



# 内燃機関の将来展望

第21回内燃機関シンポジウム

2010年11月10日

マツダ株式会社 人見

1

## 内容

**電動化時代に向けての内燃機関の役割**

**内燃機関の目標設定**

**内燃機関の効率改善**

*1st step*

*2nd step*

**内燃機関の改善と電動デバイス**

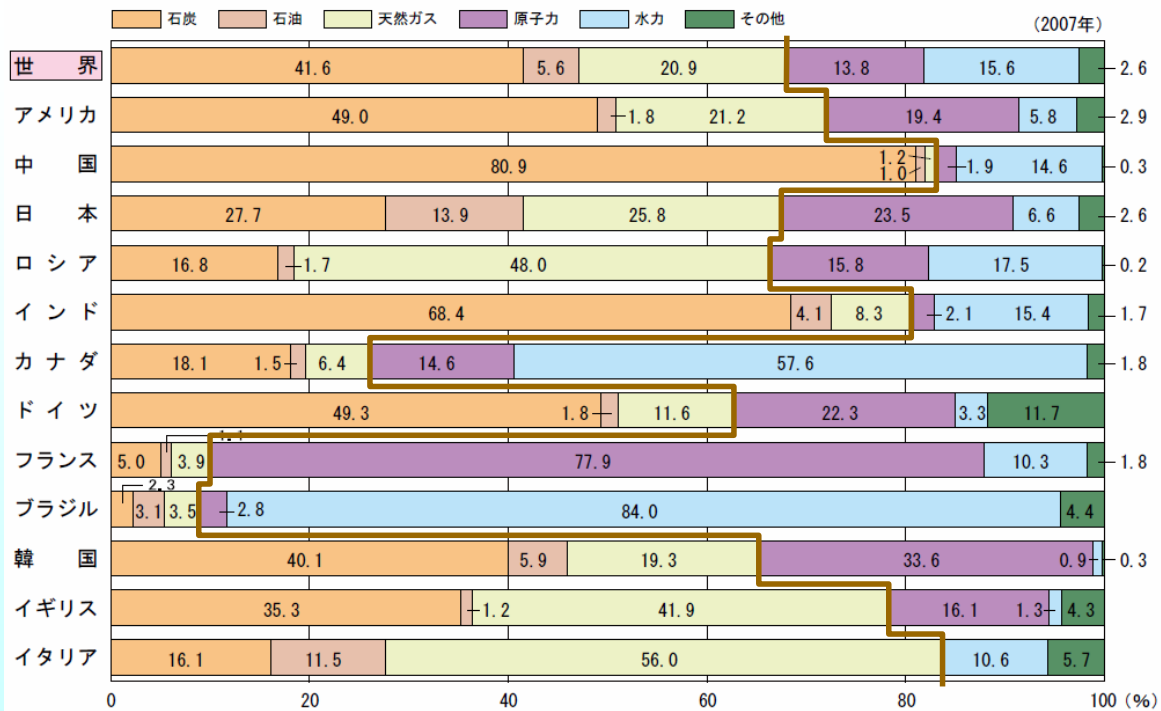
*Final step*

**ガソリンかディーゼルか**

2

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## 主要国の電源別発電電力量の構成比

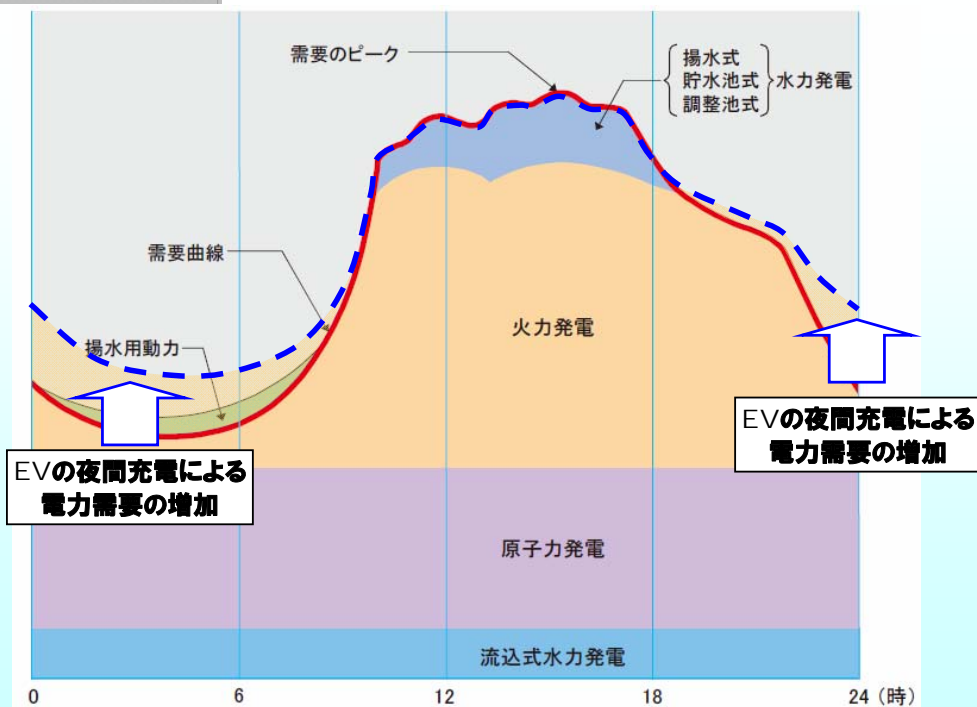


出展：電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集 第4章 原子力発電の現状(2010年度版) に追記・修正

**CO<sub>2</sub>を発生する発電方式が約半分**

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## EVの発電電力は？



出展：電気事業連合会 原子力・エネルギー図面集 第1章 世界および日本のエネルギー情勢(2010年度版) に追記・修正

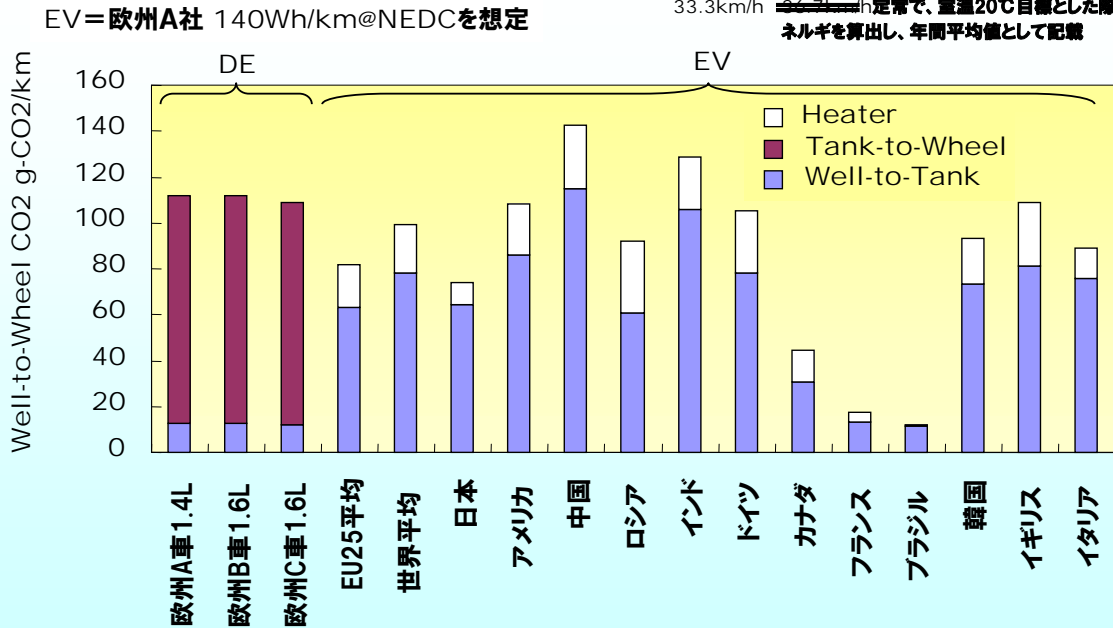
**EVを夜間に充電するならCO<sub>2</sub>を出して発電するしかない(日本の現状)**

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## EVのCO2低減効果はどの程度か

※EV W-T CO<sub>2</sub>: 電力中央研究所(2010)の発電ライフサイクルCO<sub>2</sub>から各国電力構成比率を元に算出

※Heater CO<sub>2</sub>: 各国首都の月別気温変化を元に、車速33.3km/h定常で、室温20℃目標とした際の消費エネルギーを算出し、年間平均値として記載

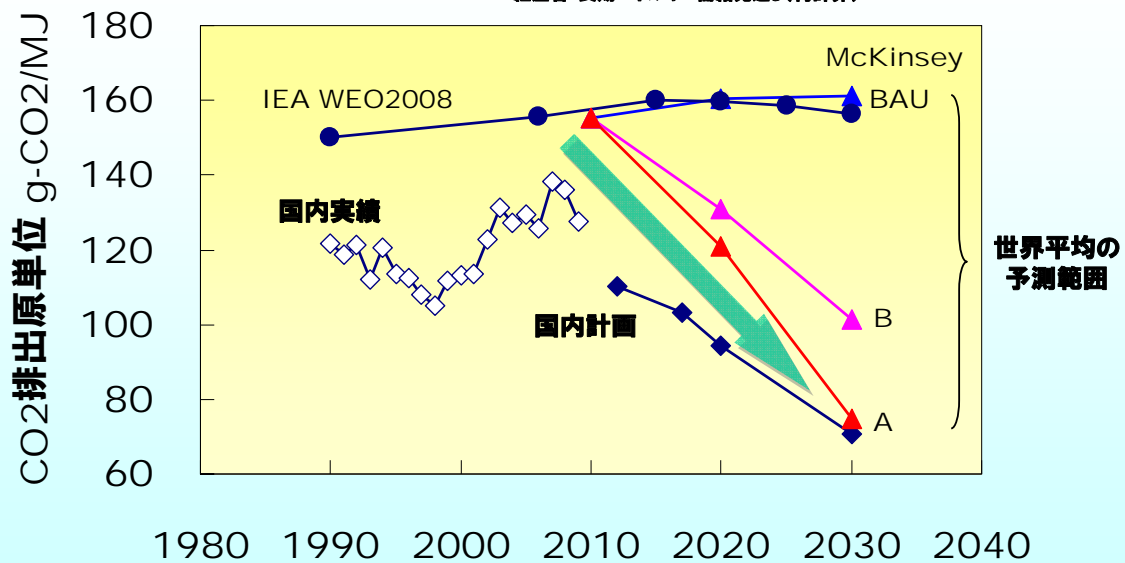


**EVのCO<sub>2</sub>低減効果は現状の発電手段では不十分**  
 (燃費に特化したディーゼルエンジンに対する優位性小→内燃機関で追いつくレベル)

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## 発電CO<sub>2</sub>の前提条件

※電力中央研究所(2010)の発電ライフサイクルCO<sub>2</sub>から電力構成比率を元にCO<sub>2</sub>排出原単位を算出  
 ※電力構成比率予測  
 ・IEA: World Energy Outlook 2008  
 ・McKinsey&Company: Pathways to a Low-Carbon Economy  
 ・経産省: 長期エネルギー需給見直し(再計算)

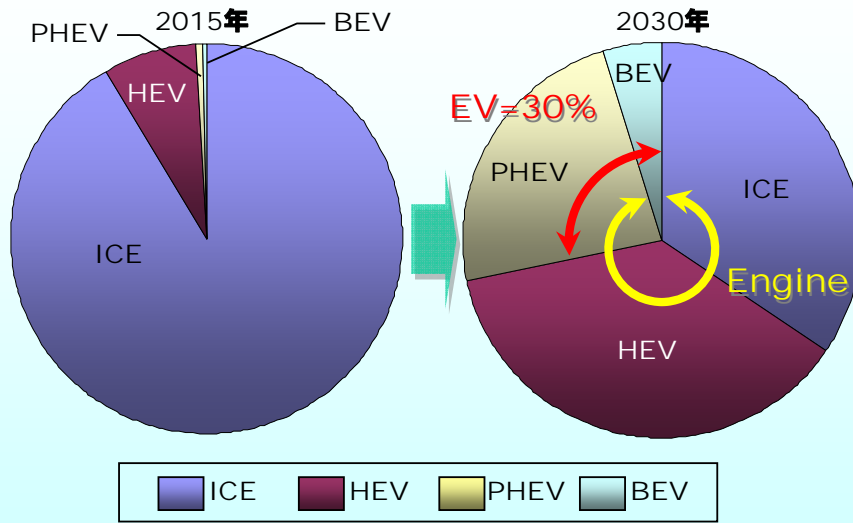


**2030年には発電CO<sub>2</sub>半減を目指している**

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## 2030年のEVシェアと発電CO2

世界シェアの前提条件

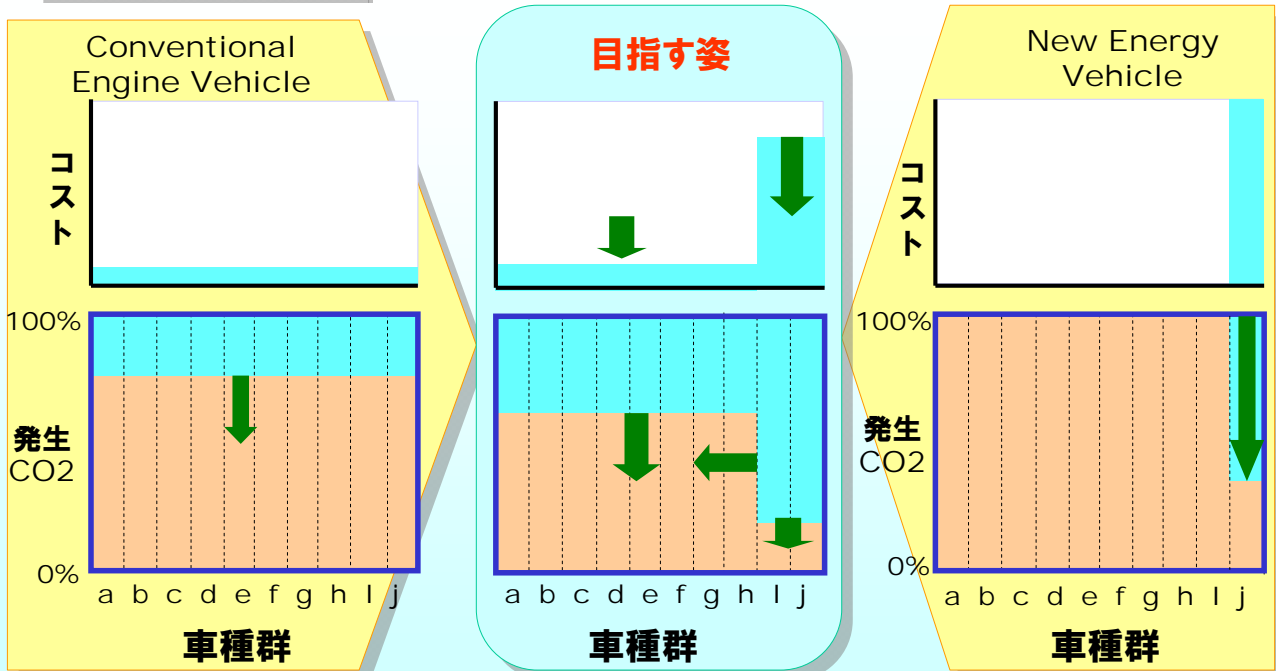


・BOSCH ・A.T.KERNEY ・みずほ ・富士経済 ・IEA  
 ・野村総研 ・経産省 ・Ricardo ・三洋電機 ・UE研究所

2030年のBEV+PHEVのシェア予測は30%、発電CO<sub>2</sub>は半減予想

# 電動化時代に向けての内燃機関の役割

## CO2低減の現実策



今までとは異なるエネルギー(電気、水素?)で動く自動車の普及にはまだ時間がかかるので内燃機関で広くCO<sub>2</sub>低減を図っておく必要がある

# 内容

## 電動化時代に向けての内燃機関の役割

### 内燃機関の目標設定

#### 内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

内燃機関の改善と電動デバイス

Final step

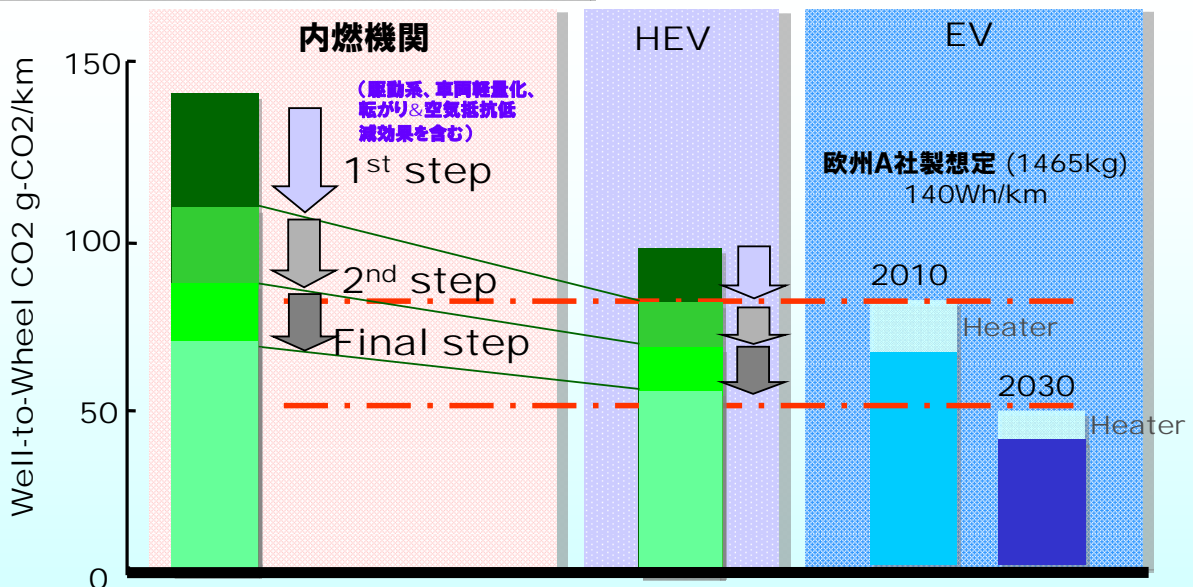
ガソリンかディーゼルか

9

## 内燃機関の目標設定

CO<sub>2</sub>低減目標 (JC08) Bカークラスを想定

1990年のBカーのJC08想定well-to-wheel CO<sub>2</sub>は250g/km前後



- 1st step ; 内燃機関と車両改善でマイルドハイブリッド並みの燃費 HEV=現行EV
- 2nd step ; ストロングハイブリッド並みの燃費(現行EVのCO<sub>2</sub>レベル)
- Final step; 2030年に1990年比CO<sub>2</sub>の80%削減を内燃機関主体の車70% (EV比率30%)で実現(発電CO<sub>2</sub>半減を想定)

10

# 内容

## 電動化時代に向けての内燃機関の役割

### 内燃機関の目標設定

### 内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

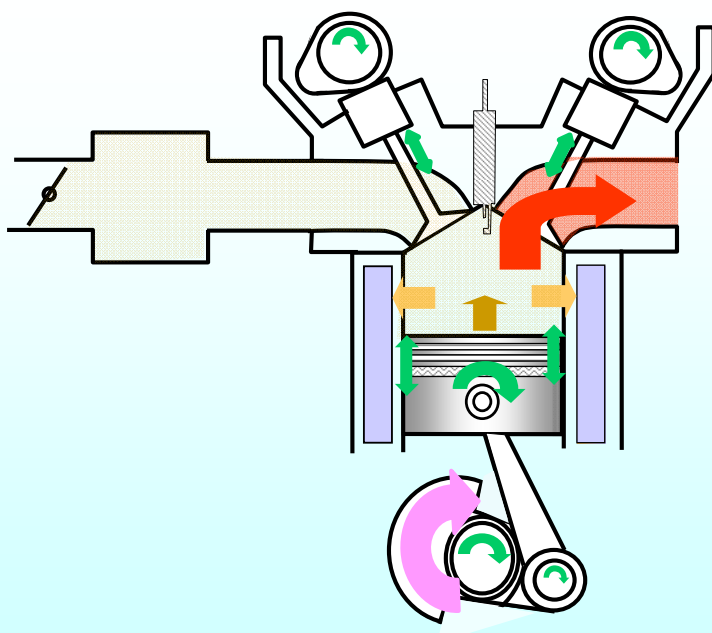
内燃機関の改善と電動デバイス

Final step

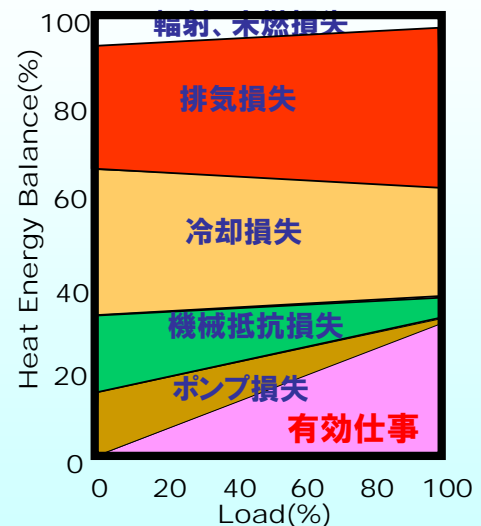
ガソリンかディーゼルか

# 内燃機関の効率改善

## 内燃機関の各種損失



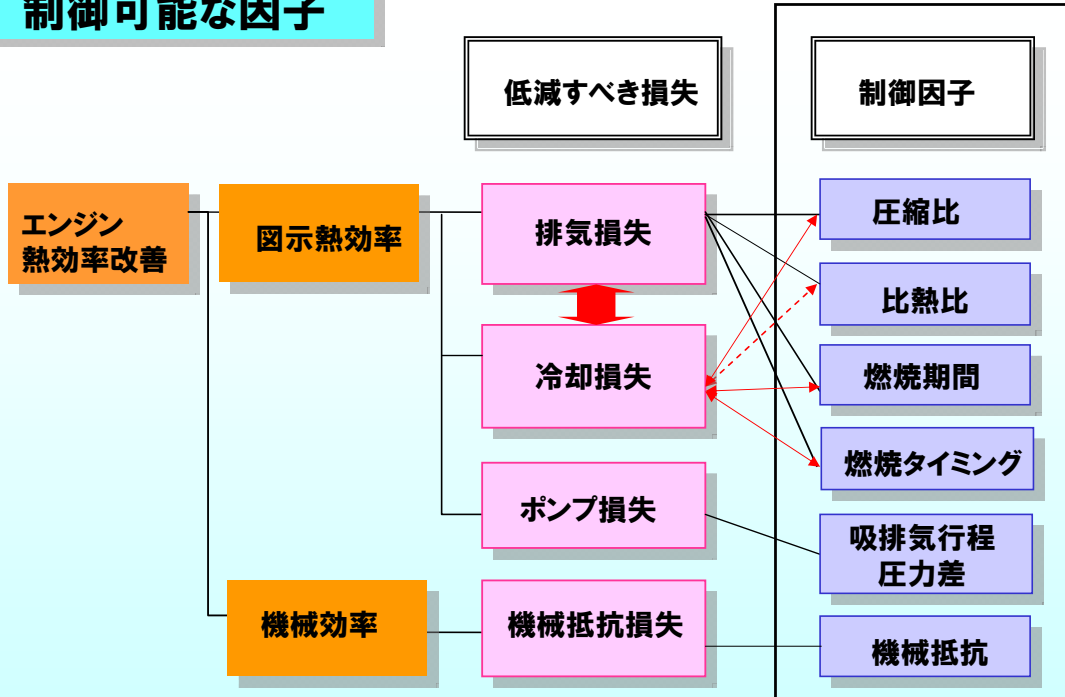
Heat Energy Balance vs Load



内燃機関の効率改善とは排気損失、冷却損失、ポンプ損失、機械抵抗損失低減に他ならない

# 内燃機関の効率改善

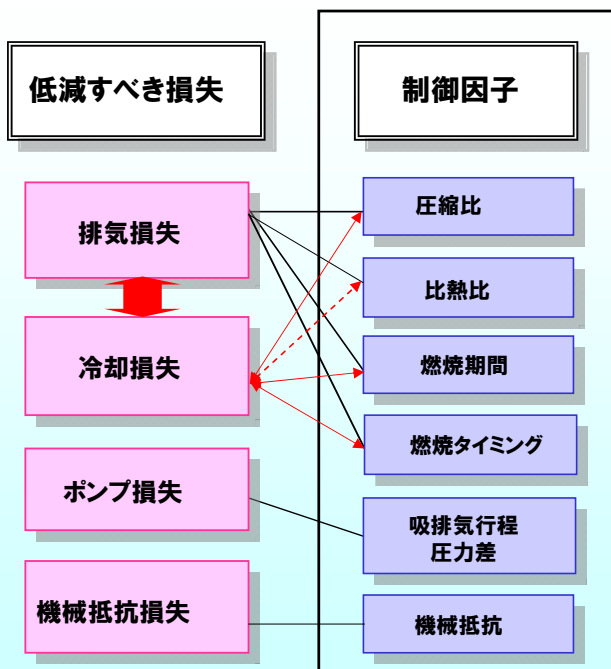
## 制御可能な因子



効率改善 = 制御可能な因子を理想に近づけていく取り組み

# 内燃機関の効率改善

## 各種技術の分類



## 商品化技術の例

- |                       |            |
|-----------------------|------------|
| 高圧縮比                  | 電子制御燃料噴射   |
| 均質リーンバーン              | 気筒内直接噴射    |
| 成層リーンバーン              | 高圧噴射       |
| 多点点火                  | 可変圧縮比      |
| swirl, tumble, squish | 可変バルブタイミング |
| 気筒数制御*                | 位相可変       |
| ミラーサイクル               | リフト可変      |
| downsizing            | 連続リフト可変    |
| Downspeeding          | Multi Air  |

全ての効率改善技術はどこかの制御手段である

# 内容

## 電動化時代に向けての内燃機関の役割

### 内燃機関の目標設定

### 内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

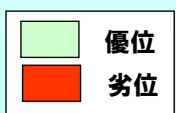
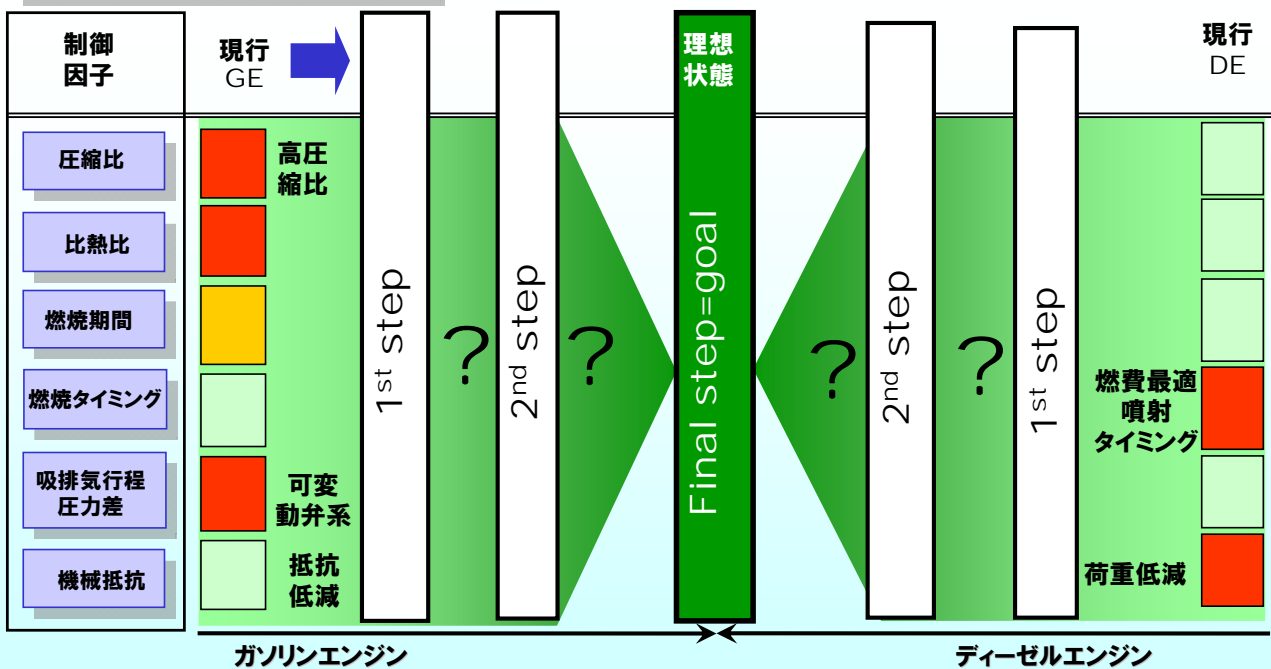
内燃機関の改善と電動デバイス

Final step

ガソリンかディーゼルか

# 1st step ガソリン

## 内燃機関進化Vision

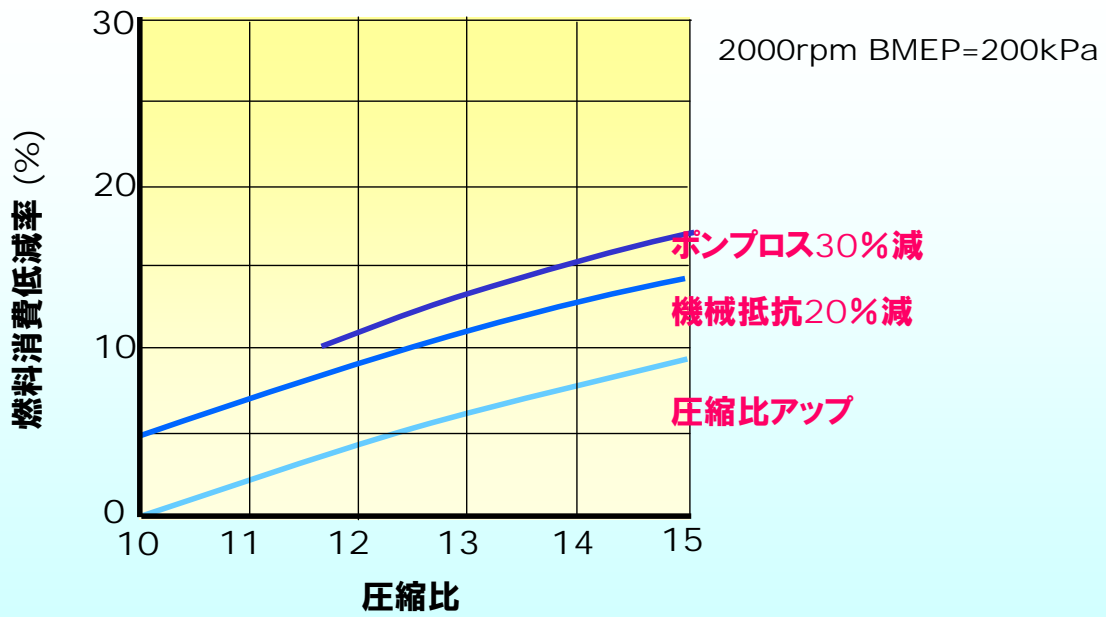


ガソリンの1st stepは対ディーゼルで劣位項目にメスを入れ、優れているところを伸ばす



# 1st step ガソリン

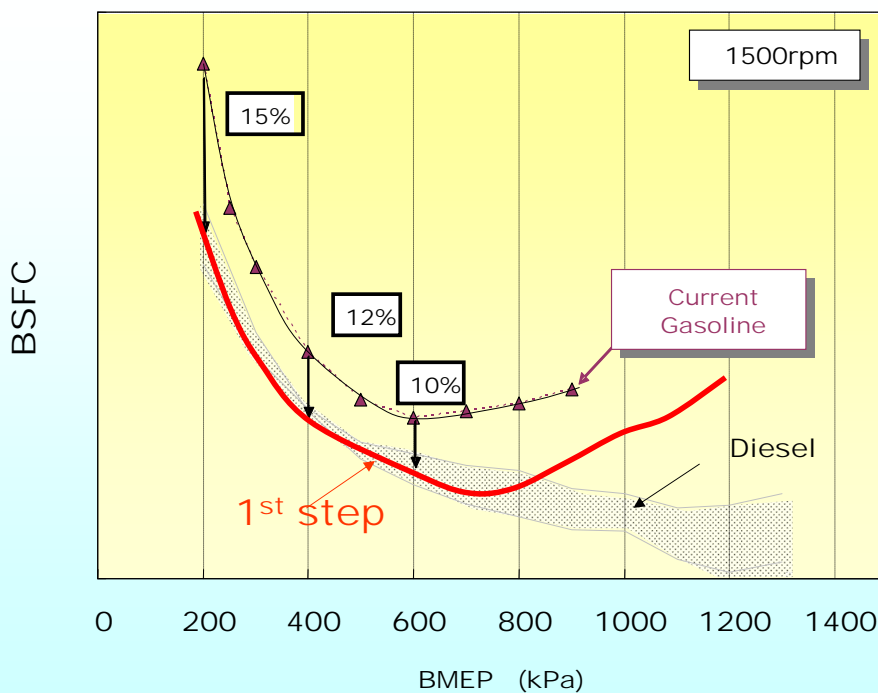
1st step; 圧縮比アップ、機械抵抗&ポンプロス低減



ディーゼルに負けているところ(圧縮比、ポンプロス)にメスを入れ、勝っているところ(機械抵抗)を伸ばせば改善の余地大

# 1st step ガソリン

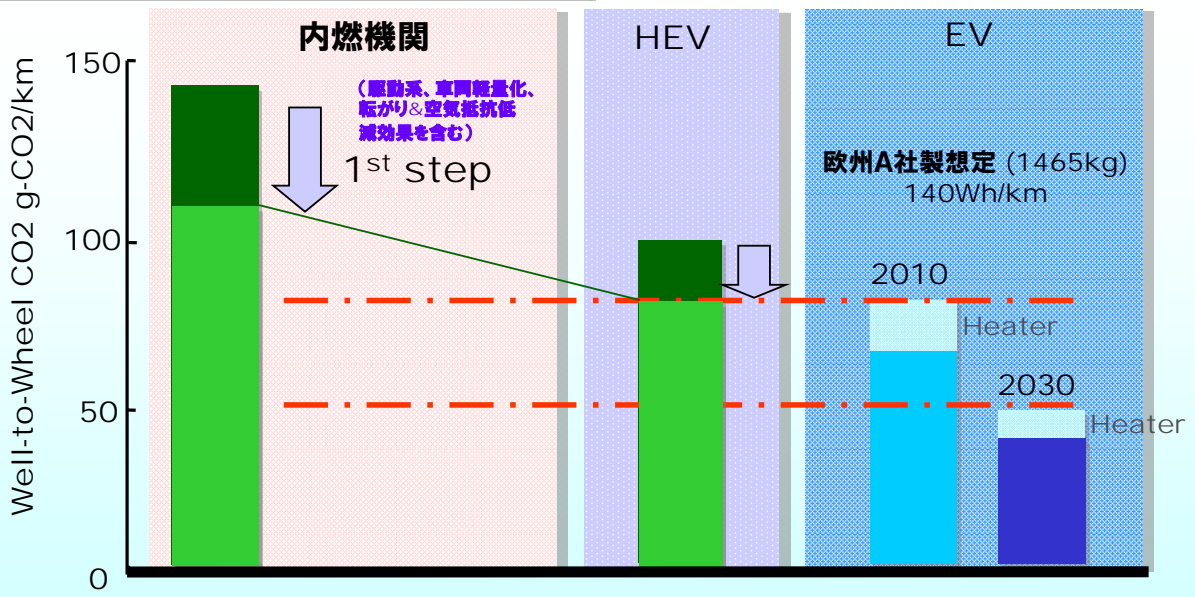
燃費性能



現行エンジンから燃費率で10-15%改善

# 1st step ガソリン

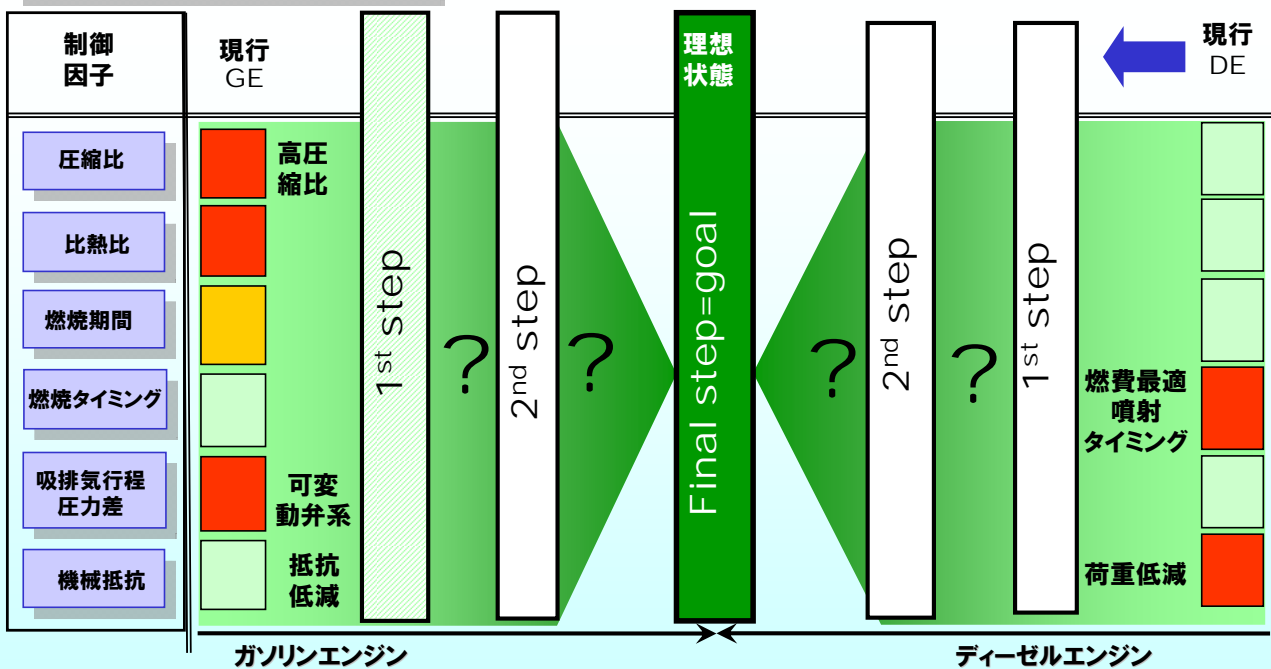
## 1st stepの達成度



1st step ; 内燃機関と車両改善でマイルドハイブリッド並みの燃費 HEV=現行EV

# 1st step ディーゼル

## 内燃機関進化Vision

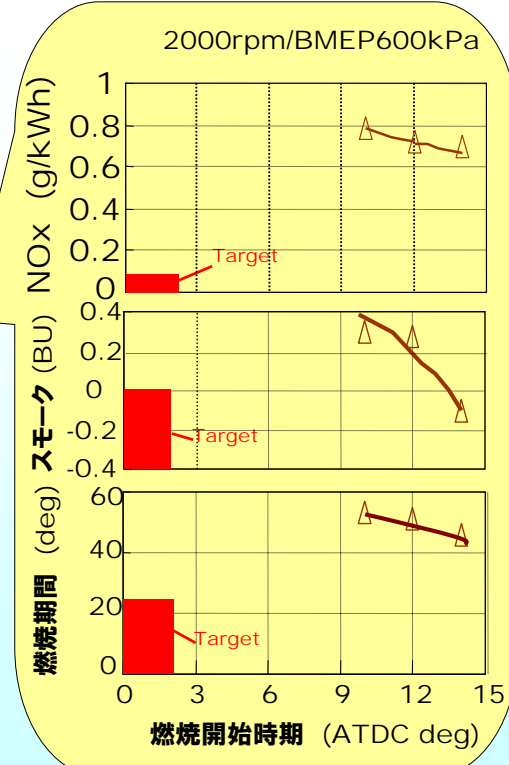
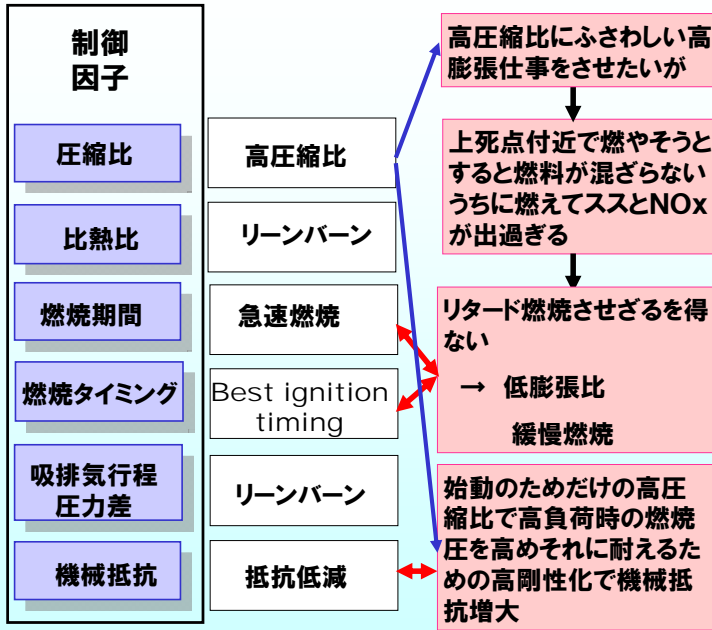


優位  
 劣位

ディーゼルの1st stepは対ガソリンで劣位項目(燃焼タイミング、機械抵抗)にメスを入れる

# 1st step ディーゼル

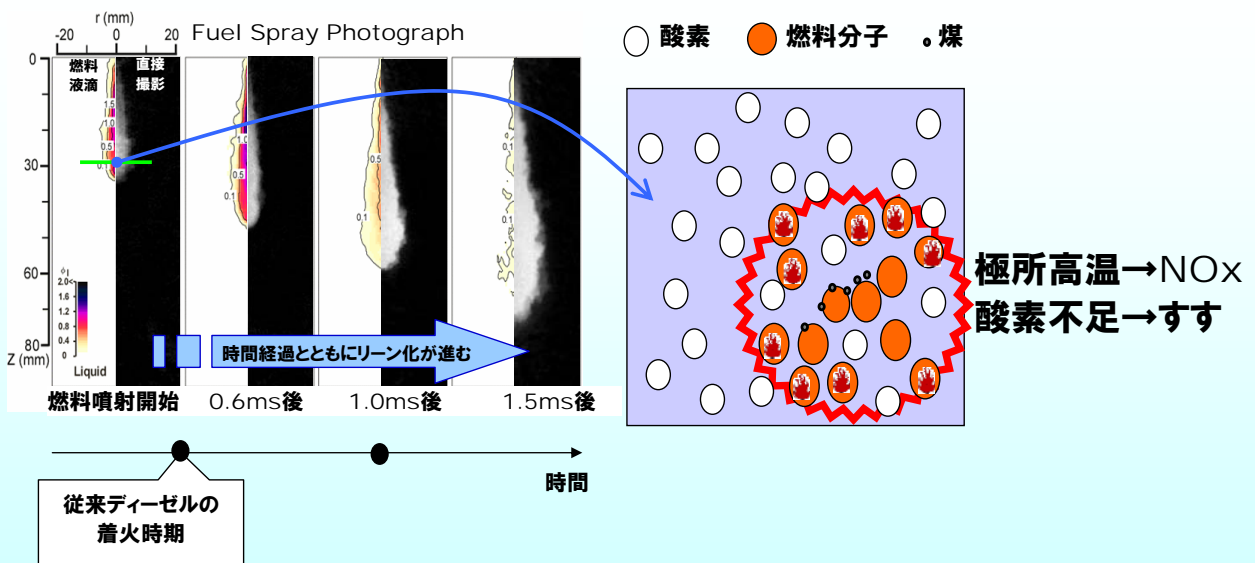
## 今ディーゼルエンジンが抱える制約



ディーゼルが対ガソリンで劣位な項目は高圧縮比によってもたらされている

# 1st step ディーゼル

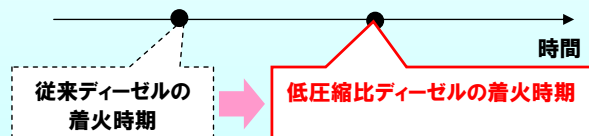
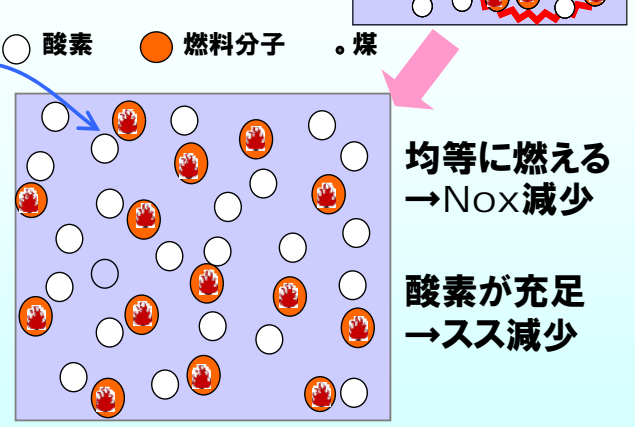
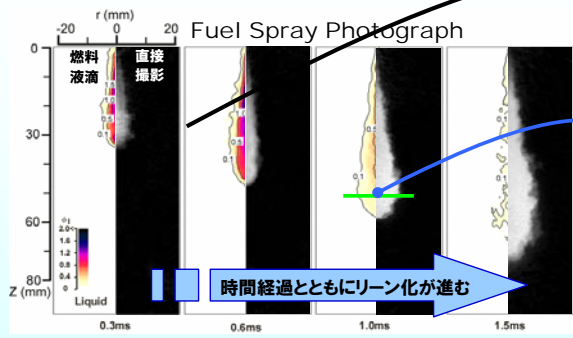
## 従来ディーゼル燃焼



ディーゼルは圧縮比が高く燃料も着火しやすいので、燃料が十分混ざる前に着火する。その結果、NOxやススが多く排出される。

# 1st step ディーゼル

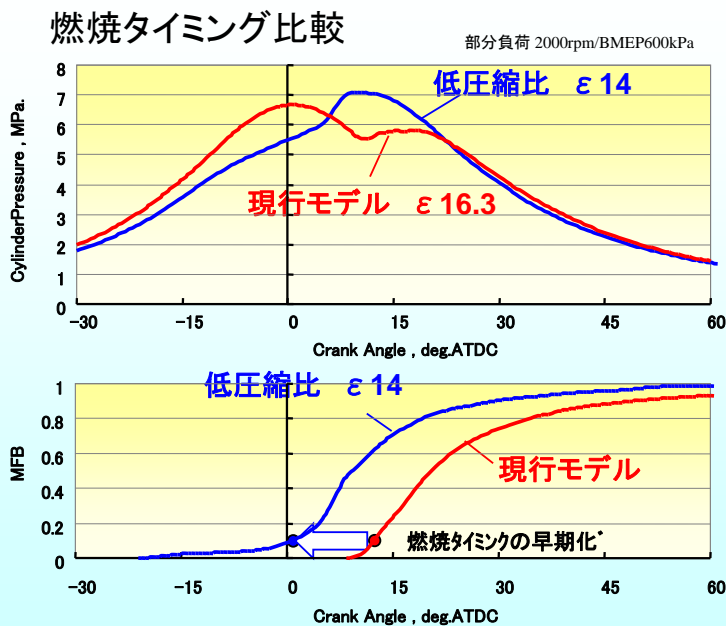
## 着火する前に十分混ざると



燃烧効率改善、Noxやススを低減させるには燃料がよく混ざるまで着火しないようにする必要あり=低圧縮比

# 1st step ディーゼル

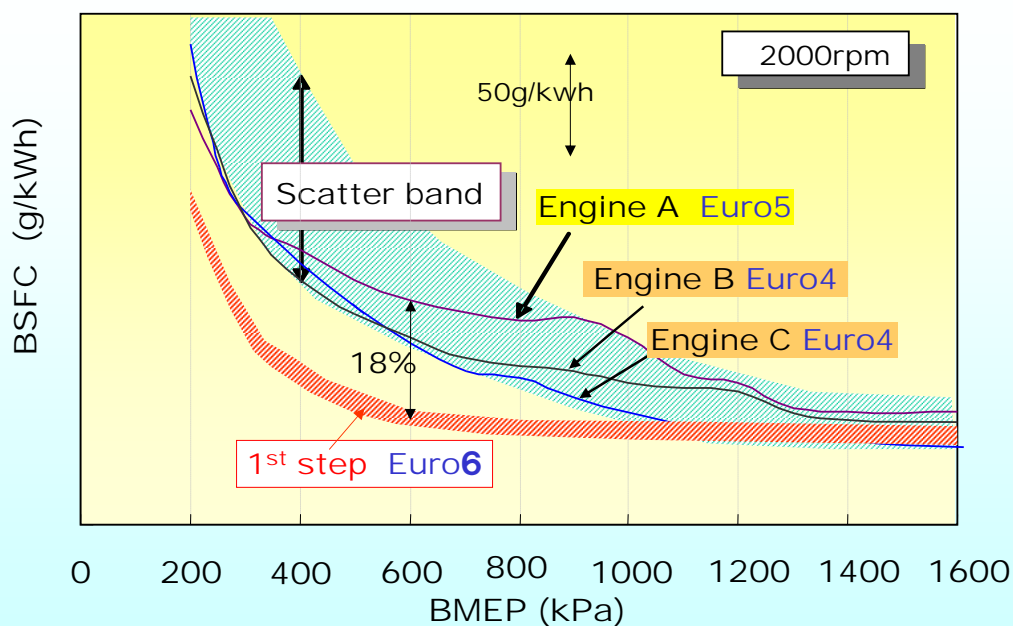
## 低圧縮比で着火抑制すると



ススやNoxを抑えた上で上死点付近で燃やすことができる=高膨張比燃焼

## 1st step      ディーゼル

低圧縮比で着火抑制すると



より厳しい排ガス規制に対応しても従来エンジンより15-20%燃費改善  
(NEDCモードならストロングハイブリッド並み)

25

## 内容

**電動化時代に向けての内燃機関の役割**

**内燃機関の目標設定**

**内燃機関の効率改善**

*1st step*

*2nd step*

**内燃機関の改善と電動デバイス**

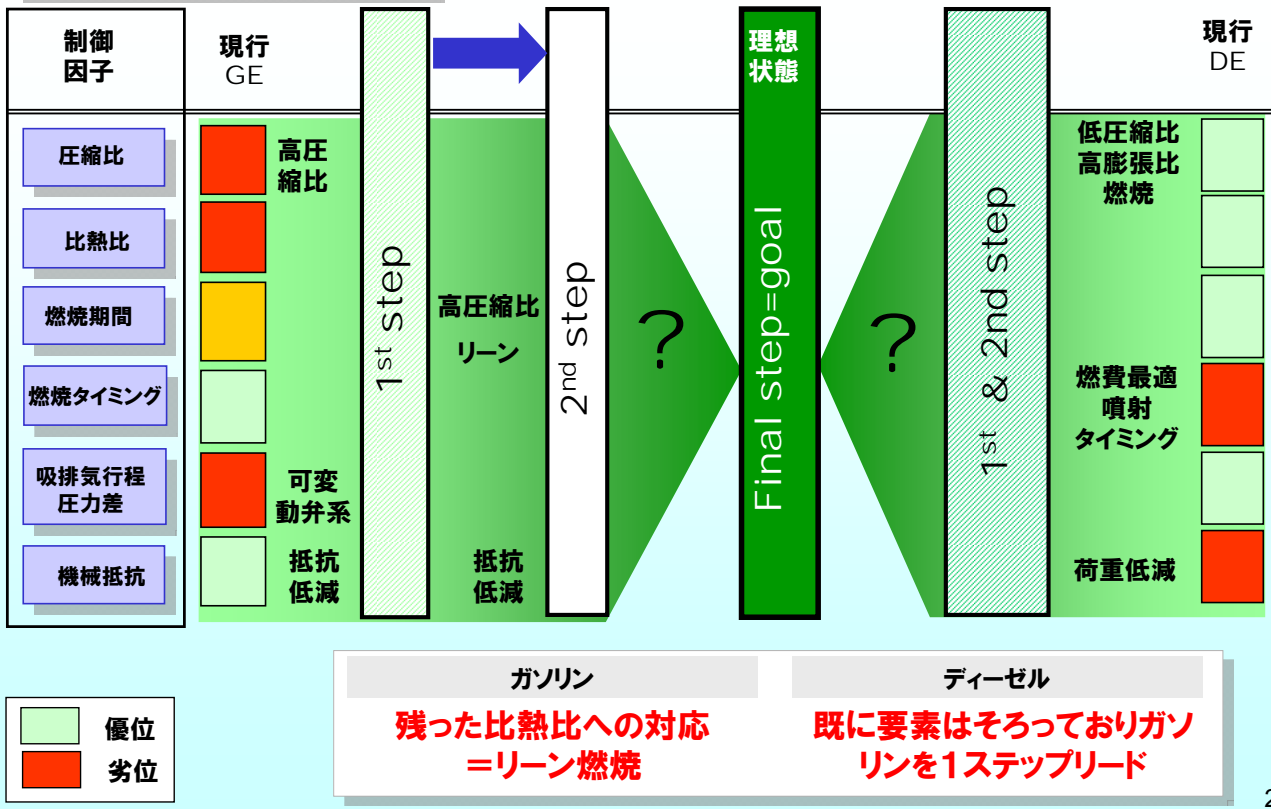
*Final step*

**ガソリンかディーゼルか**

26

# 2nd step

## 内燃機関進化Vision

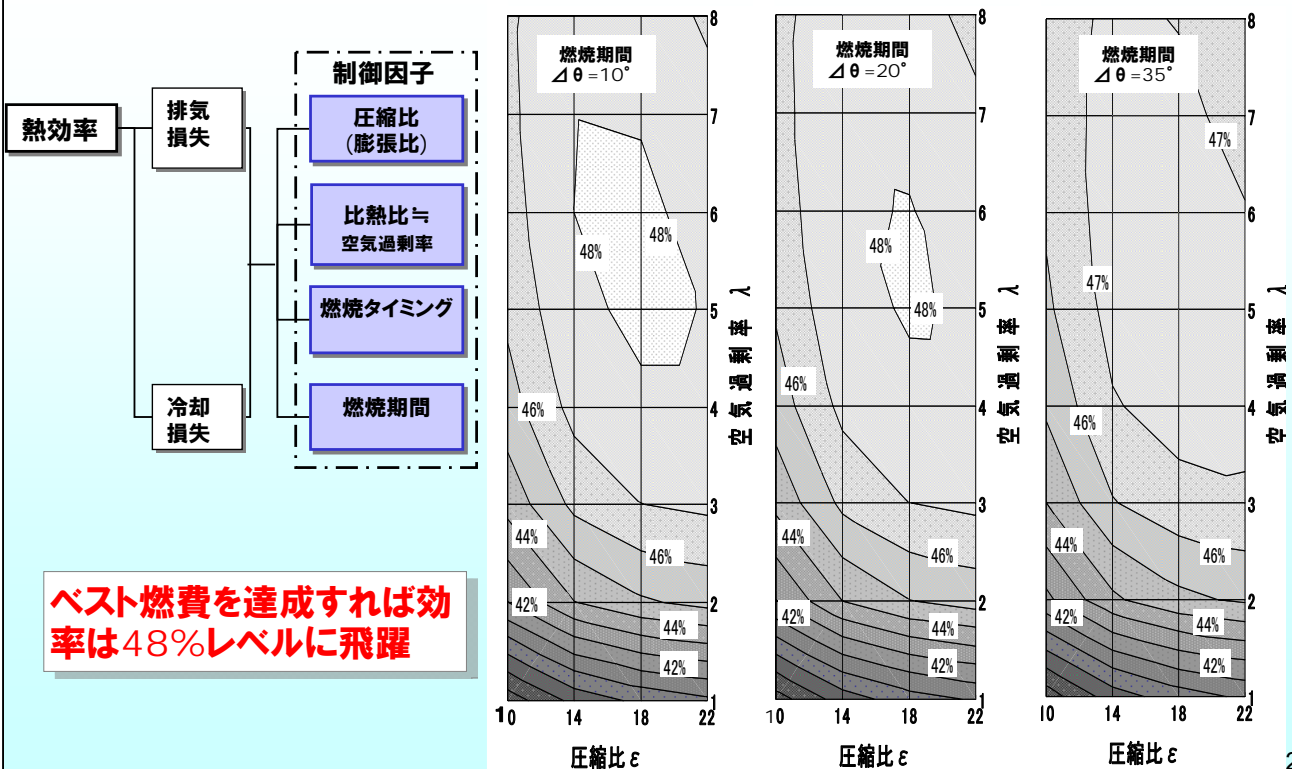


# 2nd step

## 空気過剰率と圧縮比の最適化

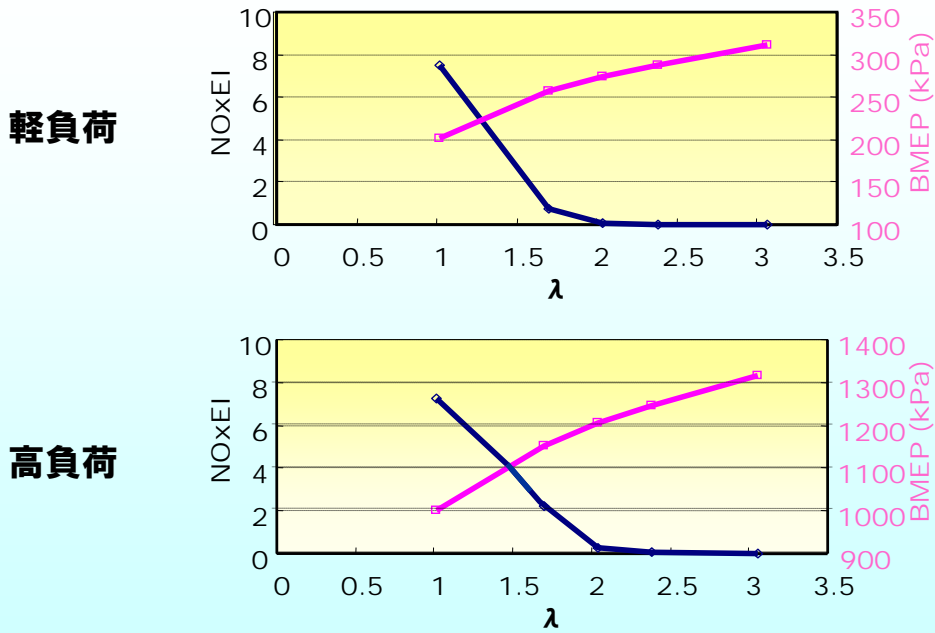
点火時期=BEST

(Ne=2000rpm / IMEP=200kPa)



## 2nd step

Nox後処理を不要にするには

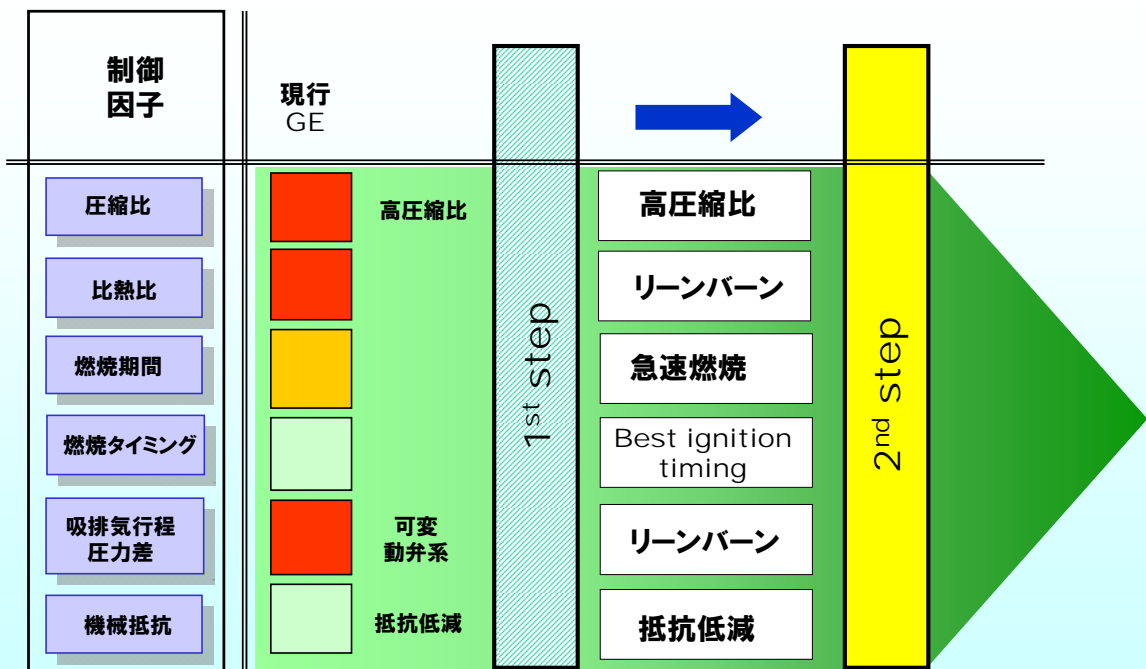


$\lambda > 2$ にすればNoxはでない

29

## 2nd step

2nd stepの要件



HCCIは要件を満たすか？

30

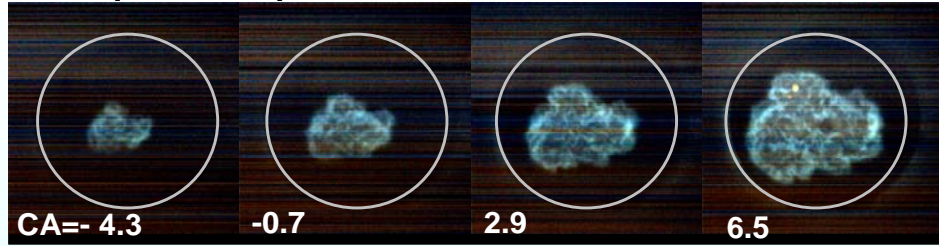


# 2nd step

## HCCIの適合性

### ■SI (火花点火) 燃焼

750rpm,  $\eta_v=30\%$ ,  $A/F=14.7$



高圧縮比

リーンバーン

急速燃焼

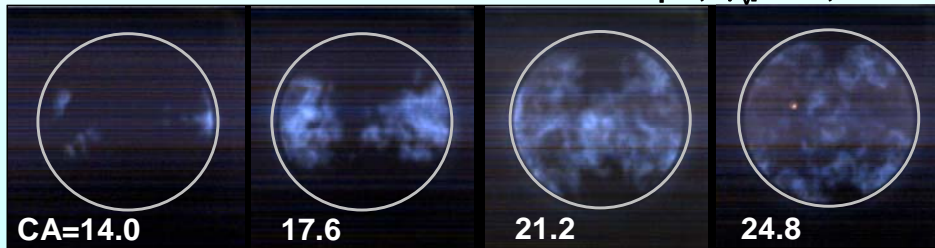
Best ignition timing

リーンバーン

抵抗低減

### ■HCCI (圧縮自着火) 燃焼

750rpm,  $\eta_v=70\%$ ,  $A/F=35$

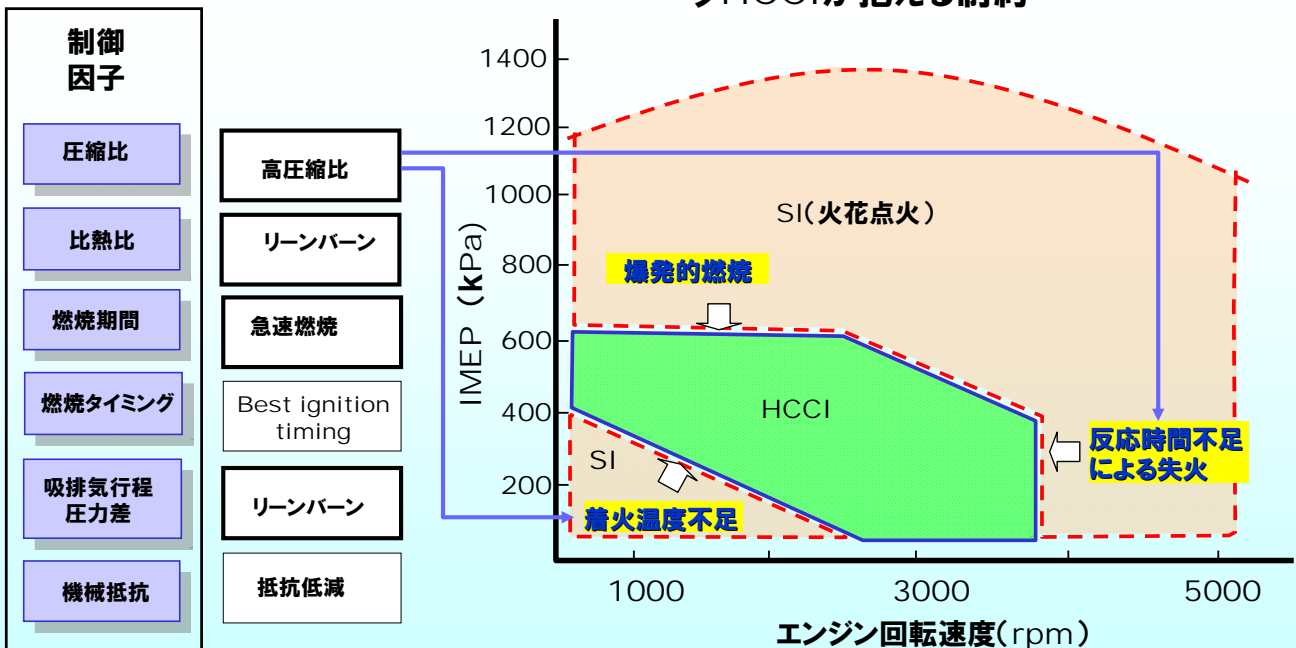


**NOxが出ないほどリーンでも急速に燃える  
自着火しにくいガソリンHCCIには高圧縮比は好都合**

# 2nd step

## HCCIの適合性

### 今HCCIが抱える制約

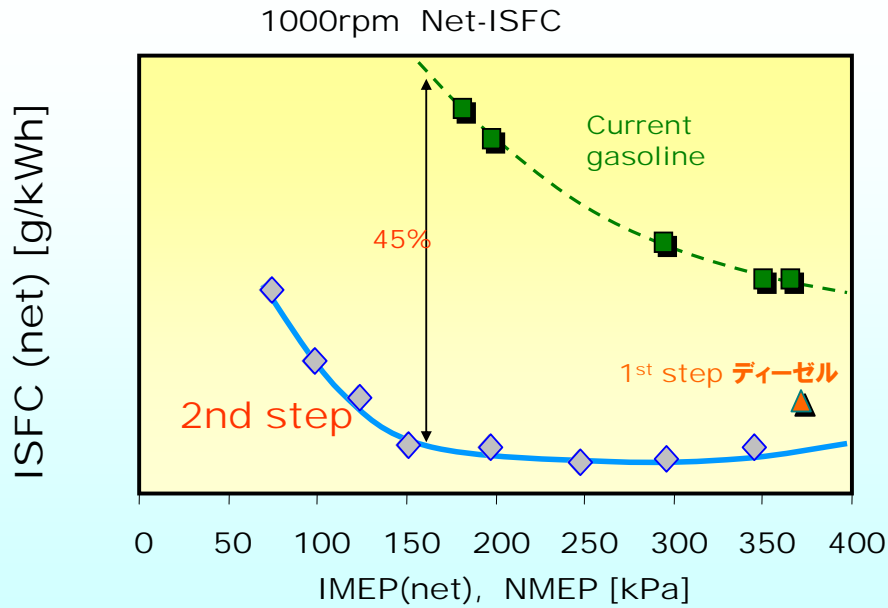


**高圧縮比は着火温度不足、反応時間不足を補うのに好都合  
爆発的燃焼はより厳しくなるが・・・**



## 2nd step

### HCCIの適合性

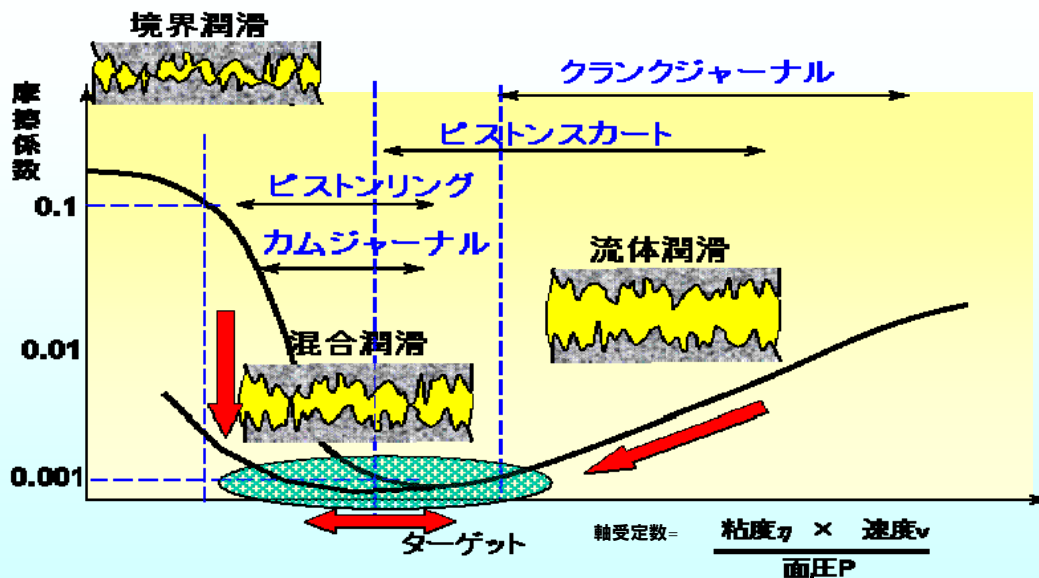


着火のための高温を効率的に実現できれば軽負荷ISFCは従来エンジンから45%改善

33

## 2nd step

### 機械抵抗低減の余地はまだまだあるか？

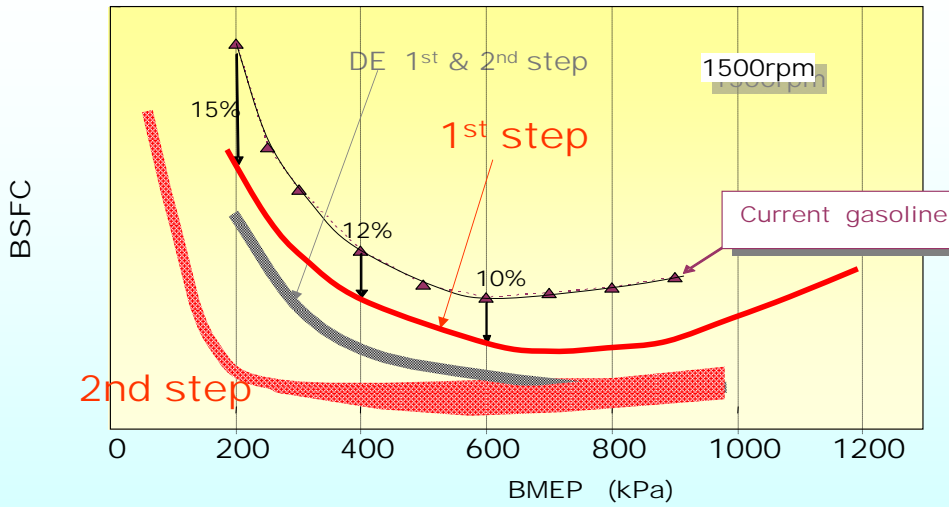


最小値を目指せばまだ半減できる部位はたくさんある

34

# 2nd step

## 燃費性能

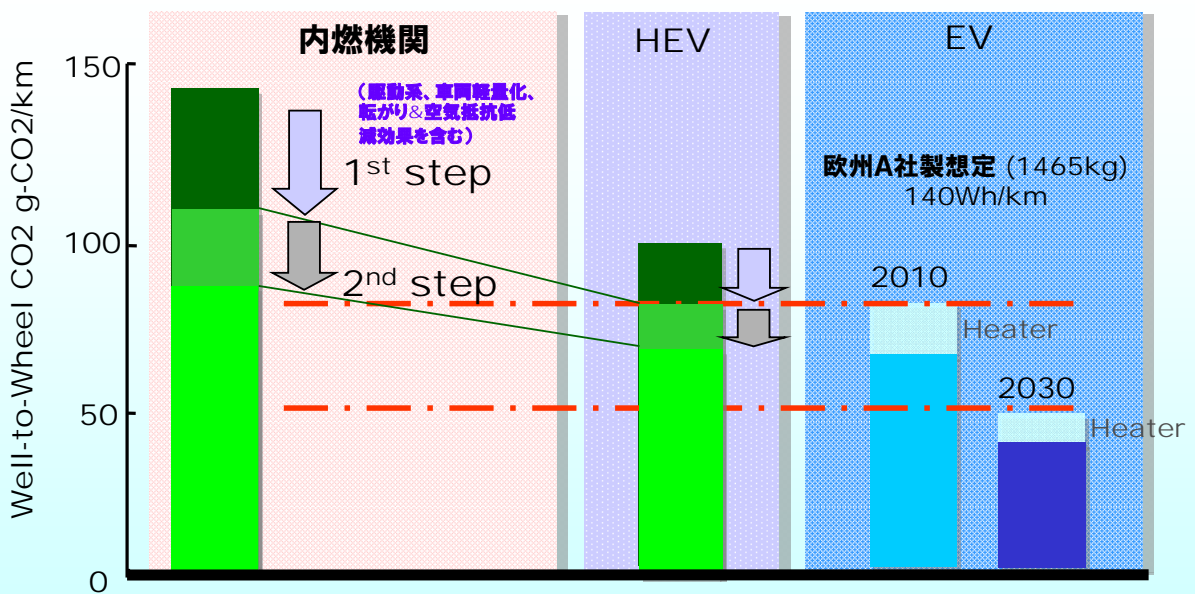


軽負荷域の改善は1st stepを大きく上回る

さらにBest BSFC領域が大幅に軽負荷まで伸びてくることで電気デバイスへの要求も軽減できる

# 2nd step

## 2nd step の達成度



1st step ; 内燃機関と車両改善でマイルドハイブリッド並みの燃費

HEV=現行EV

2nd step ; ストロングハイブリッド並みの燃費(現行EVのCO2レベル)

## 電動化時代に向けての内燃機関の役割

### 内燃機関の目標設定

### 内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

### 内燃機関の改善と電動デバイス

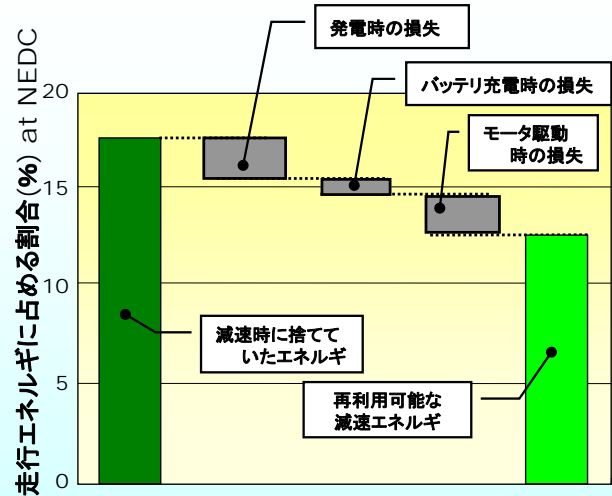
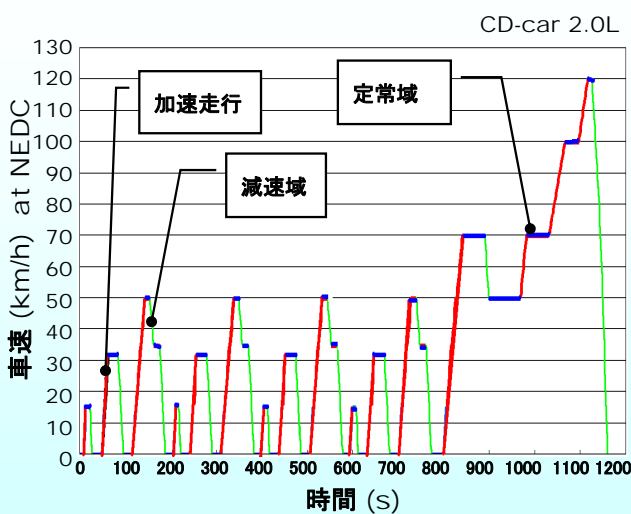
Final step

ガソリンかディーゼルか

## 2nd step 内燃機関の改善と電動デバイス

### 内燃機関の改善と電動デバイス

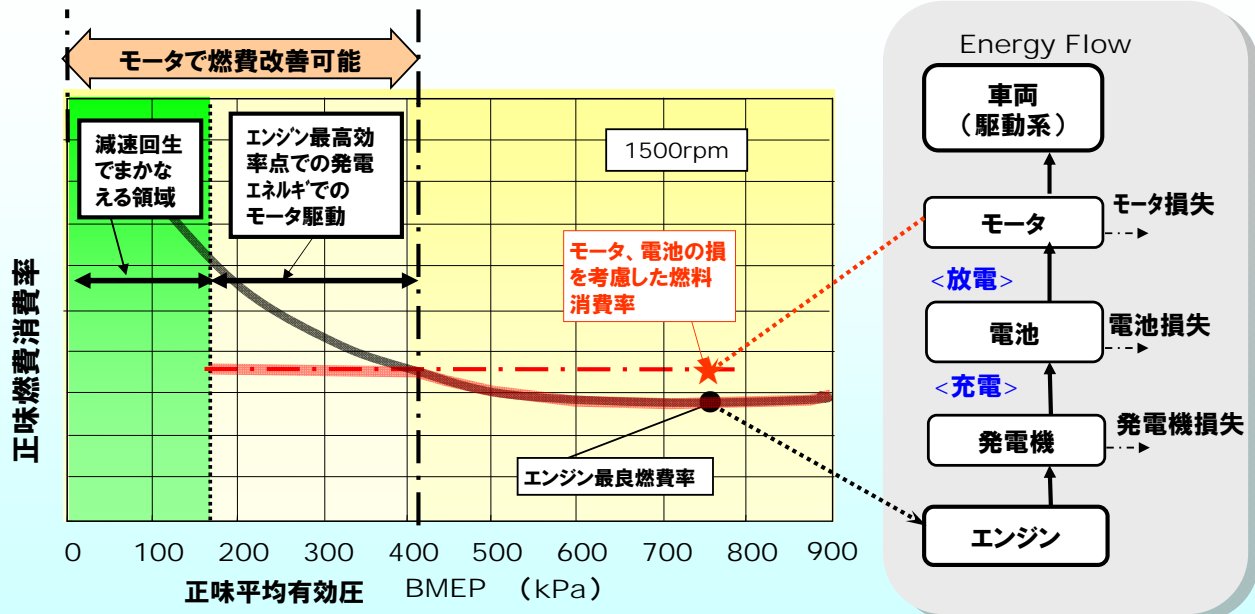
#### 減速エネルギー回生



- ・ 減速時にブレーキで捨てていたエネルギーはモード走行(NEDC)に必要なエネルギーの約18%。
- ・ これからモータ発電→バッテリー充電→モータ駆動の各損失を差し引いた約13%が再利用可能。
- ・ 残りの87%のエネルギーはエンジン駆動によって発生せざるを得ない。

## 2nd step 内燃機関の改善と電動デバイス

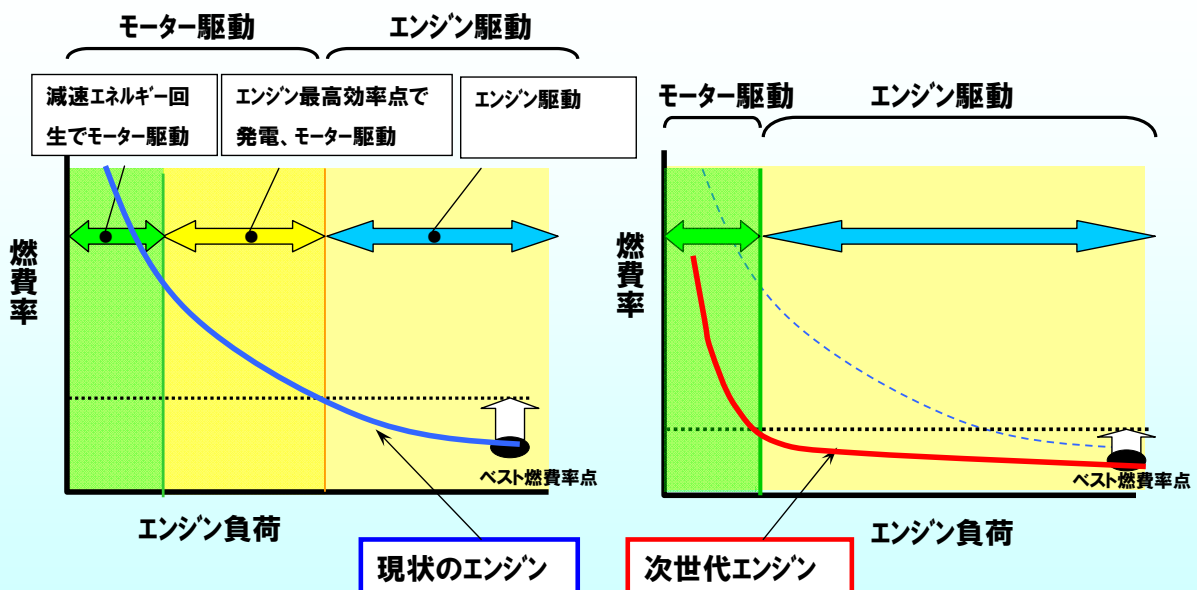
### エンジン燃費率とモータ出力要求



現行エンジンは中負荷域から燃費率が大きく悪化するため、エンジンで発電してモータ駆動の方が燃費改善する領域が広い=要求モータ出力大。

## 2nd step 内燃機関の改善と電動デバイス

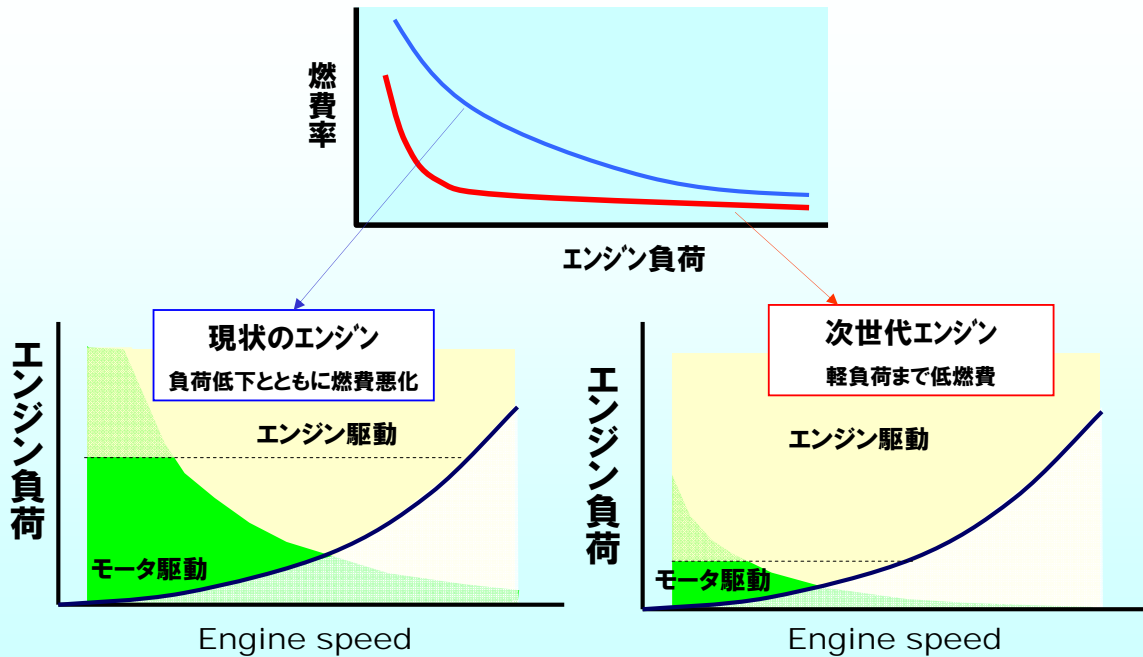
### エンジン燃費率が軽負荷までよくなればモータ出力要求はどうか



エンジンの燃費を改善すれば、電動デバイスは小さくて済む

## 2nd step 内燃機関の改善と電動デバイス

### エンジンの熱効率と電動デバイスへの要求

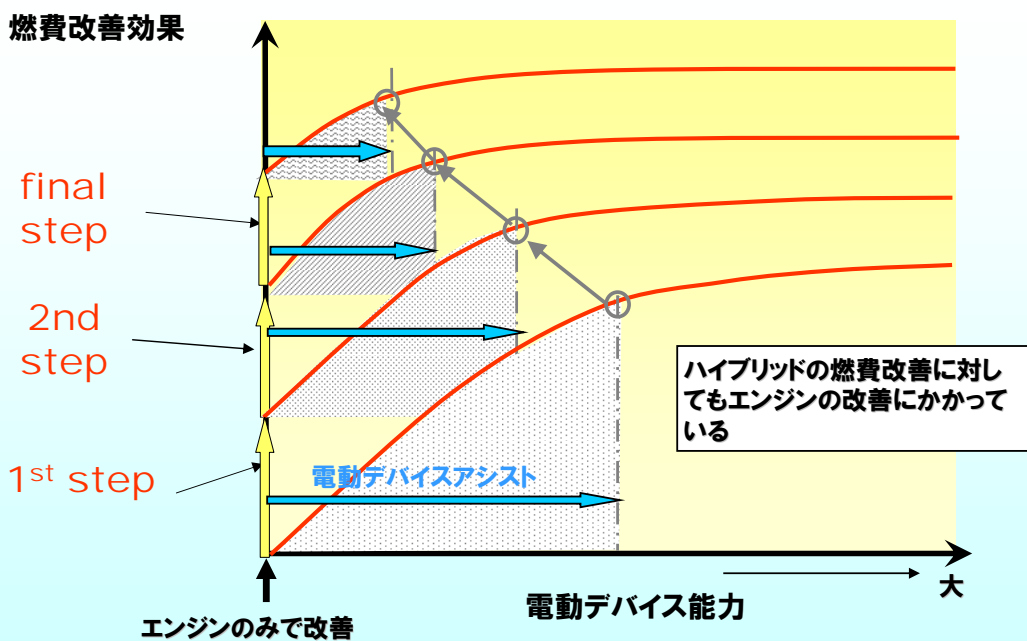


エンジンの燃費を改善すれば、電動デバイスは小さくて済む

41

## 2nd step 内燃機関の改善と電動デバイス

### エンジンの熱効率と電動デバイスへの要求



内燃機関を改善しておけばハイブリッド化した場合に燃費最適にする電動デバイス能力への要求が緩和される。

42

# 内容

## 電動化時代に向けての内燃機関の役割

### 内燃機関の目標設定

### 内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

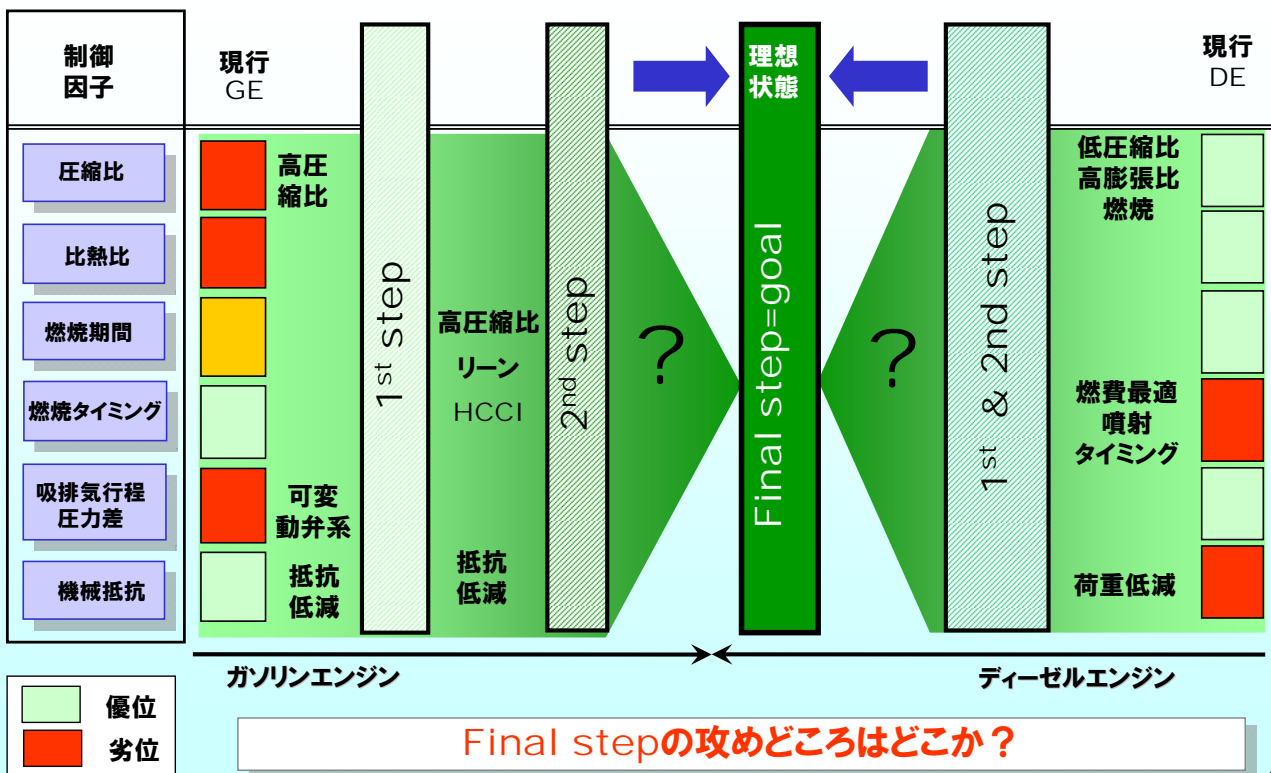
### 内燃機関の改善と電動デバイス

Final step

ガソリンかディーゼルか

# Final step

## 内燃機関進化Vision

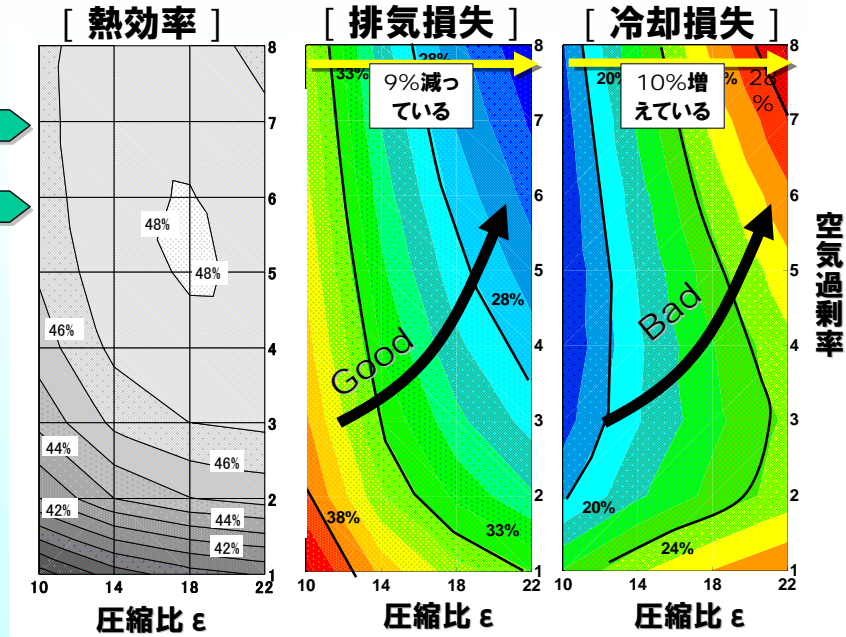
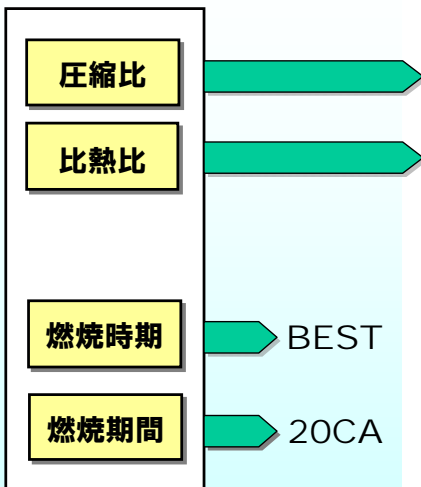


# Final step

## Final stepへの手がかかり

Ne=2000rpm / IMEP=200kPa

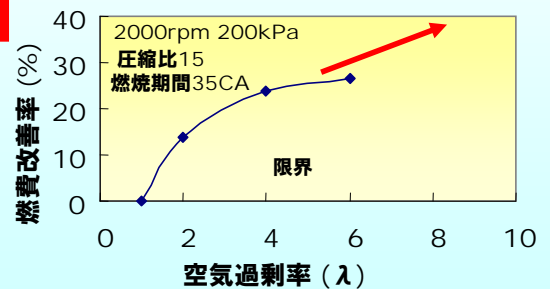
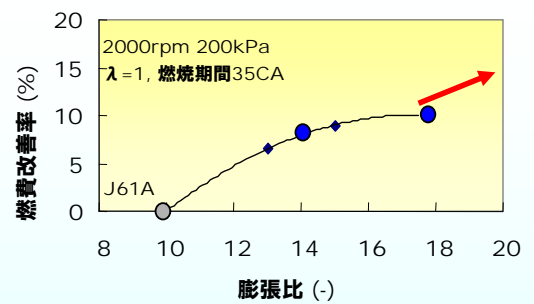
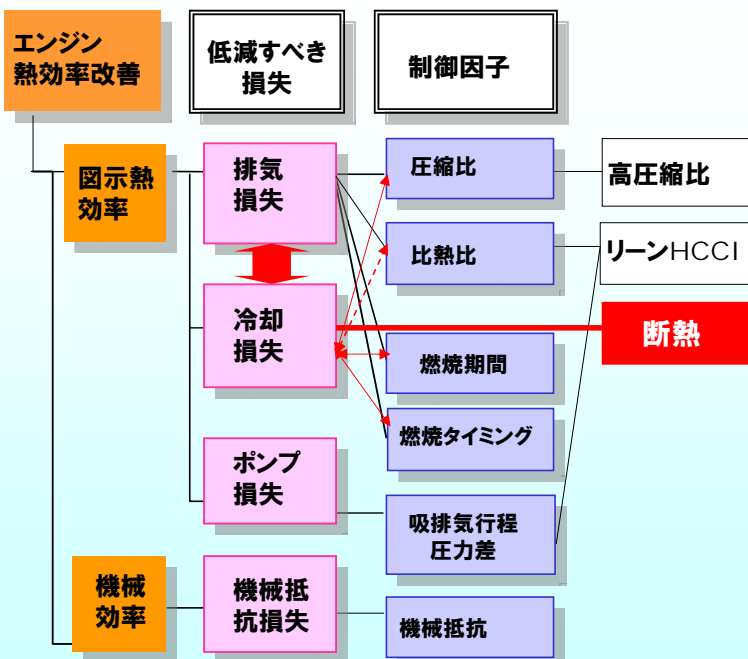
### 1次制御因子



高圧縮比化、リーン化の限界を決めているのは冷却損失

# Final step

## Final stepへの手がかかり



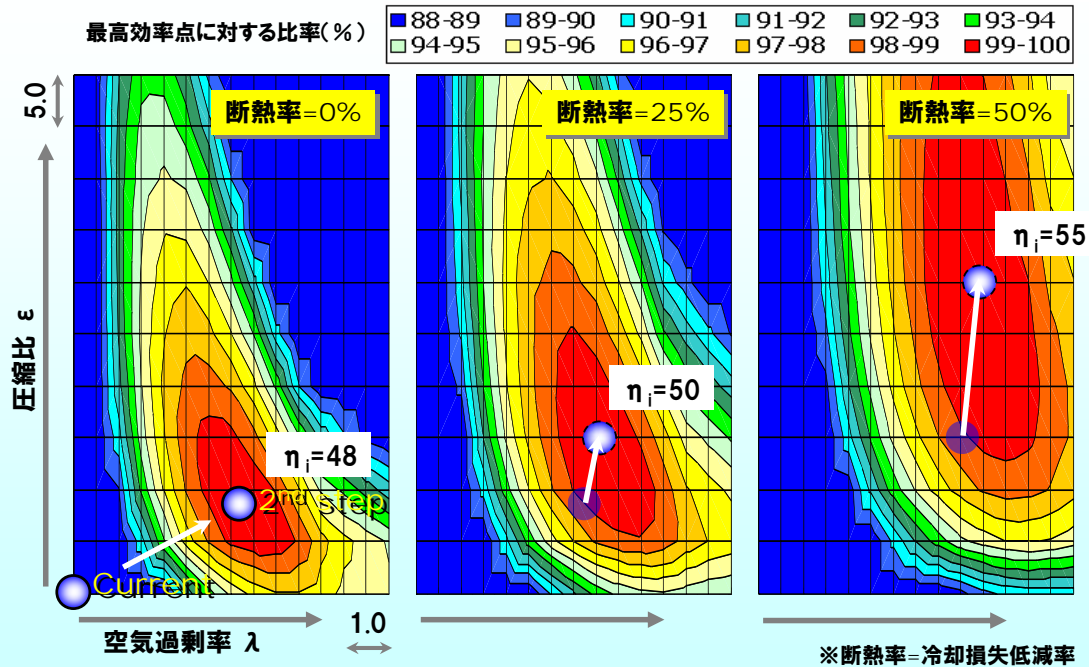
断熱して冷却損失を抑制すればより高圧縮比、よりリーン領域で効率が改善する



# Final step

## 断熱による燃費改善効果

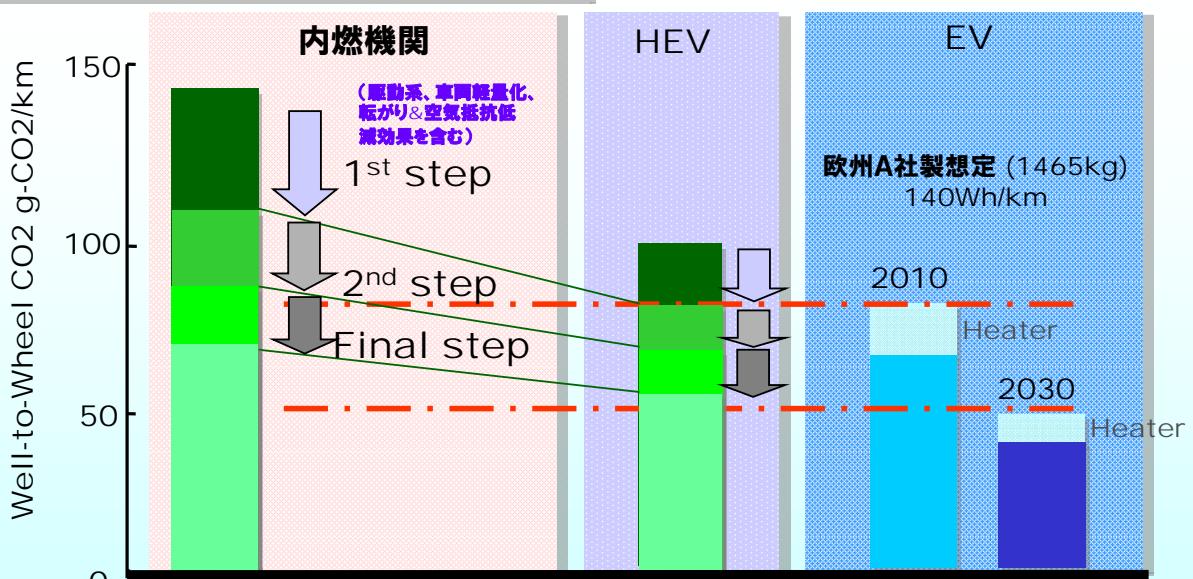
0次元燃焼計算  
2000rpm, 200kPa  
燃焼期間20deg, 点火時期BEST, 初期温度100℃



断熱率向上とともに最高効率点が高ε、高λ側へシフトしていく

# Final step

## Final stepの期待度



1st step ; 内燃機関と車両改善でマイルドハイブリッド並みの燃費  
2nd step ; ストロングハイブリッド並みの燃費( 現行EVのCO<sub>2</sub>レベル)

Final step; 2030年に1990年比CO<sub>2</sub>の80%削減を内燃機関主体の車70%  
(EV比率30%)で実現(発電CO<sub>2</sub>半減を想定)

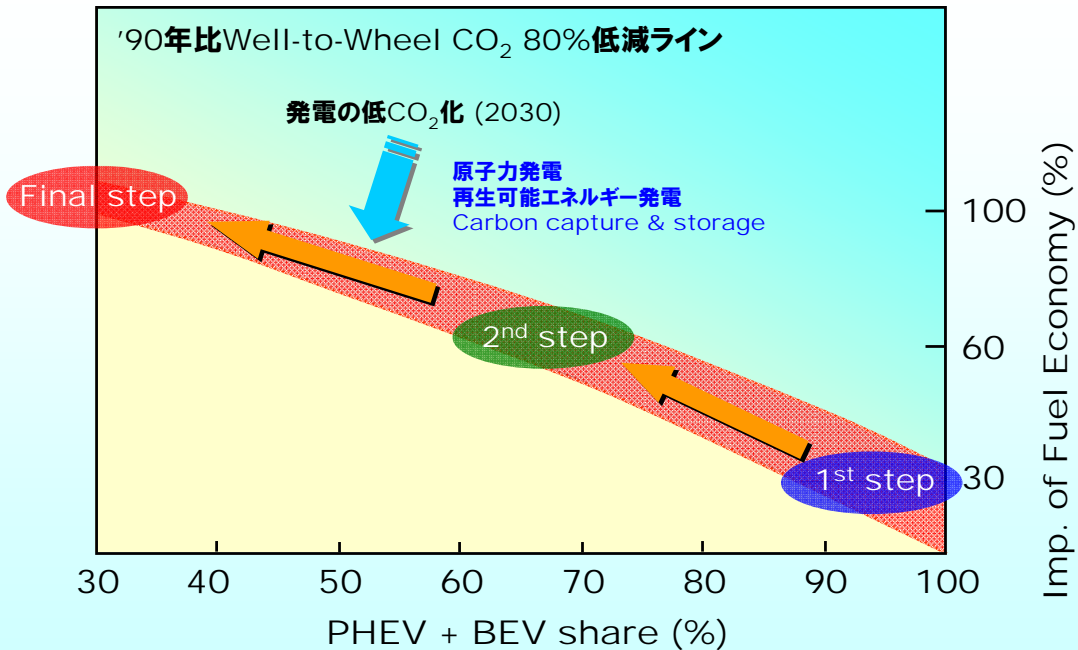


# Final step

## Well-to-Wheel CO<sub>2</sub> 80%削減シナリオ

### 前提条件

- ベース燃費=マツダCD-car相当
- BEV電費140Wh/km - PHEV電池量5kWh
- バイオ燃料約5%ブレンド - 車両系改善は未考慮



発電CO<sub>2</sub>が半減すれば電気自動車比率30%と内燃機関の効率改善(燃費2倍)で1990年比で2030年のCO<sub>2</sub>の80%削減も見える?

49

## 内容

電動化時代に向けての内燃機関の役割

内燃機関の目標設定

内燃機関の効率改善

1st step

2nd step

内燃機関の改善と電動デバイス

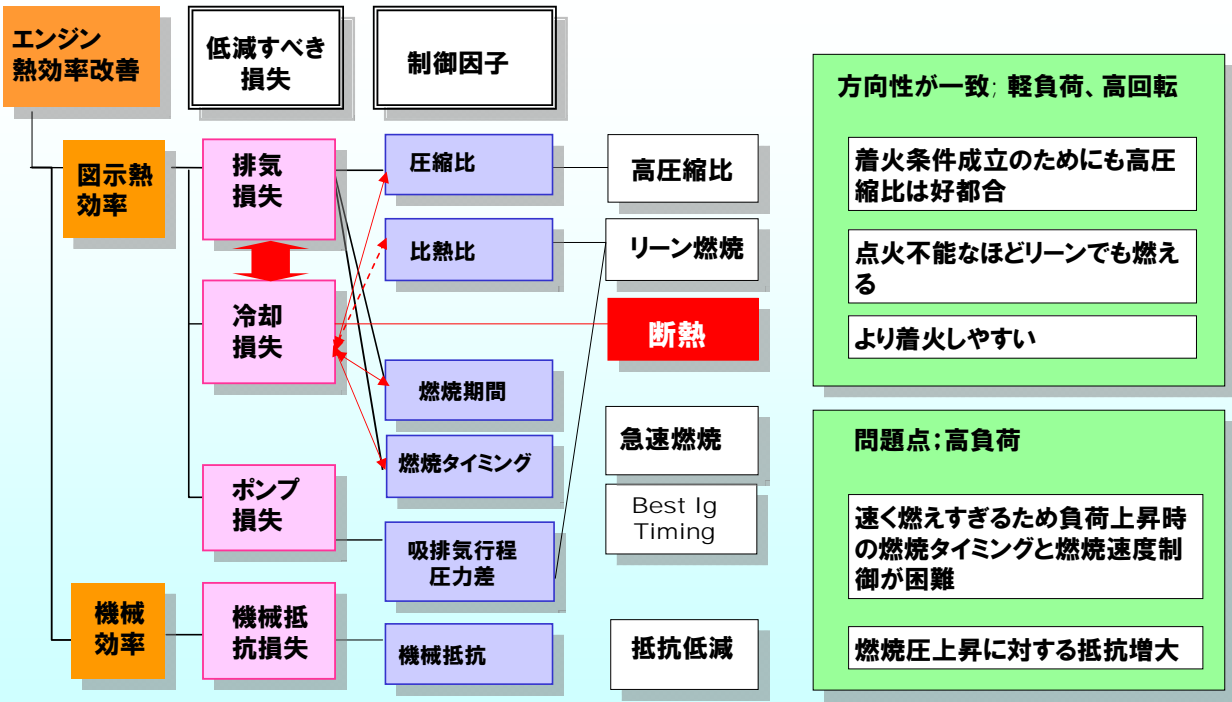
Final step

ガソリンかディーゼルか

50

# ガソリンかディーゼルか

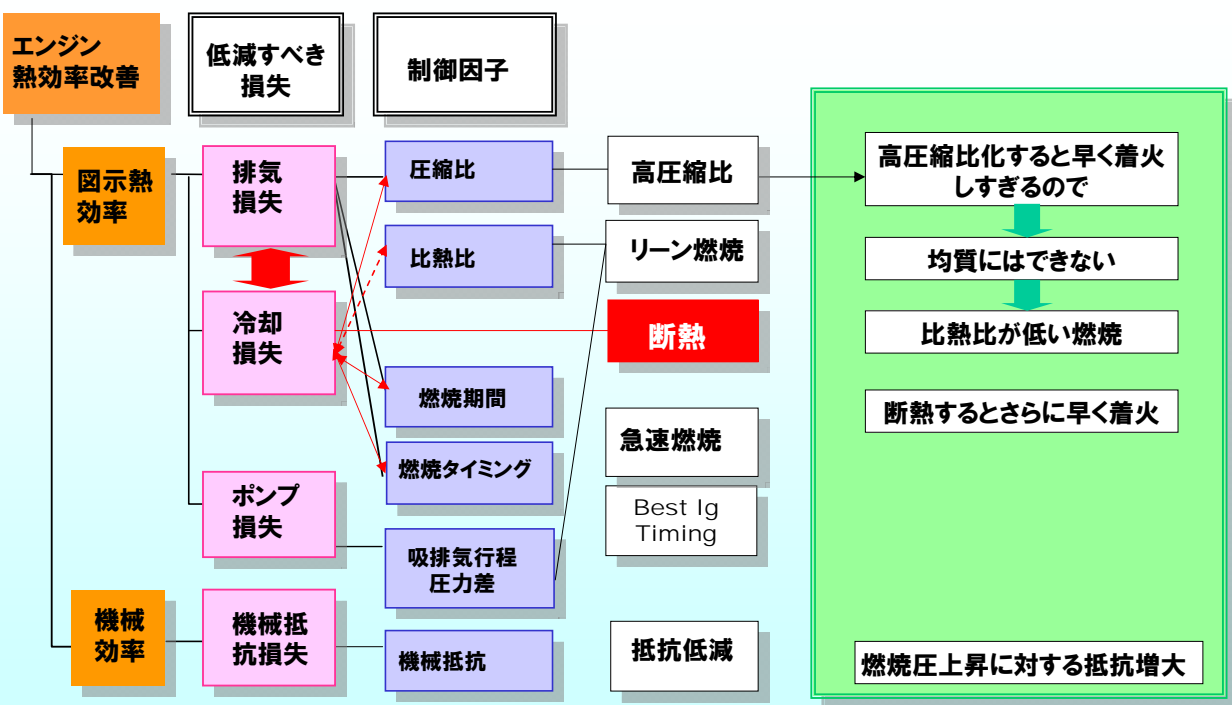
## ガソリンHCCIの将来への適合性は？



**燃焼タイミングと燃焼割合の制御が最大課題**

# ガソリンかディーゼルか

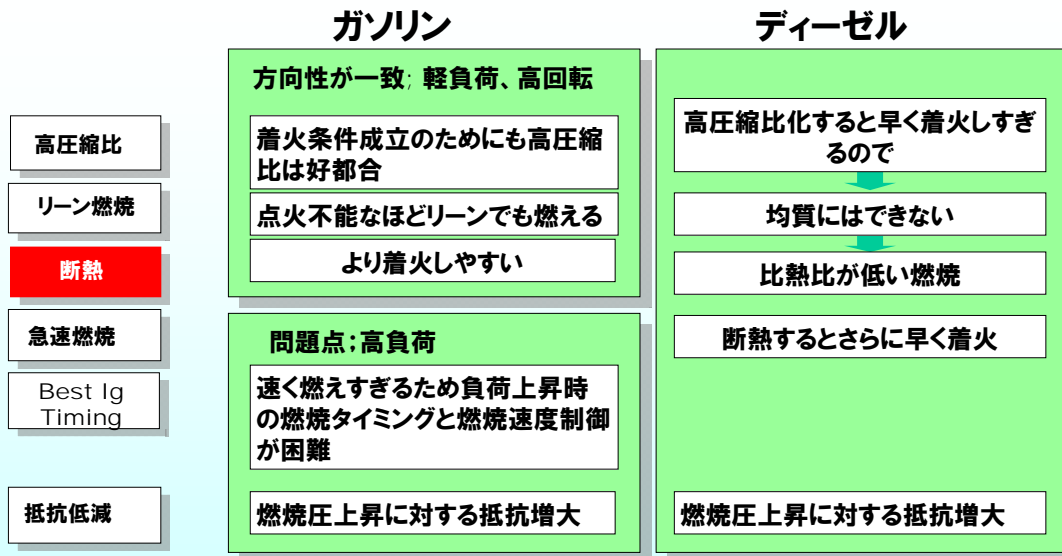
## ディーゼルエンジンの将来への適合性は？



**ミキシング時間確保、ミキシング時間短縮が最大課題**

# ガソリンかディーゼルか

## ガソリンとディーゼルはどちらが優位か？



高圧縮比、断熱で高温高圧になる

そこで自己着火しにくい燃料で燃焼タイミングと燃焼速度を制御するか、

自己着火しやすい燃料でミキシングを制御するか、どちらが扱いやすいか？