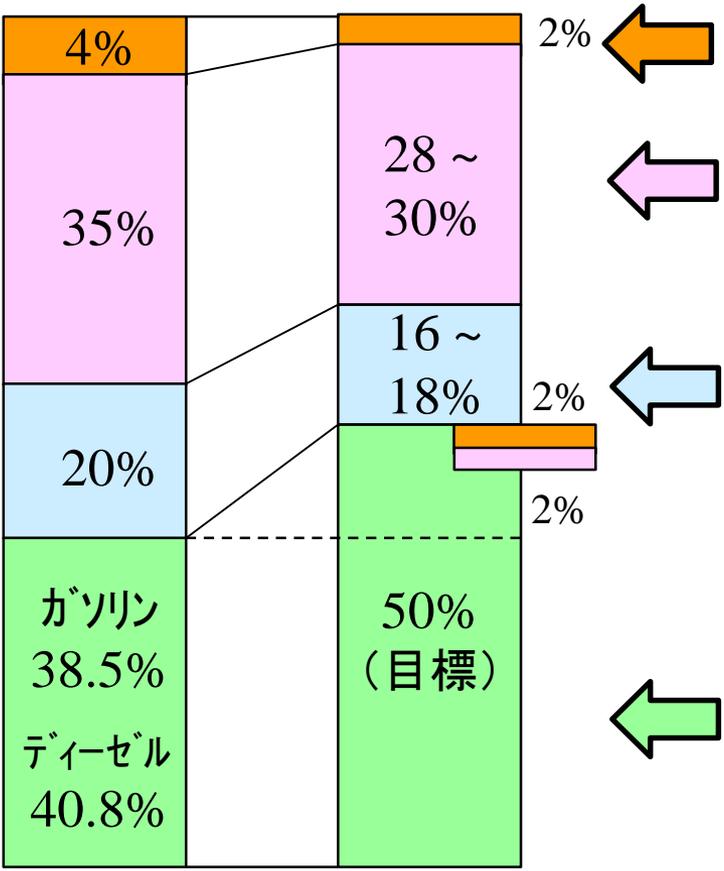
対 象		技 術 (G:ガソリン車)、(D:ディーゼル車)	
エンジン	新方式	◎直噴ガソリン(G) ○リーンバーン(G)	◎ハイブリッド化 ◎ミラーサイクル ○HCCI(G)
	制 御	○アイドルストップ □空燃比,点火時期制御の高精度化(G) □空気流動の適正化 □熱損失低減	□減速時燃料カット □クールドEGR
	機 構	◎可変気筒機構(VCR) □4弁化 ○可変弁機構(VVT等による可変圧縮比)	◎エンジンダウンサイジング ○可変/多段ターボ過給
	摩擦低減	□潤滑特性の改善	□運動部の軽量化
駆 動・ 伝達系	ATの改善	◎無段変速機(CVT) □ATの電子制御化	◎自動化MT(DCT)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

戦略的イノベーション創造プログラム

「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（平成26年度～30年度）

☆2020年から2030年における実用化を目指し、今後の従来車やHV, PHVの燃費改善にも極めて大きく寄与する。

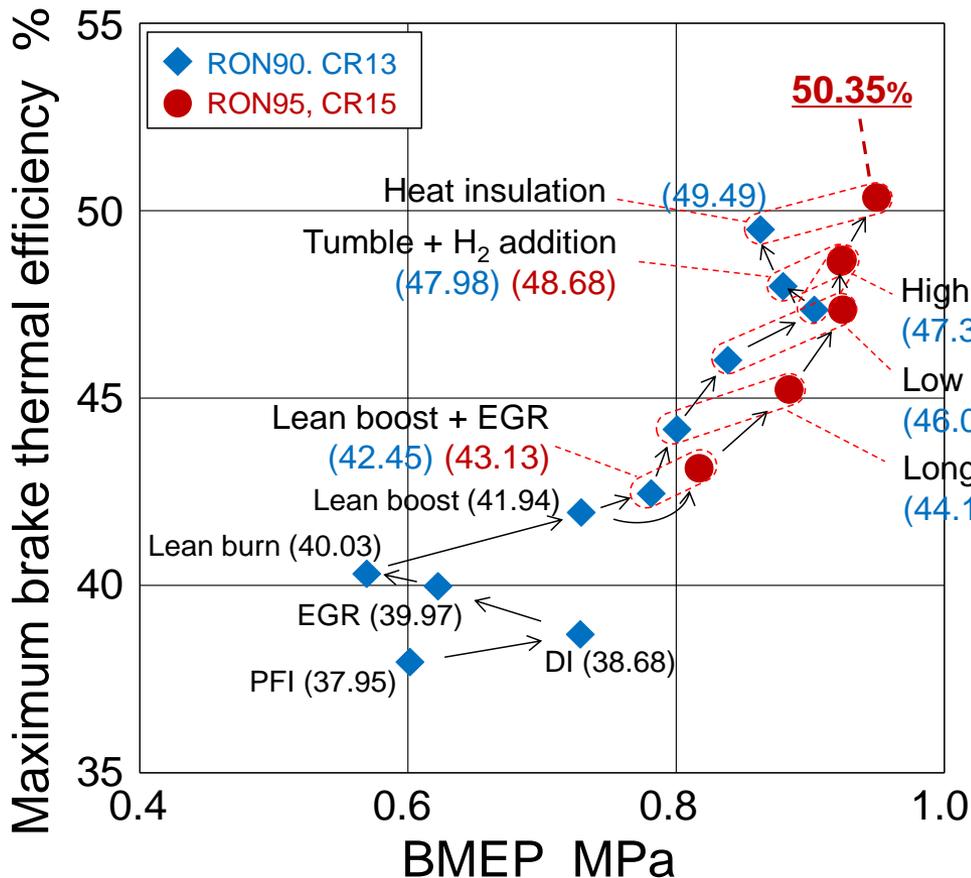
《エネルギーバランス》



《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**
 ・ターボ過給の高效率化（60数%達成）
 ・排熱回収（熱電素子の利用）
- 熱損失の低減**
 ・超リーンバーン ・シリンダ内流動の適正化
 ・分散噴霧ディーゼル燃焼 ・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

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)



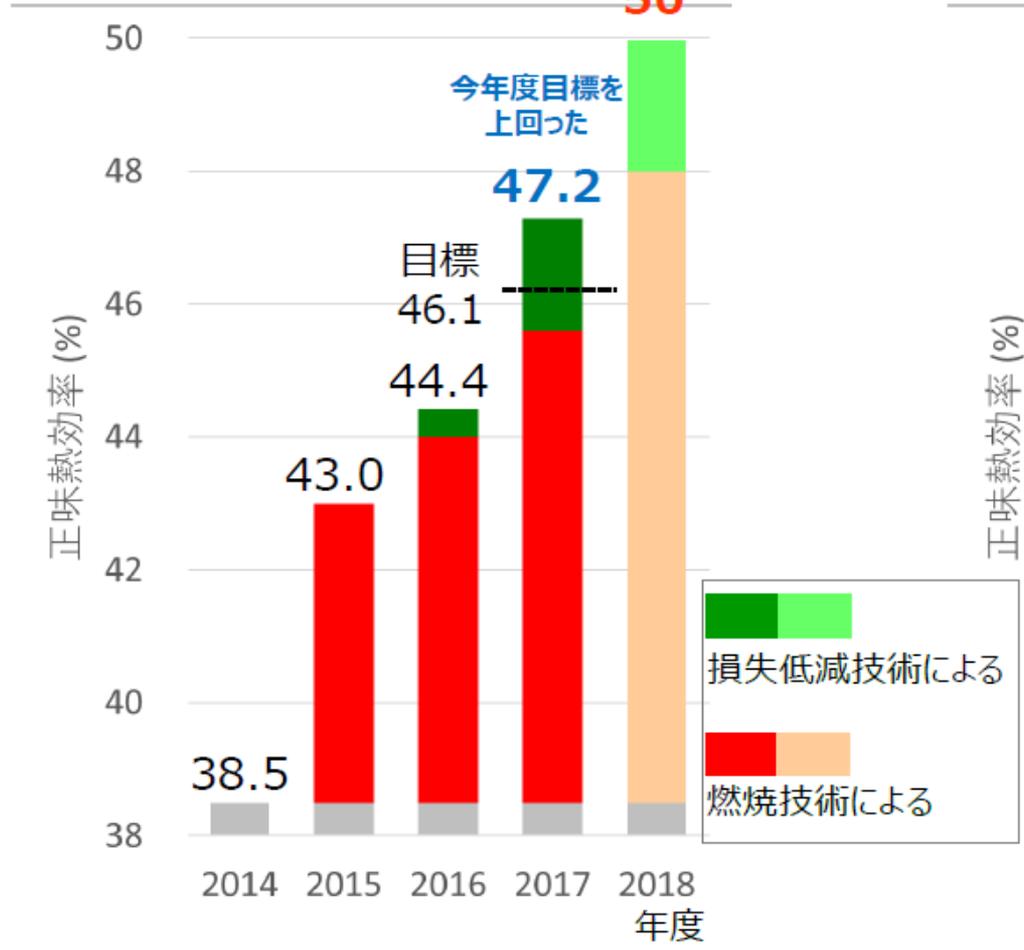
- ＜主な改善技術＞
- ・高圧縮比化
 - ・直噴化
 - ・EGR
 - ・超リーンバーン
 - ・高効率過給
 - ・ロングストローク化
 - ・低摩擦化
 - ・タンブル流(乱流強化)
 - (・水素添加)
 - ・遮熱化
 - ・高オクタン価燃料
 - * 点火エネルギーの強化

☆ 正味熱効率38%から50%への向上によって、燃費は32%改善し、CO₂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。

SIPにおける正味熱効率の達成状況 (2018年5月現在)

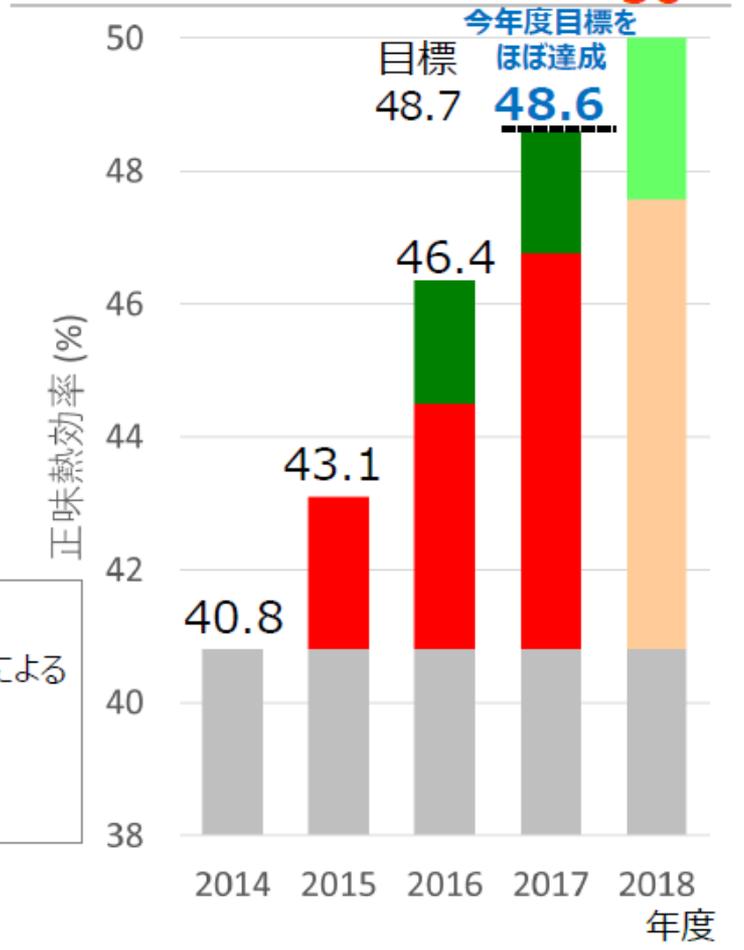
Gasoline Engine
ガソリンエンジン

最終
目標
50



Diesel Engine
ディーゼルエンジン

最終
目標
50

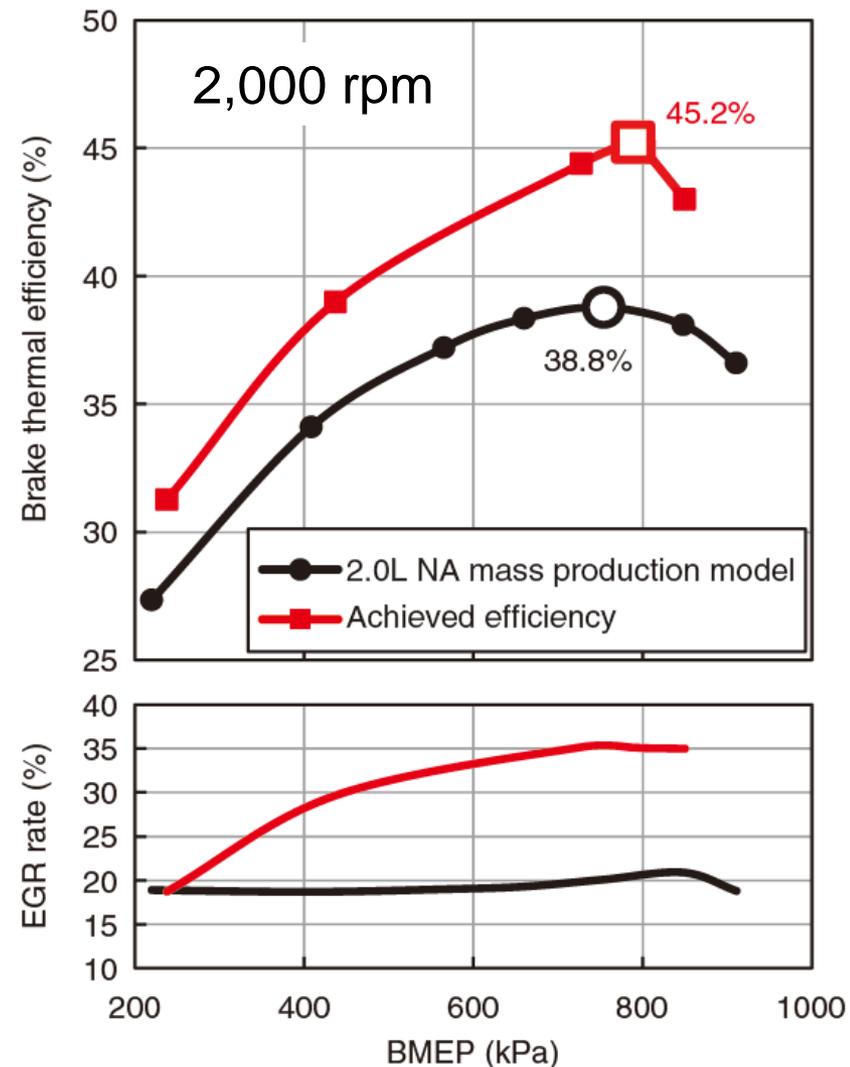


正味熱効率45%を達成するホンダの SIエンジン技術

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 ³)	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

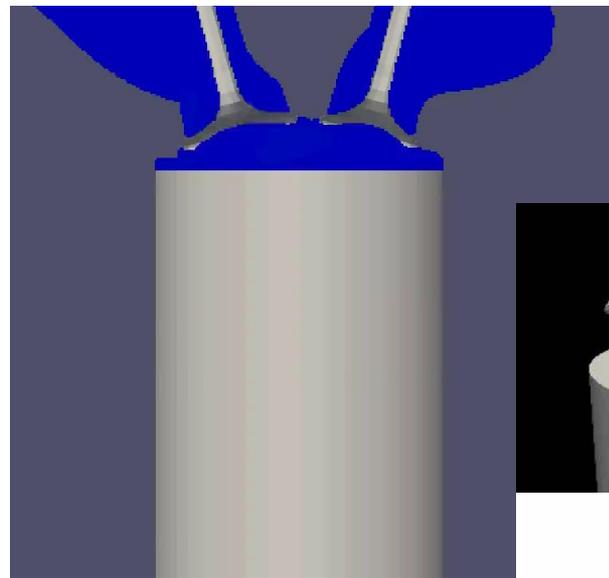
Honda R&D Technical Review,
Vol.27, No.2, 2015



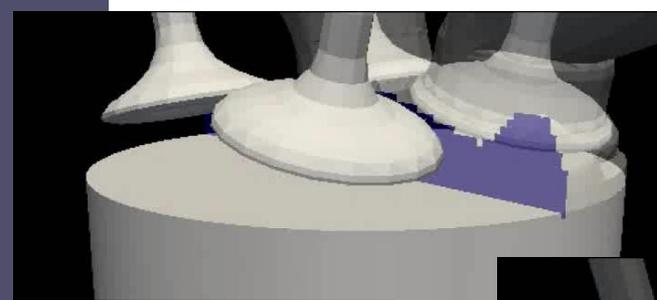
SIPにおけるHINOCA (火の神) の開発

Engine Combustion Simulation

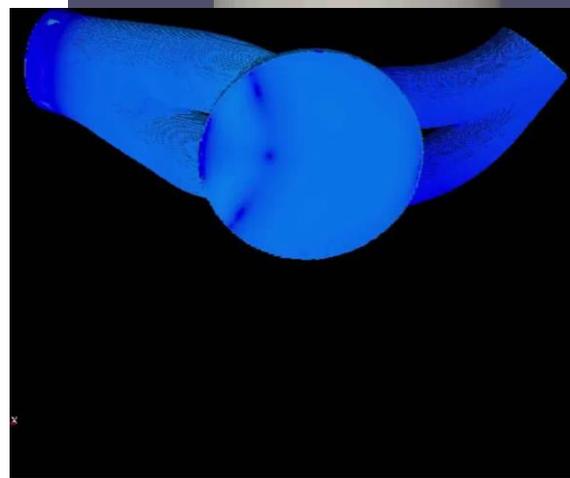
Prof. Kusaka, Waseda University
with JAXA, 2017



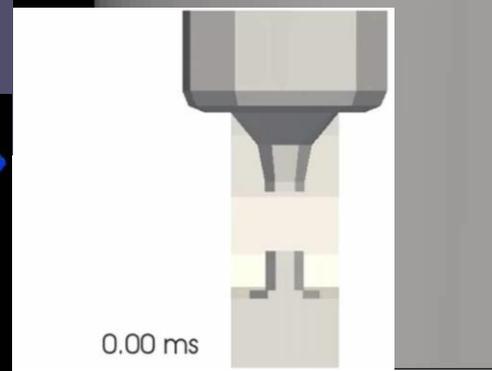
Spray and mixture formation



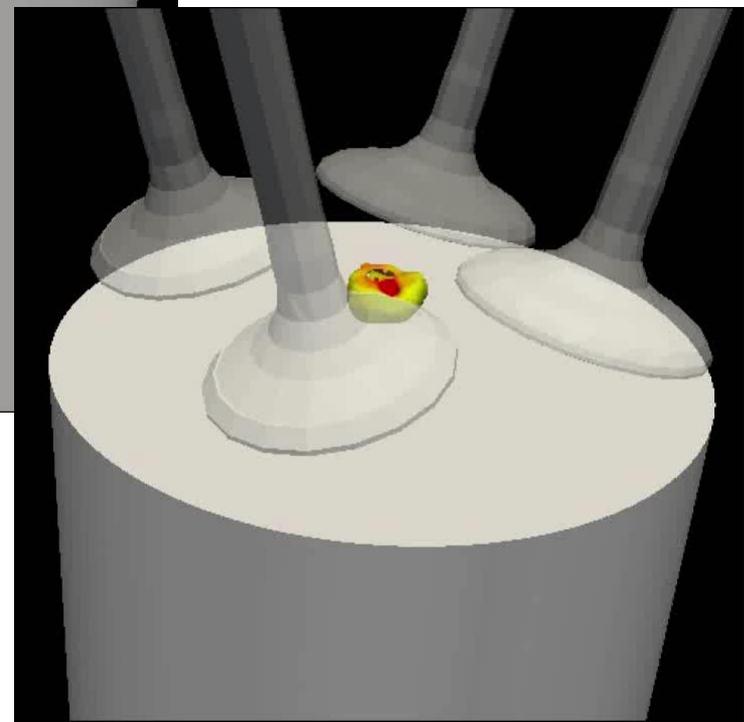
Flame propagation



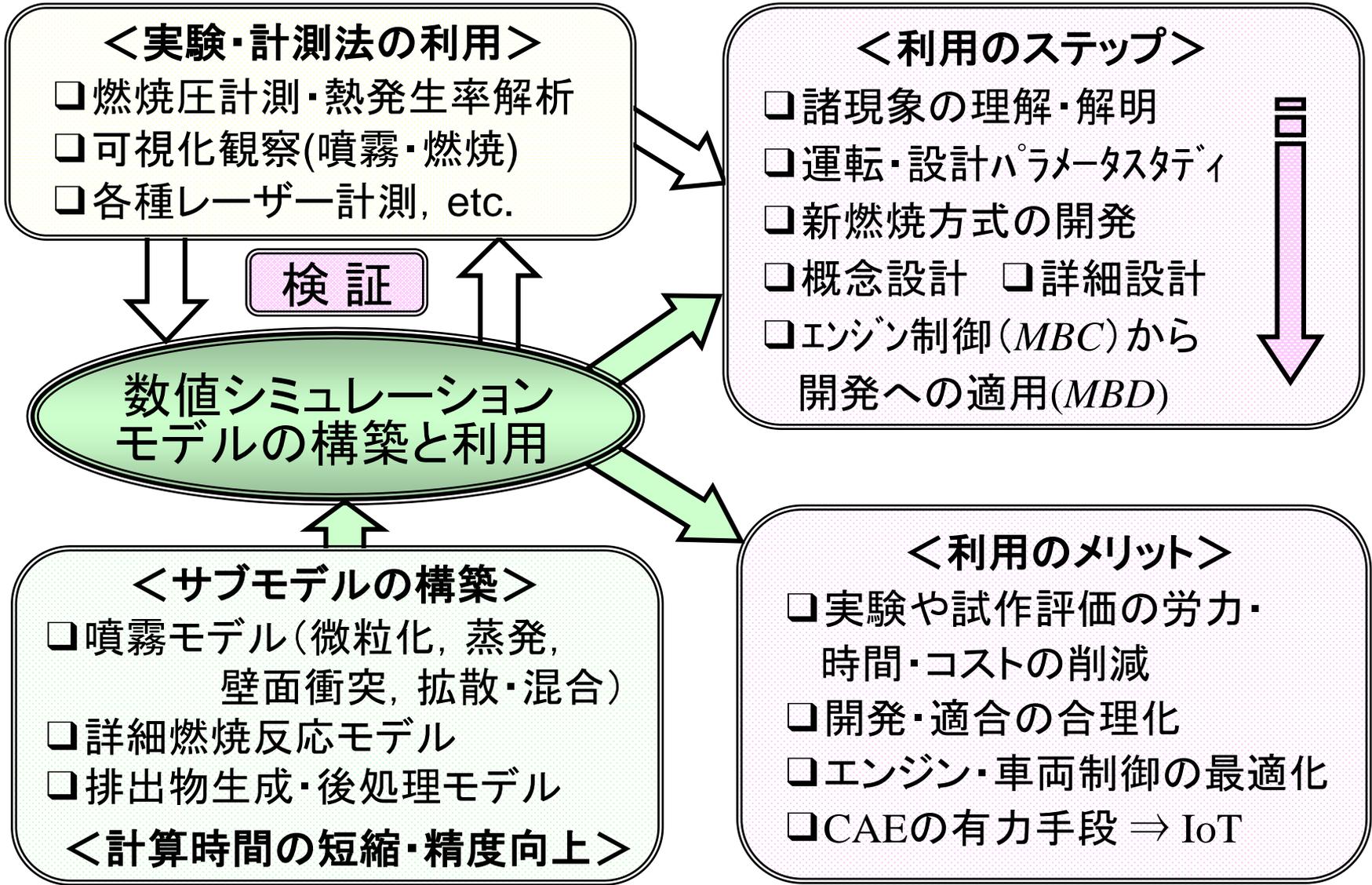
Heat losses through the wall



Spark-ignition

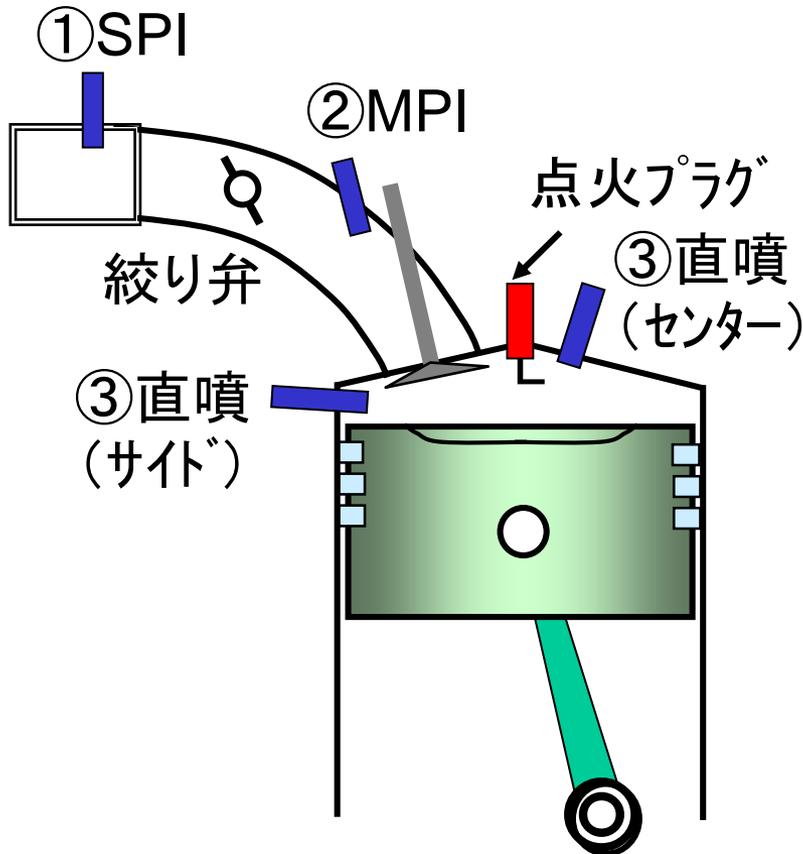


エンジン燃焼システムの研究開発・設計・制御に関する数値シミュレーションの役割



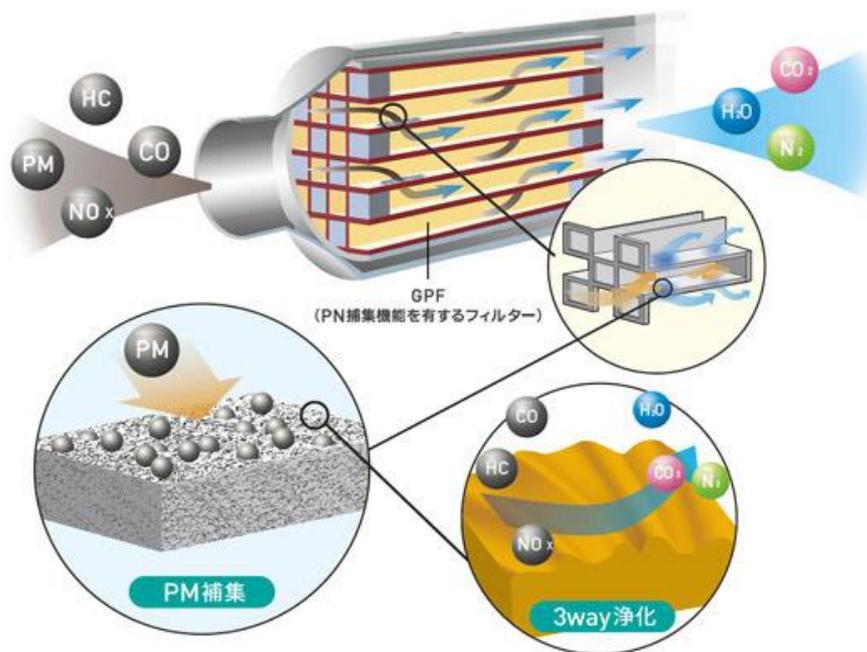
ガソリンエンジンにおける燃料供給方式とその特徴

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_x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_x還元触媒が必要

三元触媒機能を持つガソリン・パーティキュレート・フィルター “Coated GPF” (キャタラーHP, 2018年)



欧州

米国(カリフォルニア)

— NOx 規制値 mg / km
— PN 規制値 個 / km

— NMOG+NOx g / mi
— PM 規制値 mg / mi

Euro 5 (2009年) NOx 規制値 60 mg / km
PN 規制値 規制なし

LEV III (2015年) NMOG+NOx 規制値 0.100 g / mi
PM 規制開始 3 mg / mi

Euro 6 (2014年) NOx 規制値 60 mg / km
PN 規制値 6×10^{12} 個 / km

LEV III (2017年) NMOG+NOx 規制値 0.086 g / mi
販売車数のうち 10% 3 mg / mi

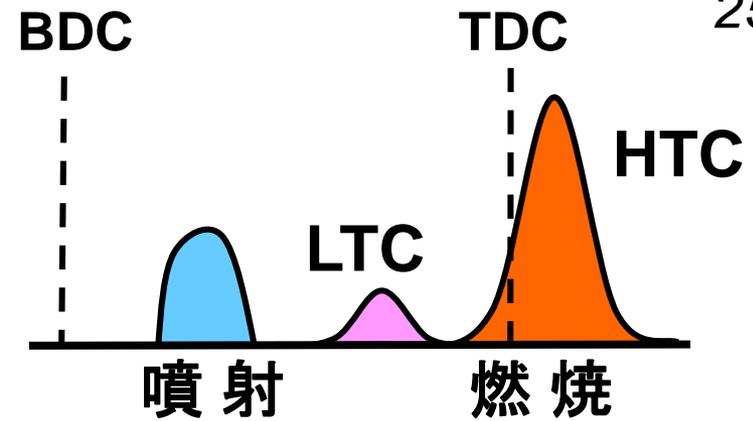
Euro 6 d-temp (2017年) NOx 規制値 60 mg / km
PN 規制値 6×10^{11} 個 / km

LEV III (2021年) NMOG+NOx 規制値 0.058 g / mi
販売車数のうち 100% 3 mg / mi

出典: Worldwide Emission Standards @DELPHI

★直噴ガソリン車におけるのEURO6 d-TempのPM・PN規制や米国加州LEVIIIのPM規制に対応するコンパクトさが特徴

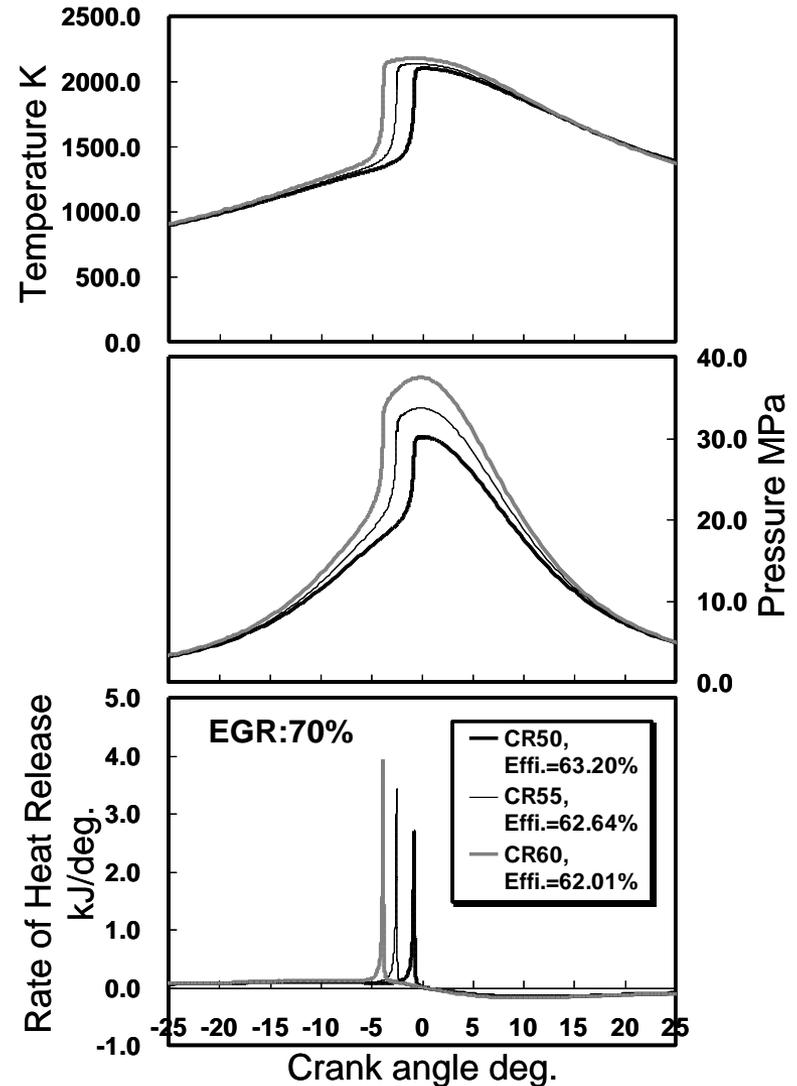
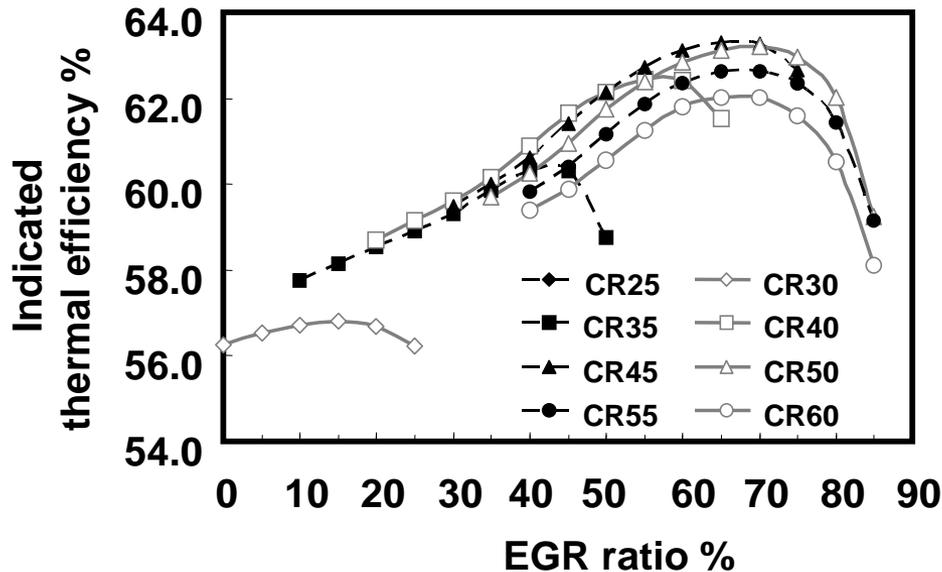
HCCIとPCCI燃烧方式の 実現可能性



- ◎ガソリンエンジンにおける低中負荷での燃費・排出ガス改善の効果。
- ◎低負荷における希薄燃焼によって超低NO_x, 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, 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?
- 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。

超高圧縮比・高EGRによる高効率HCCI燃焼の可能性

(早大:徐, 廣谷, 深澤, 草鹿, 大聖, 2009年)



Model: single zone

Code: CHEMKIN II (species: 78
reactions: 429)

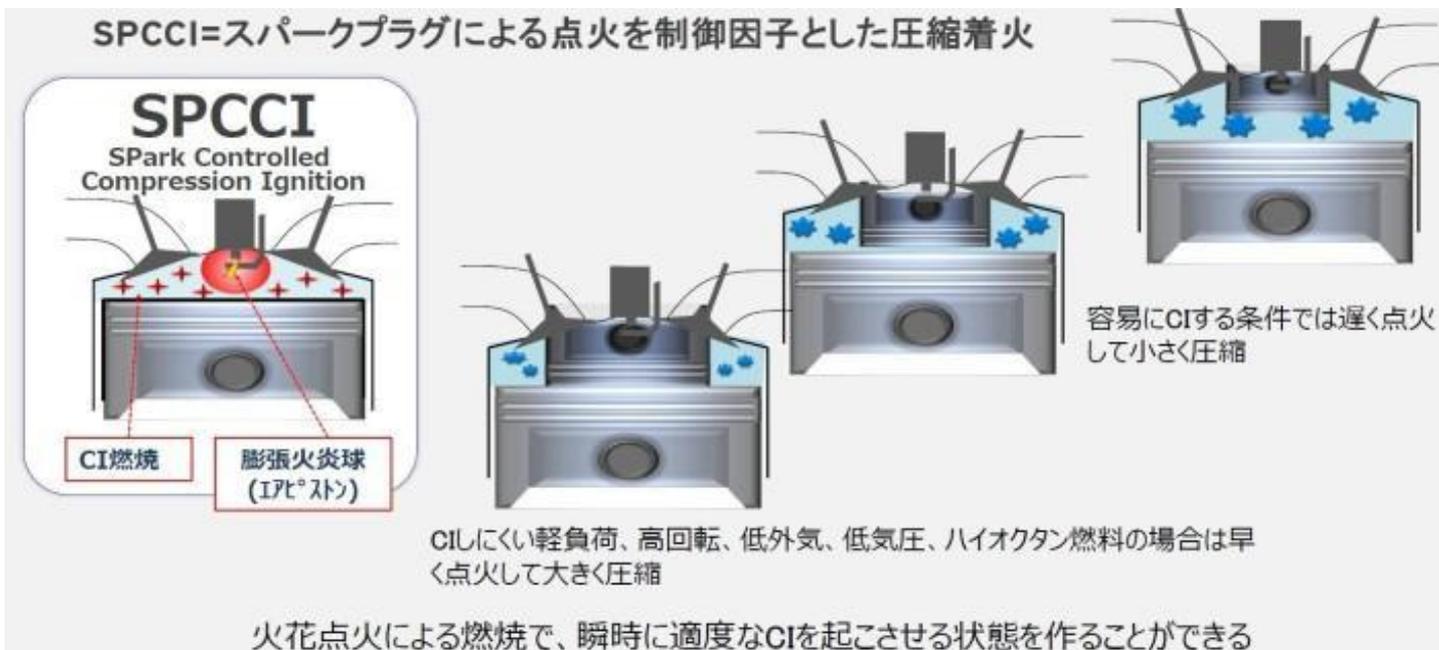
Displacement = 1.0 L

Bore × Stroke = 80 × 200 mm

Fuel: Methane, $\phi = 1.0$, $P_0 = 1$ atm,

$T_0 = 357$ K, $T_{wall} = 573$ K, $N_e = 3,000$ rpm

マツダのSKYATIV-Xの燃焼方式(発表:2017/8/8)

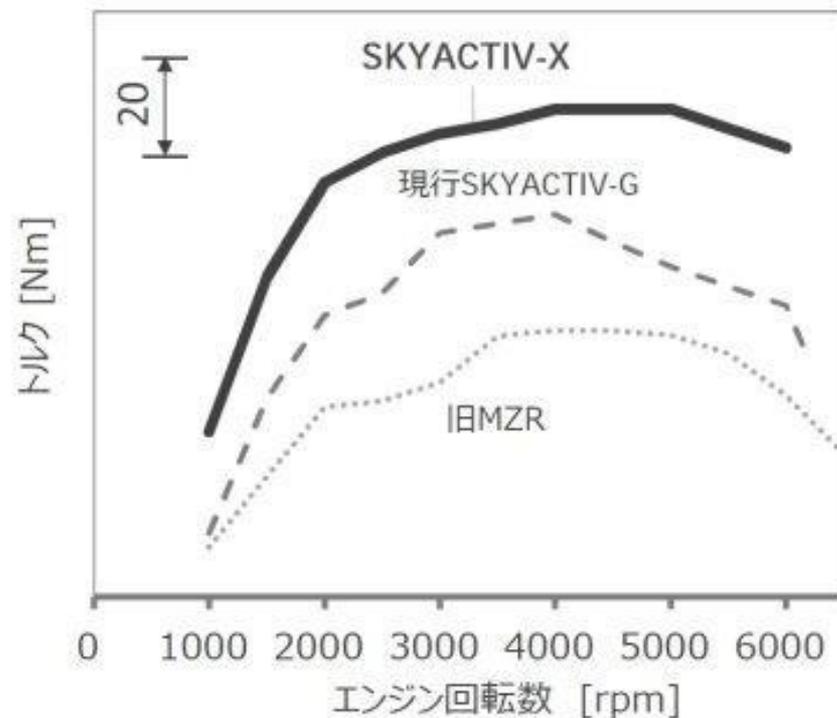
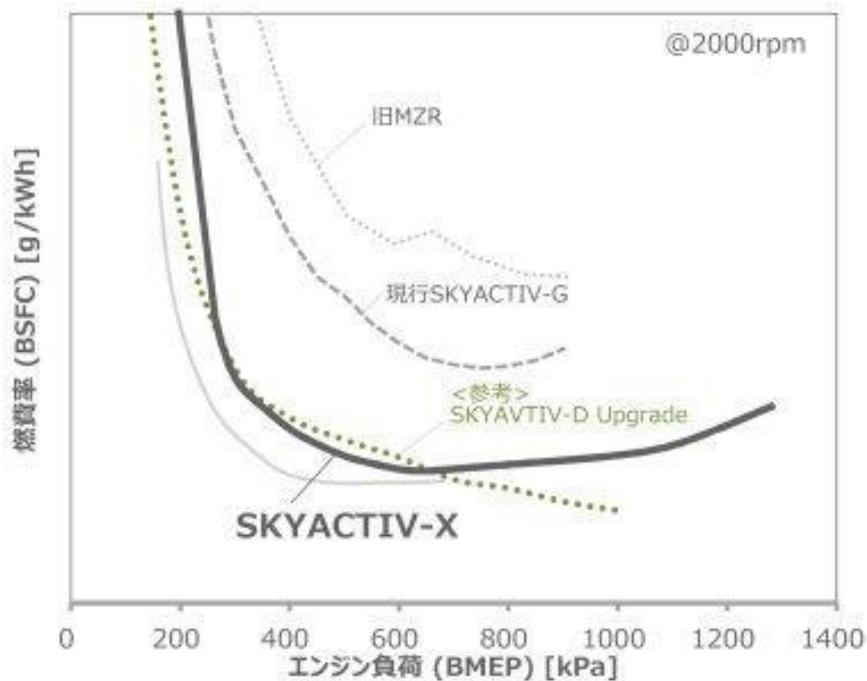


排気量 cc	1997
B×S mm	83.5×91.2
圧縮比	16
動弁系	16V-DOHC 吸気/排気とも電動VVT
過給気系	ルーツプロア(3葉) W/水冷インタークーラー
EGR系	cooled EGR

主要諸元はマツダの情報に基づく推定



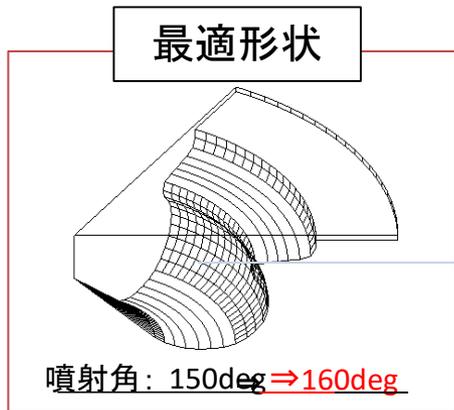
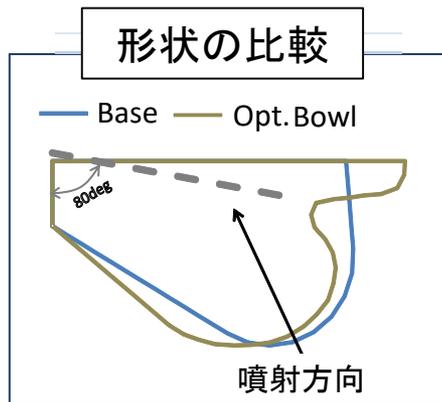
マツダのSKYACTIV-Xの燃費とトルク特性



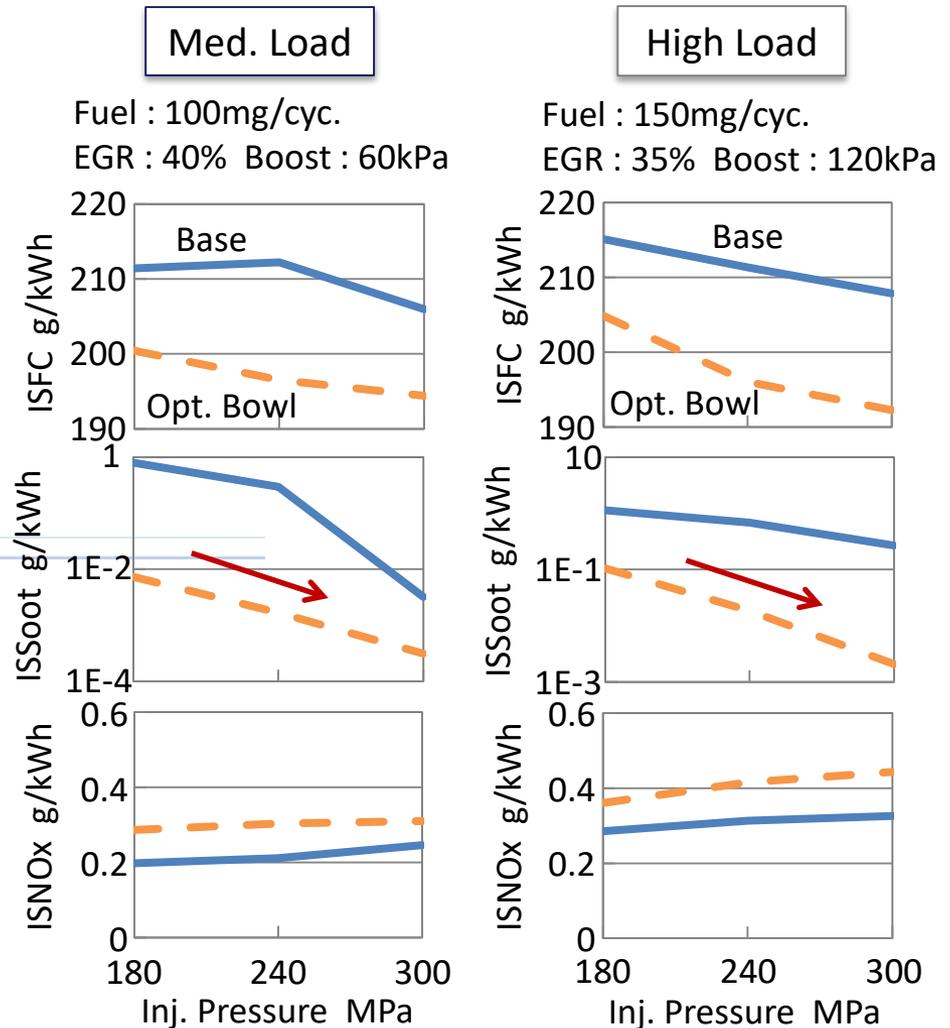
- エンジン単体の燃費率は現行の「SKYACTIV-G」と比べて最大で20~30%程度改善、トルクを全域で10%以上、最大30%改善する。最新の「SKYACTIV-D」と同等以上の燃費率を実現。
- トルクは全域で10%以上、最大で30%改善するに通り。
- 2019年以降、全世界で順次市場に導入する予定。

重量車用直噴ディーゼル機関の最適燃焼室形状における高圧噴射・EGRの効果の予測

GA(遺伝的アルゴリズム)による
最適燃焼室形状の決定

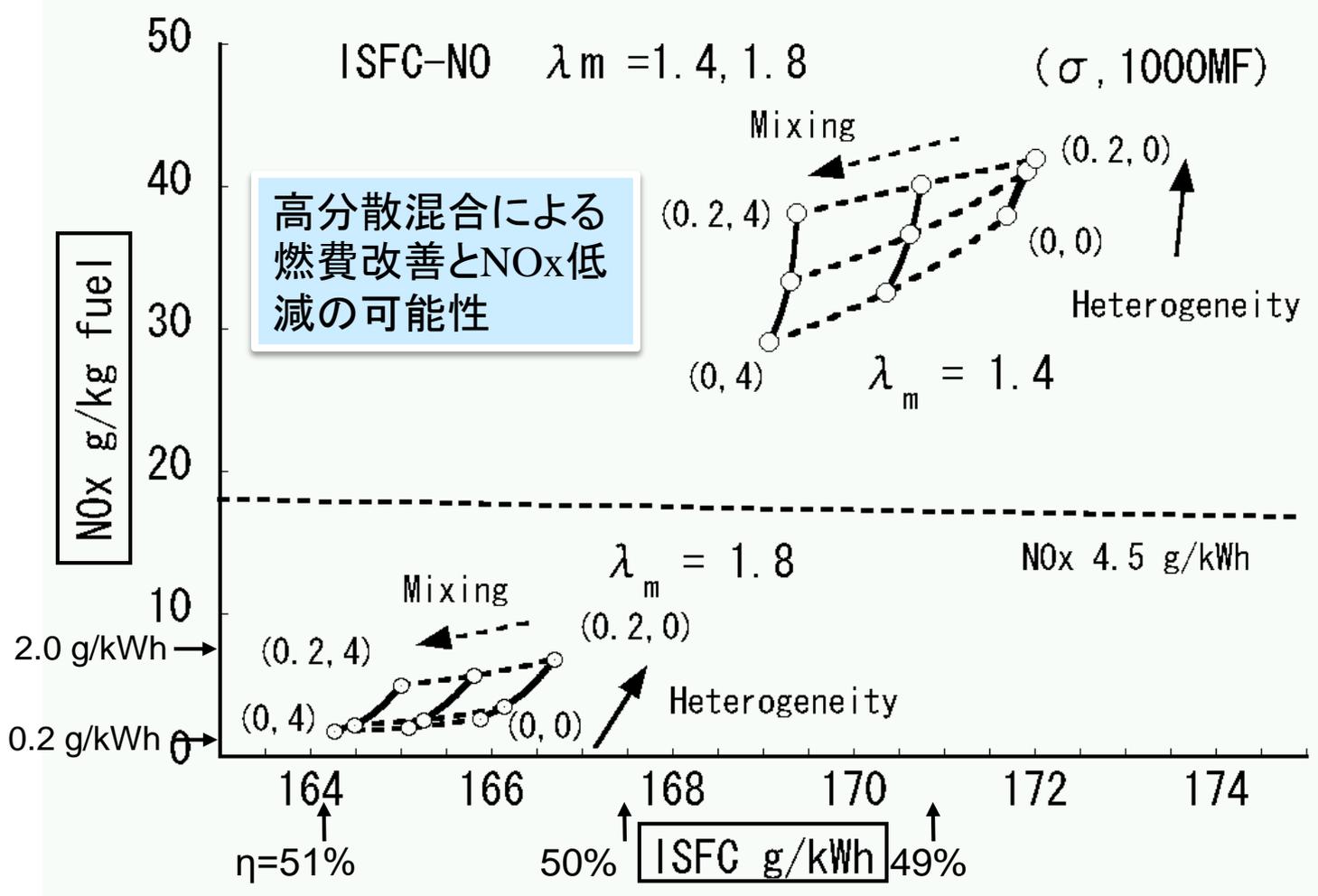


(単排気量2.0L, 回転速度1,200rpm)

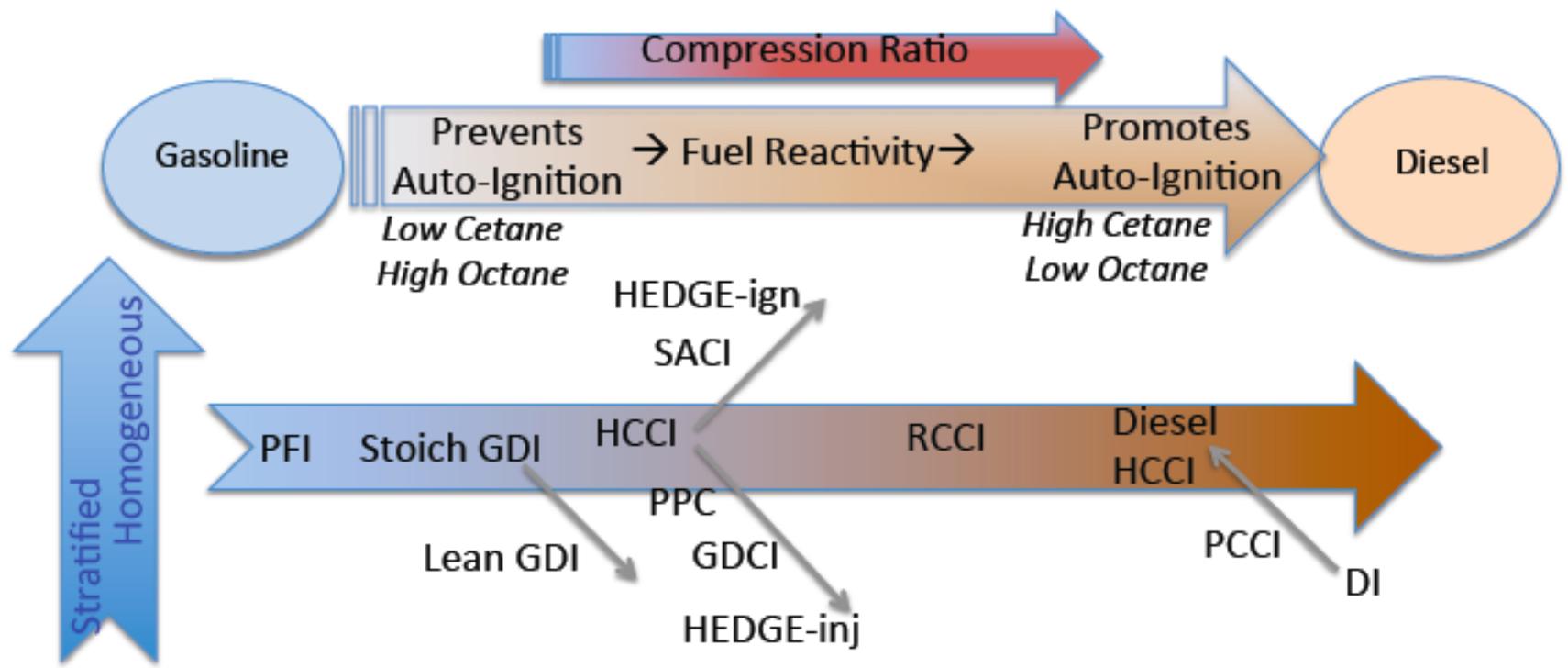


(早大・周, 草鹿, 大聖, 2013年)

ディーゼル燃焼における混合希薄化の効果 —NO_xとISFCのトレードオフ関係—



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)

高効率化のための排気エネルギーの 回収・利用技術

～エンジンの膨張終了時状態におけるエネルギーの有効利用～

- 高効率・高過給ターボ過給システム
- ミラーサイクル(アトキンソンサイクル)
- メカニカル・ターボコンパウンド
- エレクトリック・ターボコンパウンド
- ランキンサイクル
- 熱電素子

比較的大排気量で定常運転
頻度の高いエンジンに適性
がある。

- ★ 共通課題
 - ・ 2～6%pt程度の燃費向上が目標
 - ・ ジェネレータ→補機類駆動・バッテリーのシステム構成
 - ・ 排気圧力・温度の変化に対する制御
 - ・ システムのコンパクト化と車両への搭載性
 - ・ 耐久・信頼性の確保, メンテナンスの容易性
 - ・ 費用対効果の確保

物流を担う商用重量車の高効率化

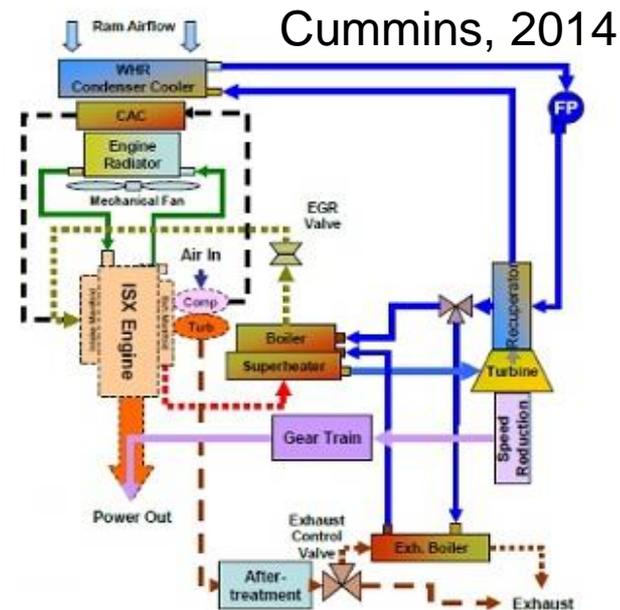
- 物流は自動車用燃料の約4割を使用。
- 物流と公共交通を担うディーゼル車の一層の高効率化は極めて重要な課題
- 排気のスーパークリーン化が大前提。

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

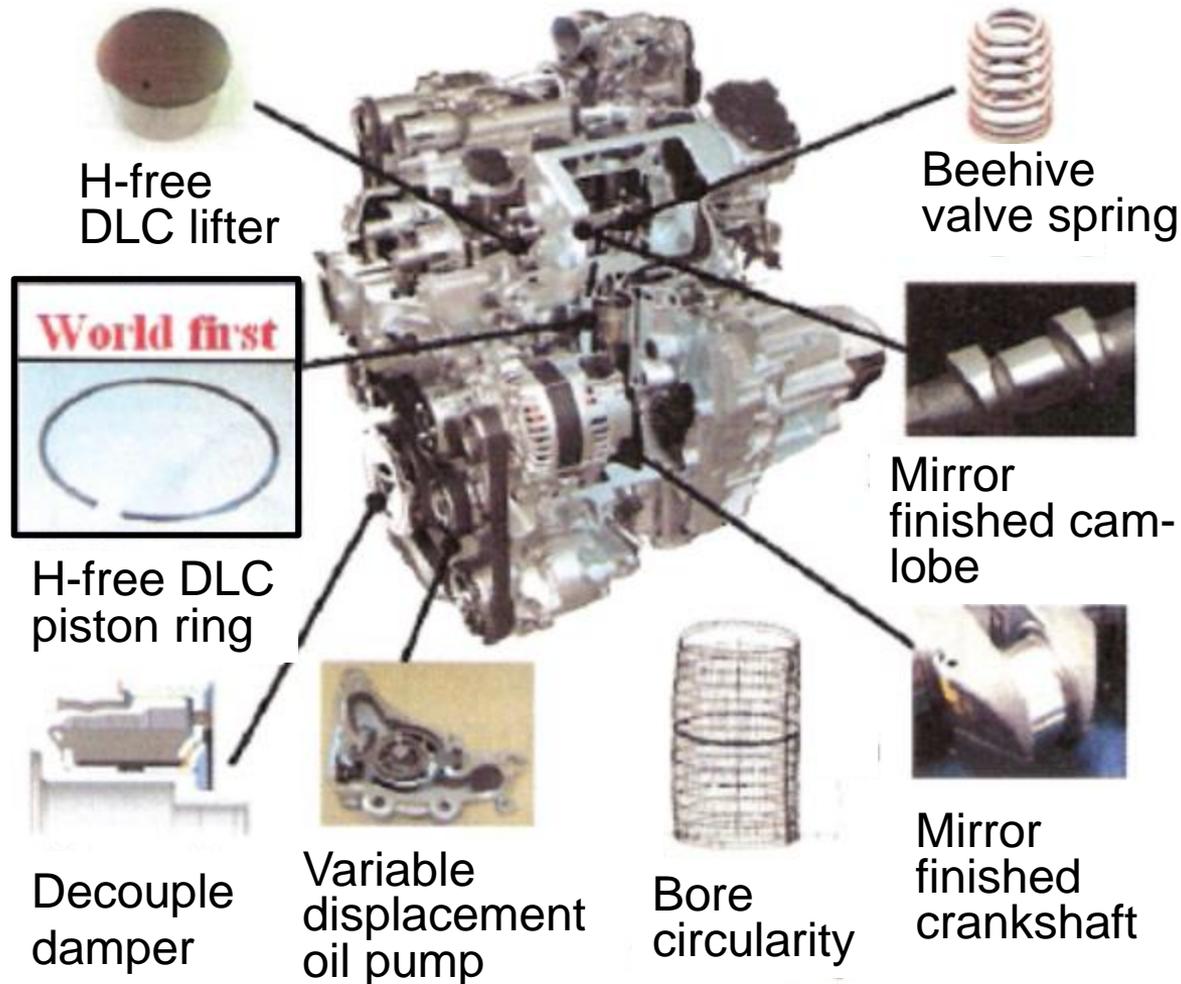


Turbo-compounding



Scania, 2013

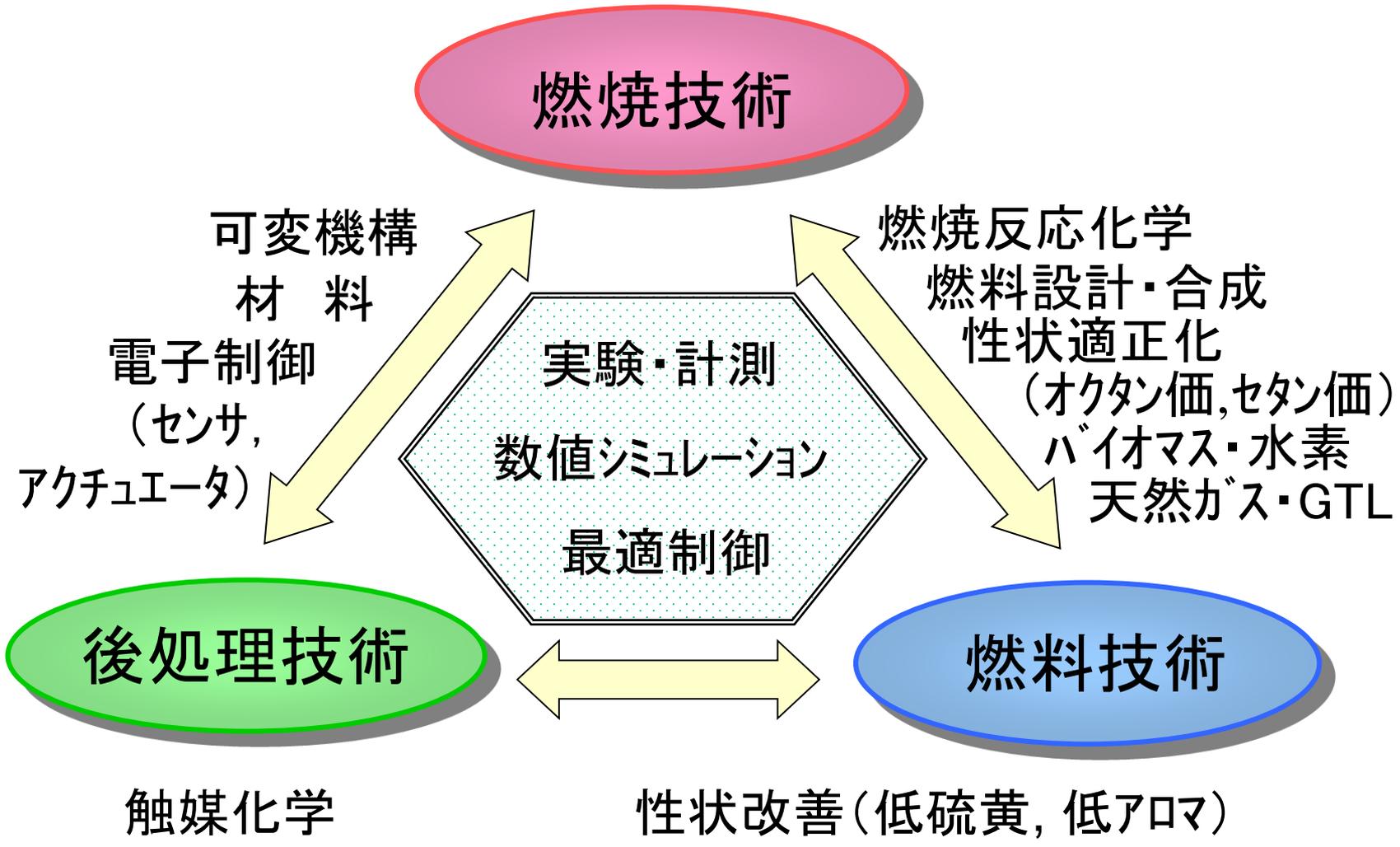
エンジン低フリクション技術の例（日産）



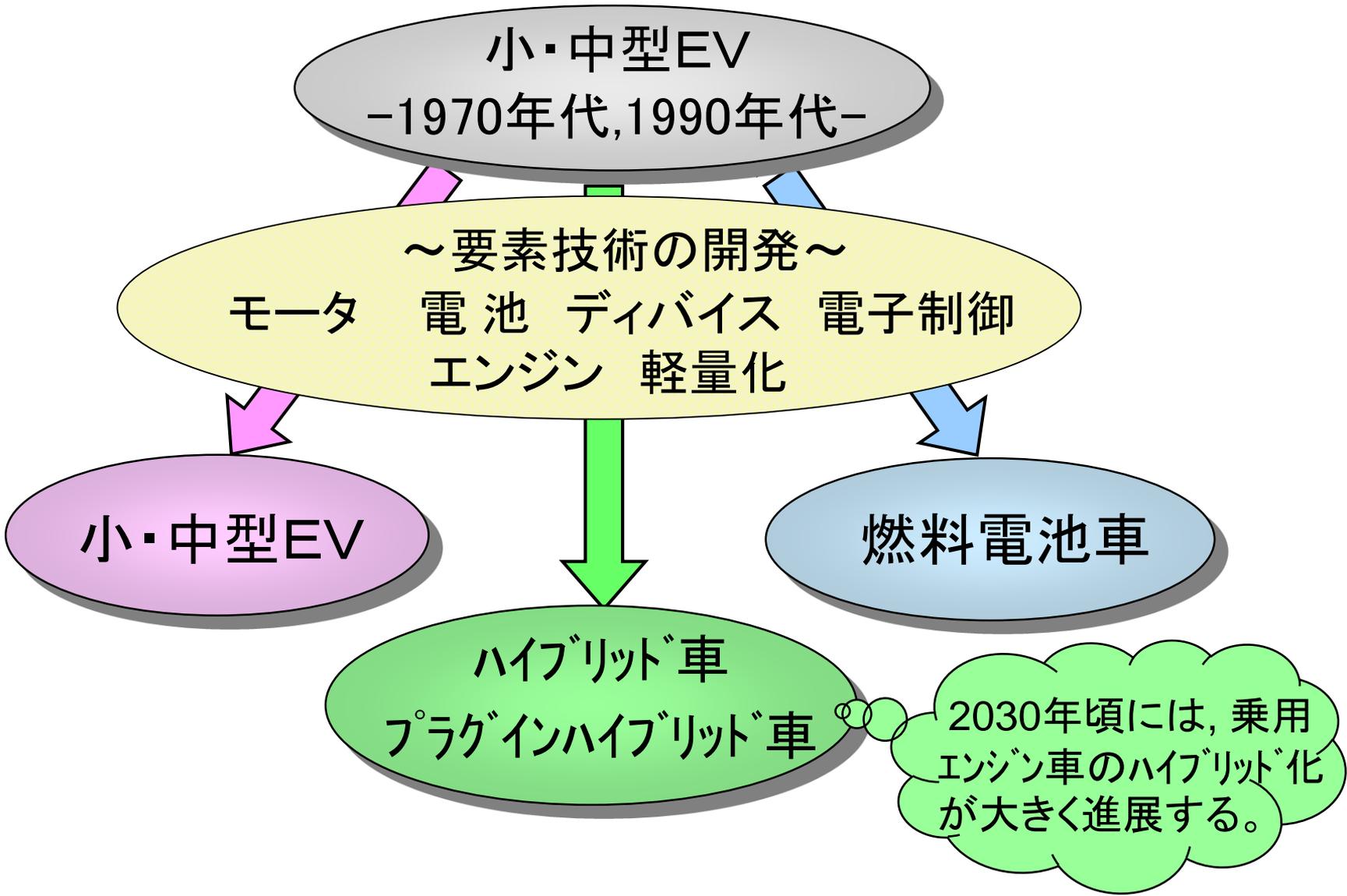
☆1.2L 3気筒直噴ガソリンエンジン（HR12DDR）において、同等4気筒エンジンに対して摩擦損失を30%低減している（2012年）

☆信頼耐久性を確保した上で、一層の低粘性、高面圧の潤滑性能が求められる。

エンジンに関わる3つの技術



今後の自動車の電動化



国内外の各種のEV (2017-2019年)

《今後、各社ではEVの多車種化が計画されている。》



Chevrolet Bolt, GM



i3, BMW



E-Golf, VW



Leaf, Nissan



Model 3, Tesla



Honda Urban EV Concept



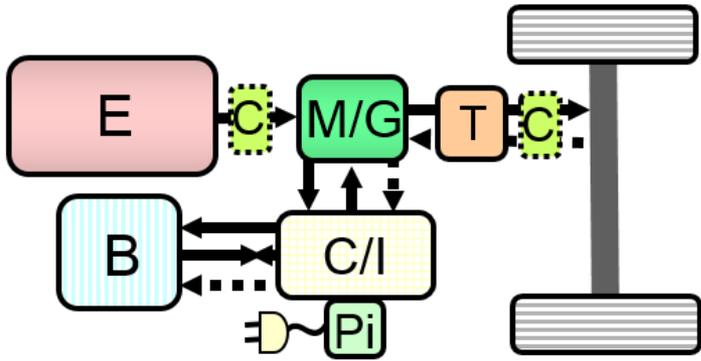
E-Canter, Mitsubishi



Semi in 2019?, Tesla

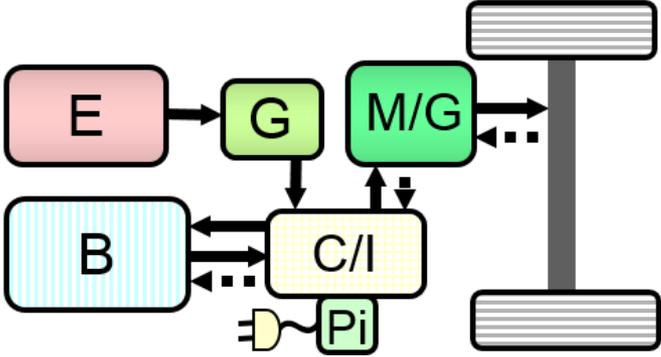
各種のハイブリッド方式と燃費改善

(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ISGや48Vシステムも登場)



〈パラレル(マイルド)〉【10-50%】

FCV, 日産Note, e-Powerも同タイプ

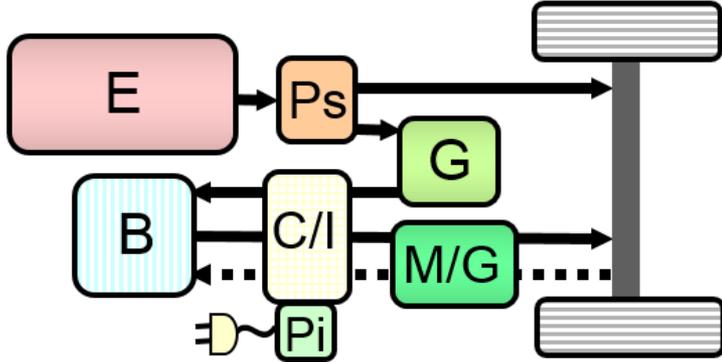


〈シリーズ(フル)〉【50-100%】

〈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
 - Pi: プラグイン
 - M: モータ
 - B: バッテリ
 - C: クラッチ
 - Ps: 動力分割システム
- : 動力 / 発電 ←.....: 回生

プラグイン化した場合の最適なハイブリッドシステムとは？



〈シリーズ/パラレル(フル)〉【50-100%】

最近のわが国におけるHV



Prius, Toyota



Plug-in Prius, Toyota



Plug-in Outlander,
Mitsubishi



Solio, Mild hybrid (ISG)
Suzuki



Note, e-Power,
Series Hybrid, Nissan



Fit Hybrid,
Dual Clutch Transmission
Honda

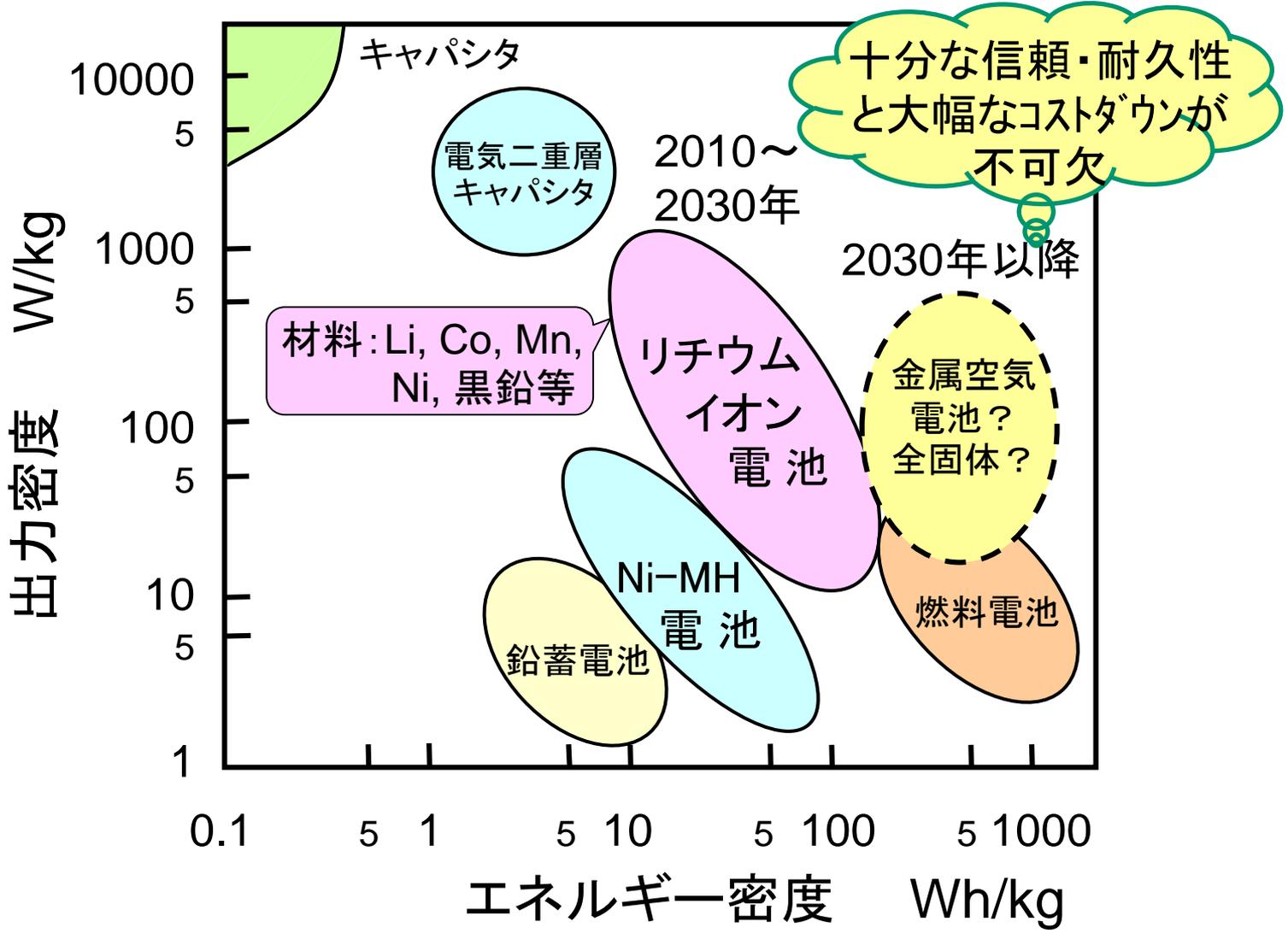


Diesel Parallel Hybrid Truck, Isuzu



Diesel Parallel Hybrid Bus, Hino

各種の蓄・発電システムの比較



資料提供: 早大・逢坂教授

EVとPHEV用の電力に関わる課題

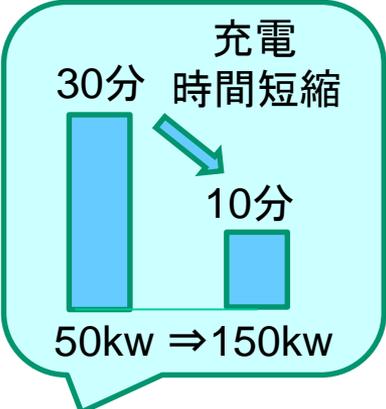
□2011年3月の福島原発事故による全国の原発停止の影響

＜発電時のCO₂排出原単位の増加＞

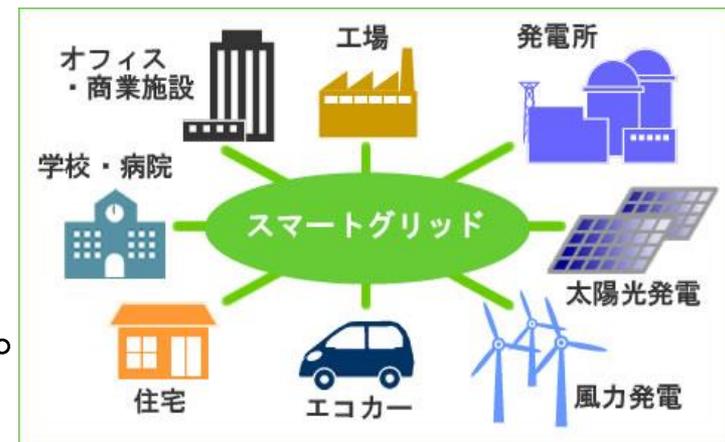
- ・事故前の2010年度：340g/kWh
- ・事故後の2014年度：610g/kWh（1.8倍増加）
（電事連資料，上位9社の単純平均）

□急速充電のCHADEMO規格の改訂（2017年3月発表）

- ・EVの電池容量増大への対応と充電待ち時間の短縮。
- ・2010年の50kW規格（500V-125A）から充電容量を150kWに増大。
例えば，現状の80%SOCの充電時間を30分から10分に短縮する。
機器を2017年内に発売予定。
- ・2020年頃を目途に350kWに増大検討。
- ・普及により増える電力需要変動を供給側でどう管理するかが重要課題となる。
 - ✓スマートグリッド，デマンド・レスポンスで対応。
 - ✓負荷調整用発電・蓄電システムが不可欠。



□今後再生可能な電力がどれだけ利用できるか。家庭，業務部門との取合い!?



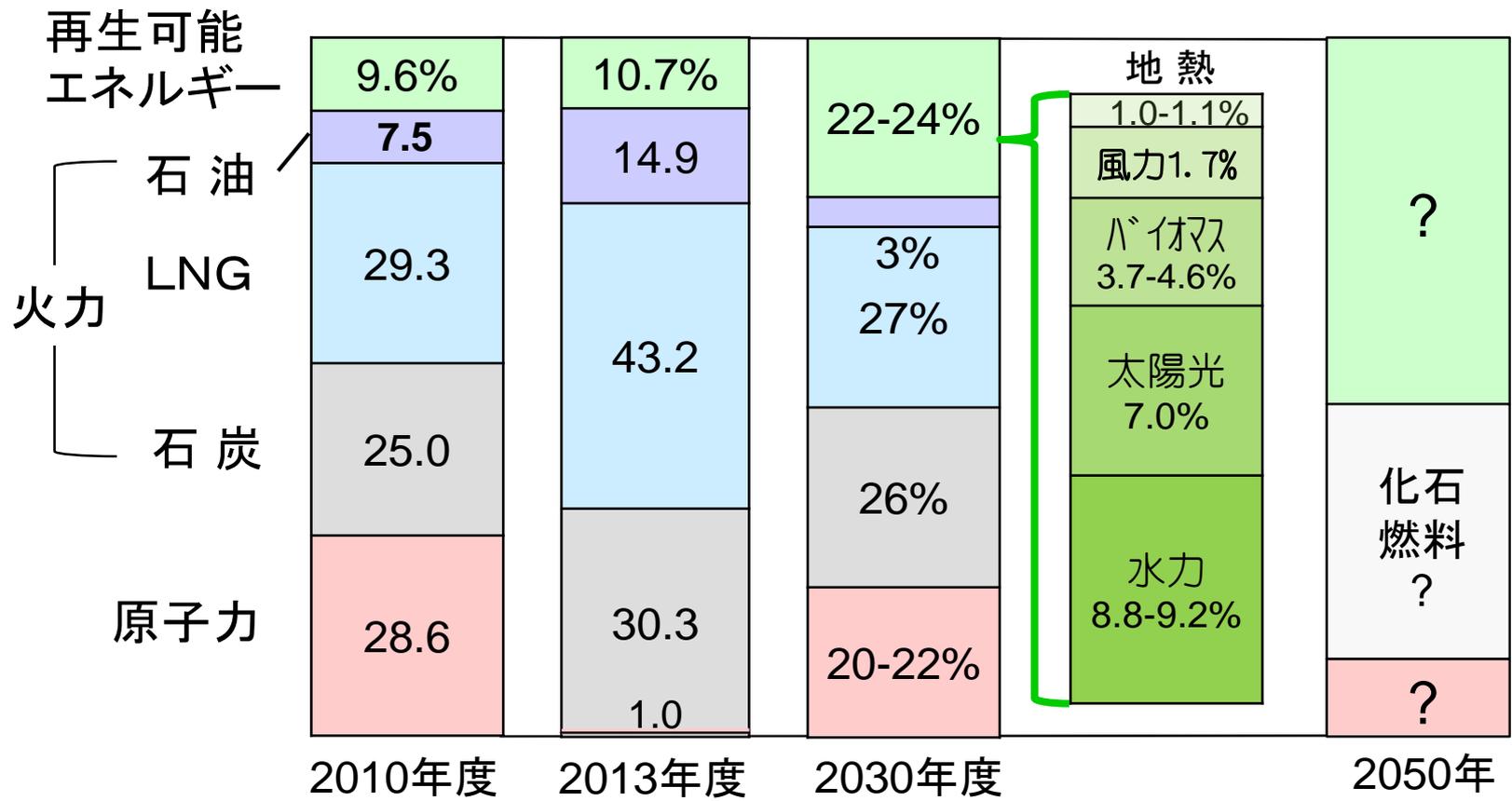
EVの使用済みリチウムイオンバッテリーを二次利用する「フォーアールエナジー(株)」設立(2010/10)

- 日産自動車株式会社と住友商事株式会社による共同出資会社として設立。
- EV)の使用済みリチウムイオンバッテリーを対象に、下記の4R事業を行う。
 - ・再利用(Reuse)・再販売(Resell)・再製品化(Refabricate)・リサイクル(Recycle)
- 国際市場におけるエネルギー貯蔵の手段として二次利用を行う4R事業の検討を2社共同で進める。4R事業では、EVの普及のみならず、再生可能エネルギーを有効活用する蓄電デバイスを普及させることで、一層のCO2削減を行い、低炭素社会の実現に貢献。

>MWh	 ×40 ?	マイクログリッド ビル・工場 (BEMS,FEMS)
100 kWh		集合住宅・コミュニティ 中規模 PV 連系
24 kWh		急速充電機併設 小型商業施設・公共施設
10 kWh		住宅用蓄電システム
数kWh		ポータブル電源



想定される電源構成案(経産省, 2015年7月)

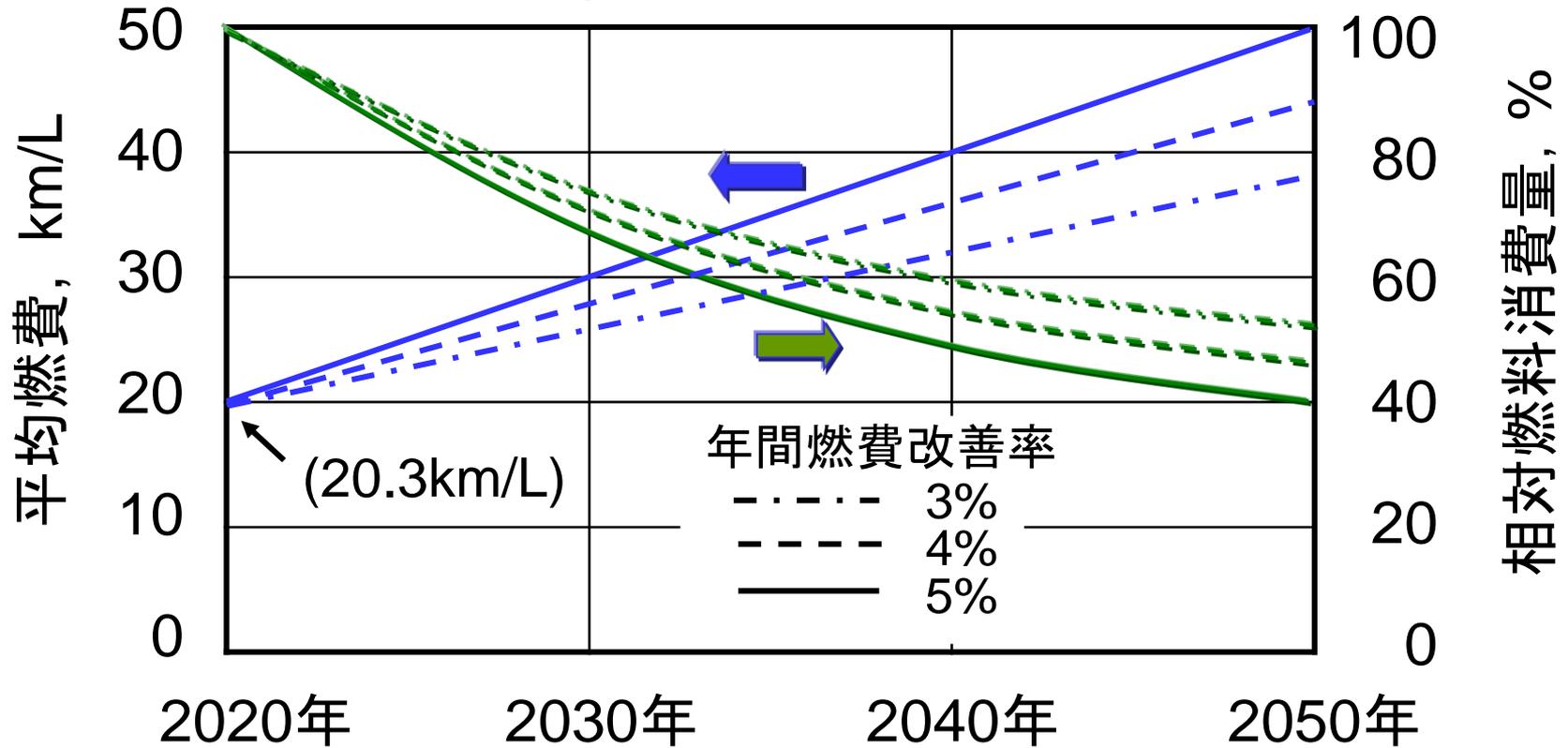


- ★原子力と水力はベース電源, 需給変動は火力と蓄電システムで対応する。
- ★将来の再生可能エネルギーと原子力の構成割合の増加はEVやPHVの低炭素化に大きく寄与する。
- ★2030年度には2013年度に対してCO2が30数%削減される?

乗用車の将来の平均燃費目標

改善率:5%/年

CO₂ : 116 77.4 58.0 46.4 g/km



電力と水素による低炭素化の選択肢

□ 再生可能なエネルギー



太陽光



風力



地熱

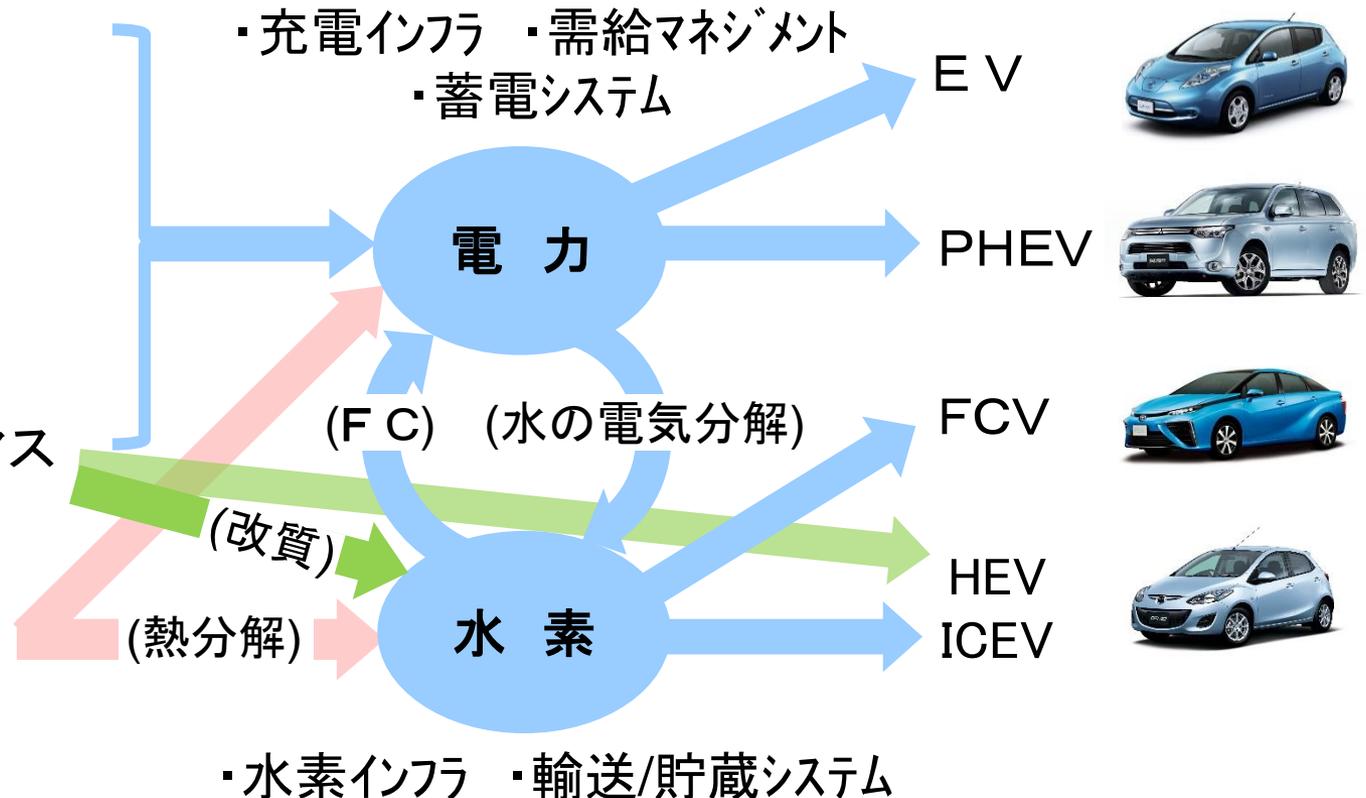


水力



バイオマス

□ 原子力



- ☆当面、主に化石燃料(天然ガス、ナフサ等)の改質により水素を製造する。
- ☆2040年頃を目途に、CO2フリーの水素の製造、輸送・貯蔵の本格化を目指す。
- ☆普及に当たっては、エネルギー・燃料の製造・輸送・貯蔵・消費に関わるトータルなLCA(あるいはWTW評価)とともに費用対効果の評価が必要である。

トヨタ自動車の多様なFCV戦略



2014年12月 “Mirai” 販売開始



2017年1月, 元町工場
FCフォークリフトの利用を開始



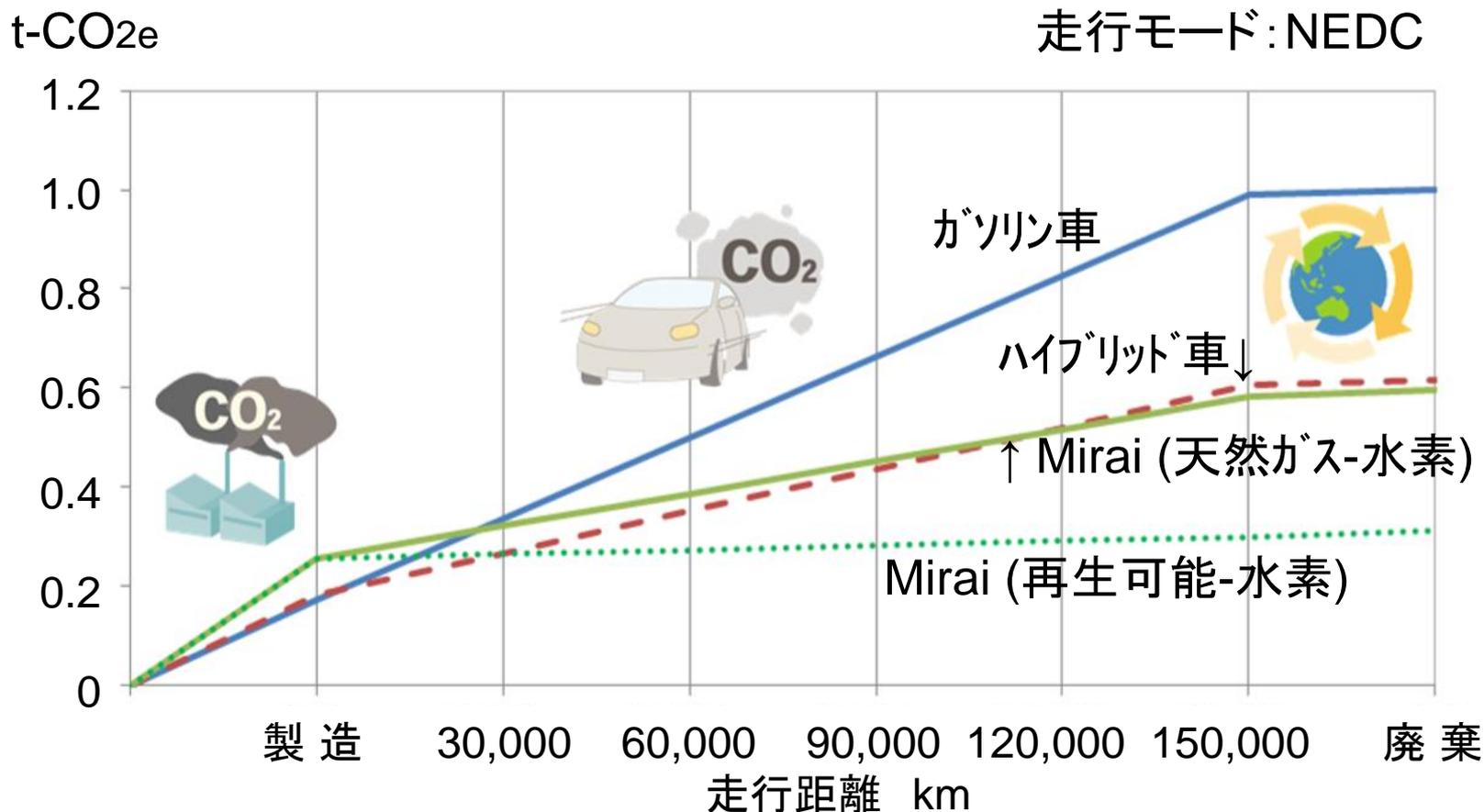
2018年3月, FCバス“Sora”を100台
製造し販売すると発表



2017年4月19日発表 米国加州港湾地区で利用
“Mirai”のFCスタック2基と12kWhの駆動用バッテリー
を搭載し, 約500kWの出力と約1,800N・mのトルク性能
を確保し, 総重量約36トンでの走行が可能。

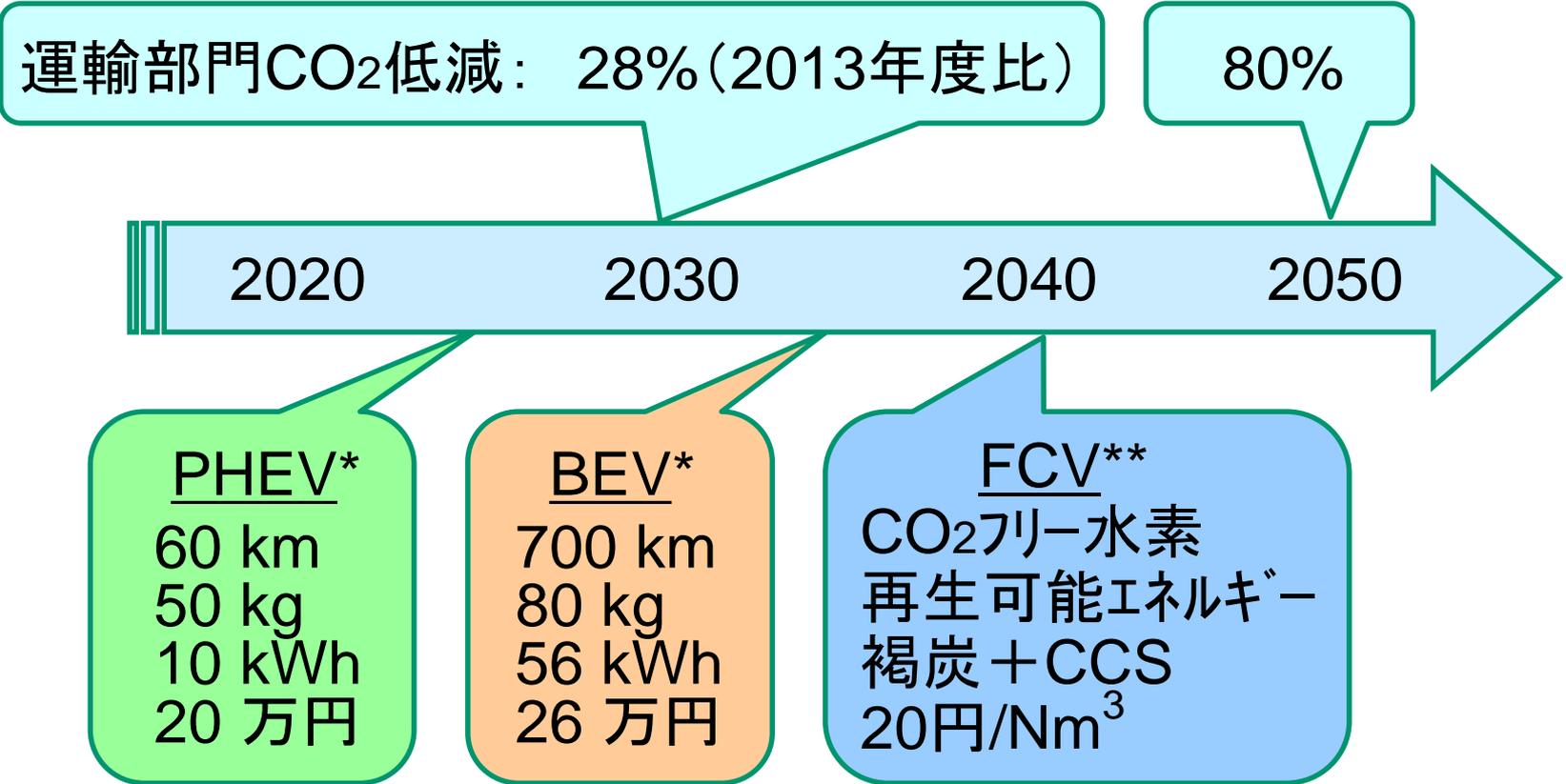
☆他社の参入や複数の企業との連携を通じて普及を図ることが不可欠！

LCAによる各車種のCO₂排出量の比較



Mirai LCA レポート
トヨタ自動車, 2015年6月

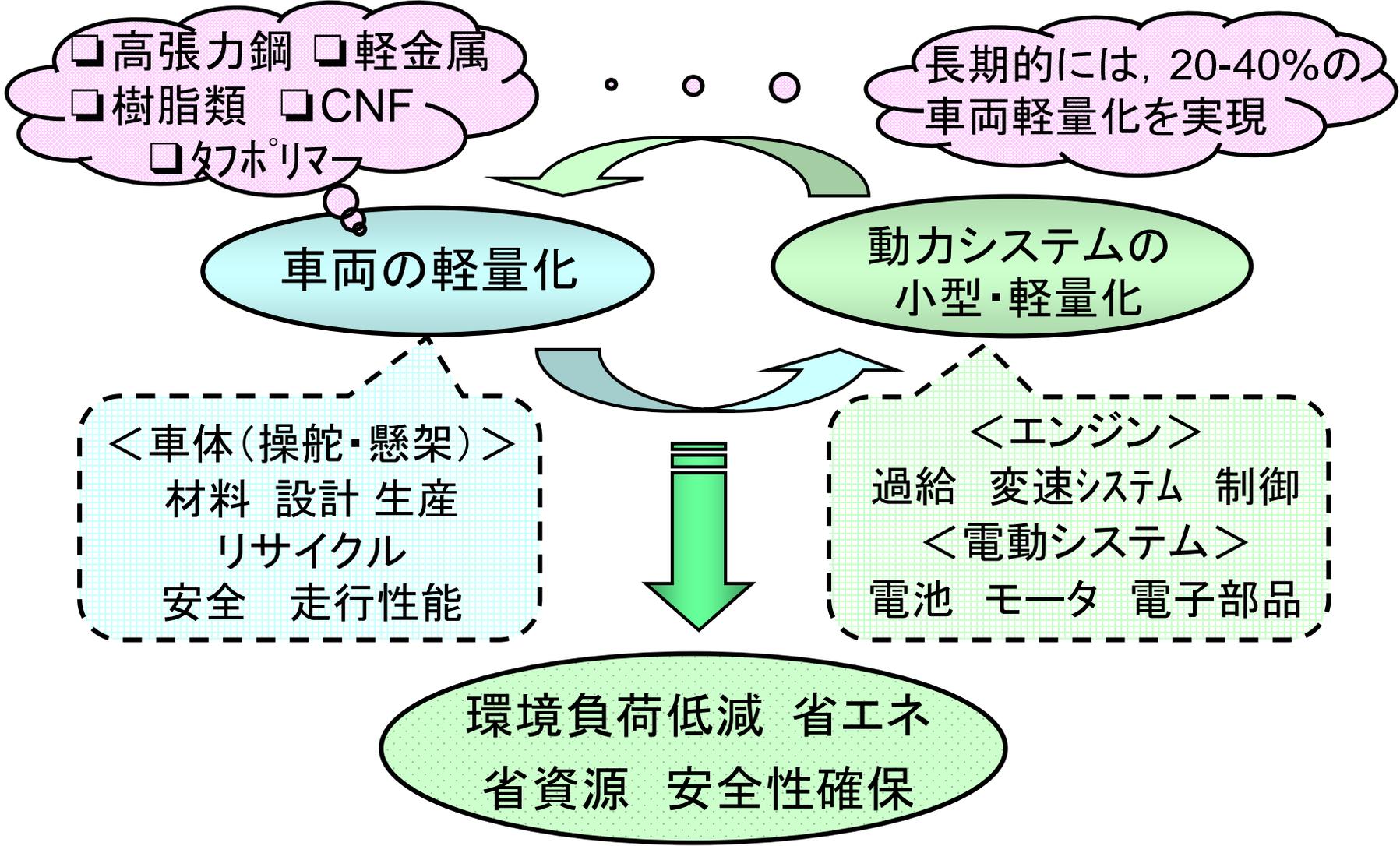
PHEV, BEVのロードマップとFCVのシナリオ



* : 自動車用二次電池技術開発ロードマップ2013(NEDO, 2013/8)

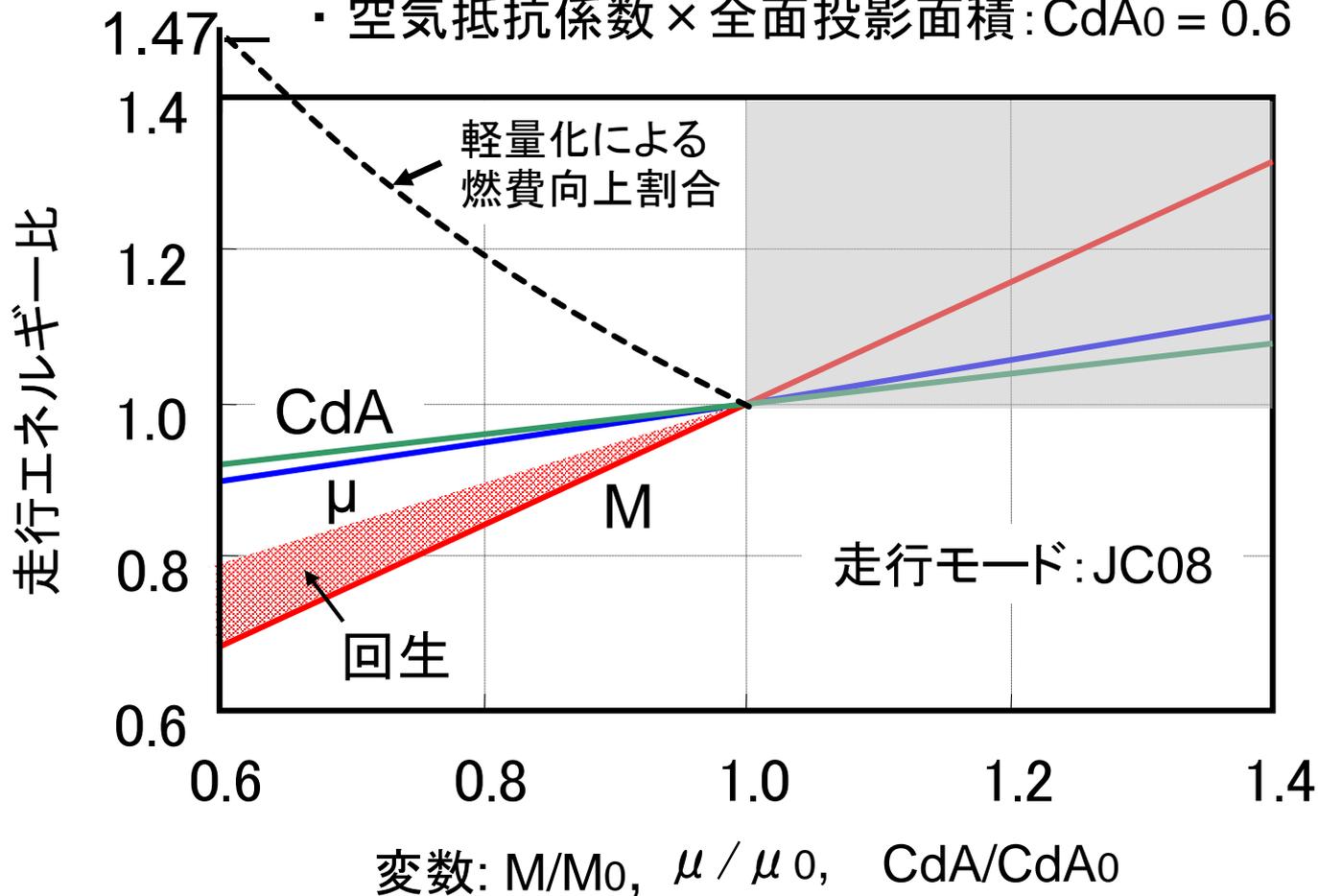
** : 「水素基本戦略」のシナリオ(再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 2017/12/26)

動カシステムのダウンサイジングと 車両の軽量化の相乗効果

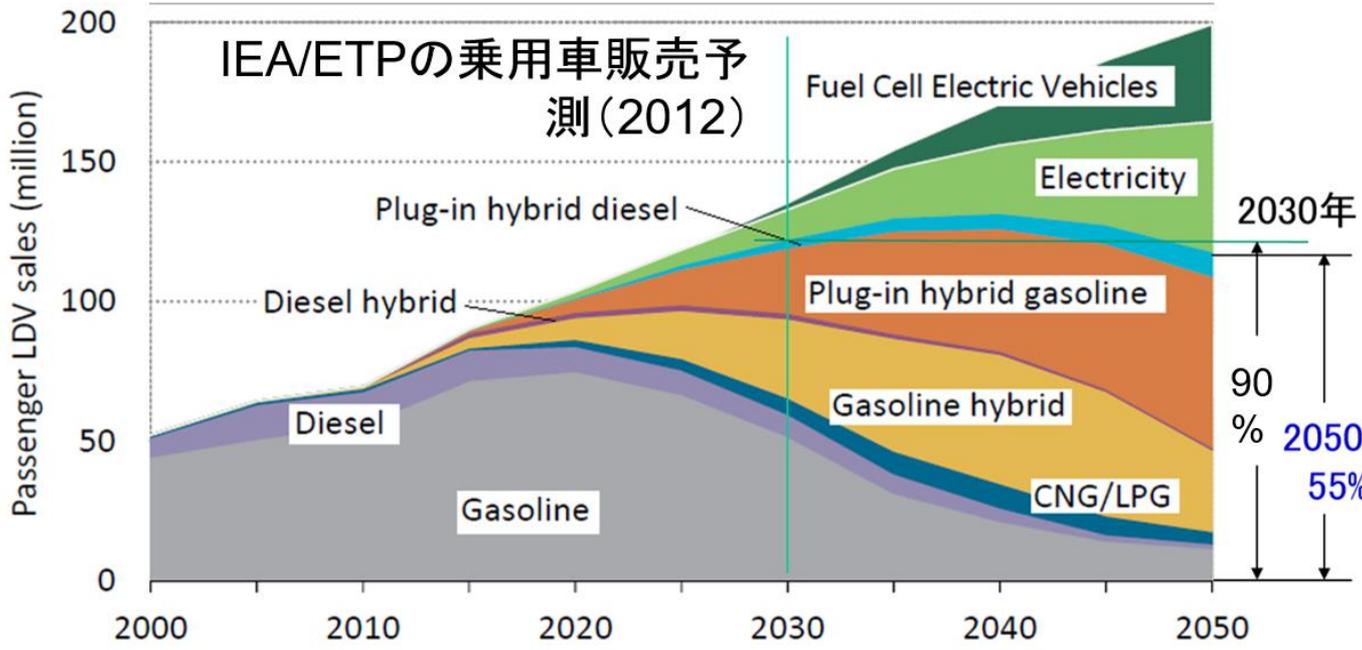


各走行抵抗と走行エネルギー

- 車両重量: $M_0 = 1,200\text{kg}$
- 転がり抵抗係数: $\mu_0 = 0.01$
- 空気抵抗係数 × 全面投影面積: $CdA_0 = 0.6$



2050年に至る乗用車のシェアと重要技術



□ 2030年代以降も高効率エンジンは主要な動力源として使われ続けるであろう。

□ 一方、温暖化対策のため電動化が加速する可能性がある。

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)	再生可能な電力・水素の活用 ステーション整備と電力需給管理
バッテリー・電動化 (EV, HEV, PHEV, FCV)	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
エンジン (ICEV, HEV, PHEV)	正味熱効率の向上 軽小中～重量車: 50～55%
軽量化 (すべての車種に必要)	車両重量: 20～40%程度低減 安全性の確保

2050年に向けたわれわれの社会と生活

□われわれは、どんな『社会』と『生活』を望むか？

- ①技術先進国として一定の成長率を維持し、経済的に満たされた生活。
- ②低成長を受け入れ、地域に根差した牧歌的生活。①と②の両立はあるか？
 - ・超高齢化，労働人口の減少を前提とすべき！
 - ・「コンパクトシティ」は実現可能か？

✓低炭素社会
 ✓自然共生社会
 ✓循環型社会
 ★シェアリングエコミー

Fun to drive

□『移動』と『物流』をどんな手段で確保するか？

- ・公共交通機関／マイカー／タクシー／カーシェア／ライドシェア／長距離ライドシェア
- ・パーソナルモビリティ(バイク／自転車／シニアカー／電動ツール／徒歩)
- ・運転支援／自動運転(乗用車, コミュニティバス, 宅配, 高速道トラック)
- ・電子商取引／買い物代行(ネットショッピング／ドローンの利用)
- ・ロボットの活用: ラストワンマイル／域内移動／物流ターミナルの荷捌き
- ・ワークシェア／テレワーク／サテライトオフィス／クラウドソーシング(ワーキング)

働き方
改革

☆高齢者・交通弱者や過疎地住民への対応も重要な課題

交通権

Daimler の新概念 "CASE", 2017/11

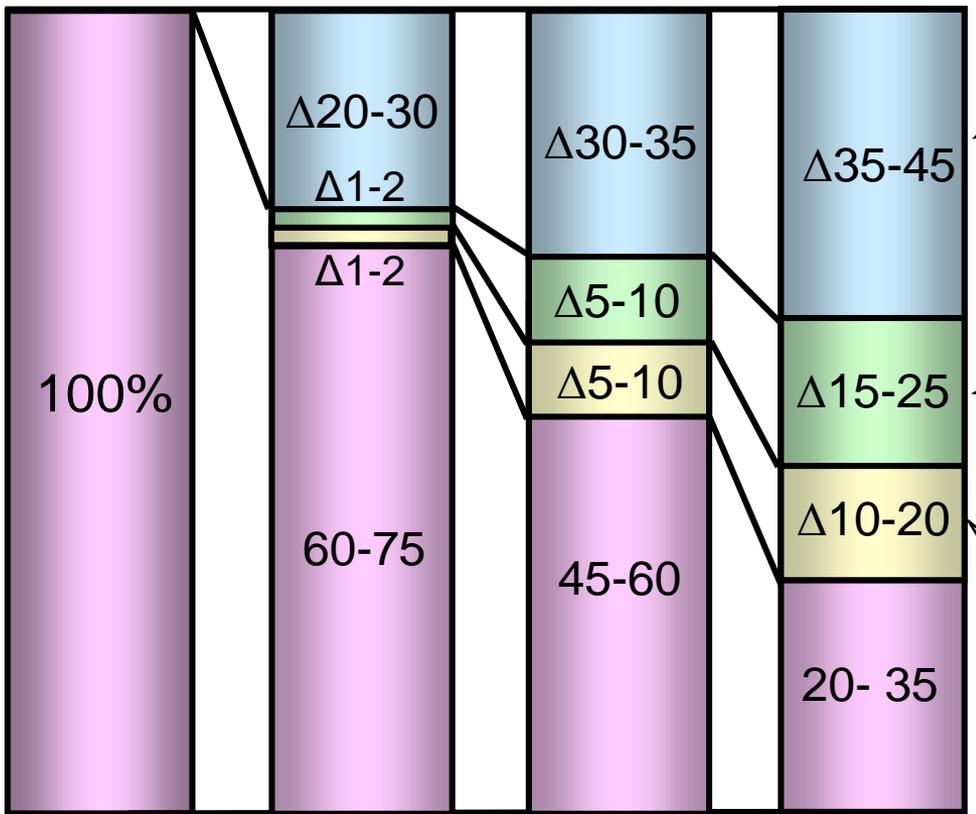
Connecte**d** **A**utonomous **S**hared, Services **E**lectric
Stuttgart City in 2030



中長期的な自動車CO₂排出量の削減予測

基準 Δ25-30% Δ40-55% Δ65-80%

【削減手段】



＜従来車の燃費改善技術＞
 動力システムの高効率化
 ハイブリッド化, 車両軽量化

＜低炭素燃料・エネルギーの利用＞ 電気, 水素
 天然ガス, バイオ, CCS

＜自動車利用の改善と高度化＞
 AI, ITS, ICT, モーダルシフト,
 カーライフスタイル変更

2010年 2020年 2030年 2050年

(早大・大聖)

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つては、エンジンの高効率化は、従来車はじめ、HEVやPHEVの燃費改善にも極めて有効である。
- 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を含む電動化と低炭素で再生可能な電力・エネルギーの活用が不可欠である。
- 電動化において、バッテリーのエネルギー密度の大幅な向上とコスト低減が最も重要な課題である。
- 再生可能な電力の利用は、普及台数増加に伴う急速充電の需給変動に対応したマネジメントシステム(蓄電システムを含むスマートグリッド)の構築が不可欠である。
- 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、低炭素水素の利用、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重要な課題である。
- 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、これらの技術的な目標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、変革を図る必要がある。(「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大いに期待される。