



# **SKYACTIVエンジン開発**

*SWEST16 2014/08/28*

**マツダ株式会社 人見**

## SKYACTIVを出す前のマツダの評価

- ハイブリッドも電気自動車もない環境技術に後れを取ったマツダ
- 内燃機関を重視する 持たざる者の遠吠え

## SKYACTIVを出した後のマツダの評価

- なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？
- なぜ過給ダウンサイジングをしないのか？
- なぜ今頃ディーゼルをやろうとしたのか？
- なぜ他社も大勢のエンジニアがやっているのにマツダができたのか？

## **SKYACTIV開発までの経緯**

### **技術革新**

**内燃機関の究極へのステップ**

**SKYACTIV ガソリン**

**SKYACTIV ディーゼル**

**Next Step**

### **プロセス革新**

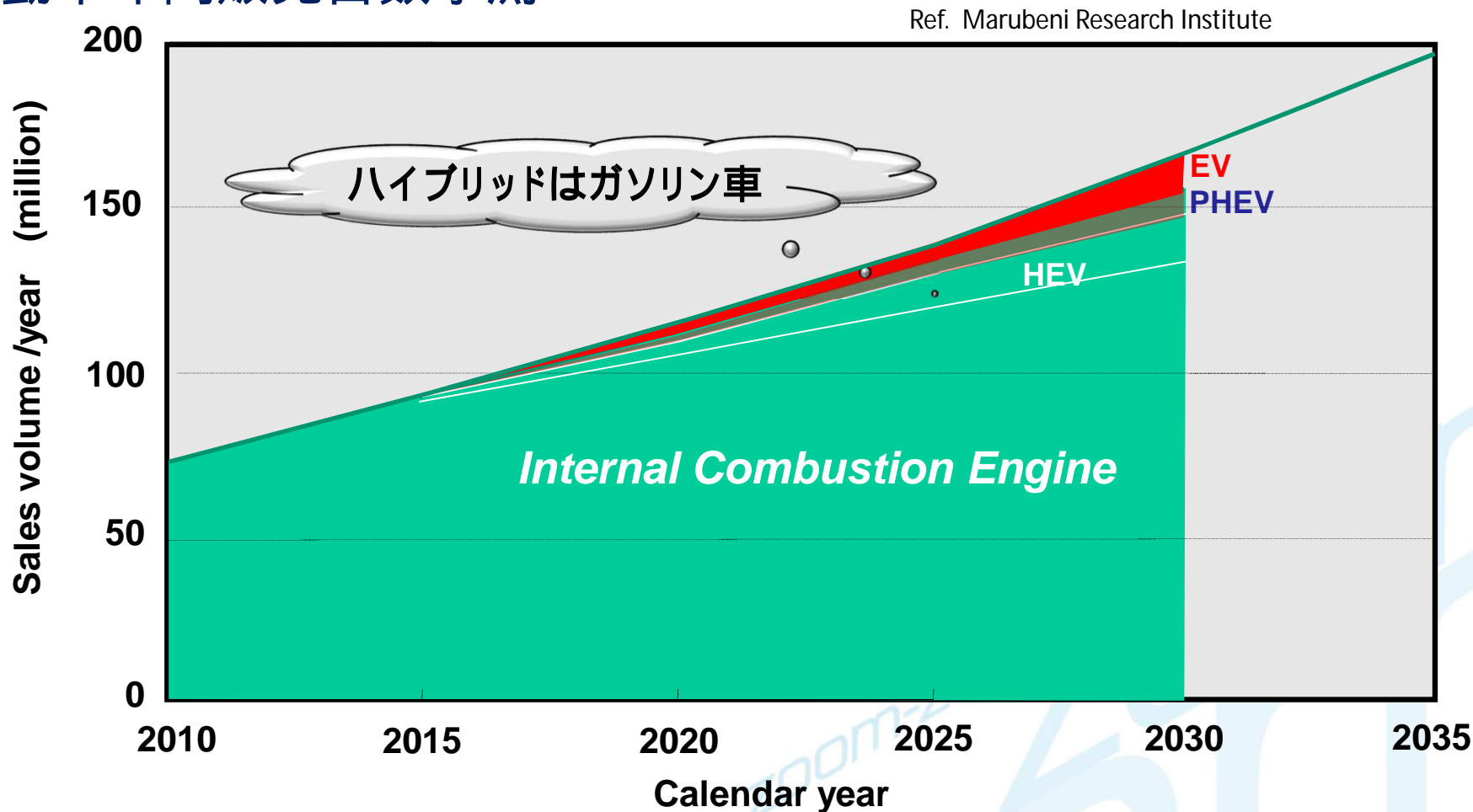
**CAE強化による開発**

**一括企画、一括開発**

# SKYACTIV開発までの経緯

## なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

### 自動車年間販売台数予測



今後増加する車のパワーソースの殆どが内燃機関  
内燃機関の改善無くして環境への貢献などあり得ない

# SKYACTIV開発までの経緯

## なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

### 2008年の発電エネルギー



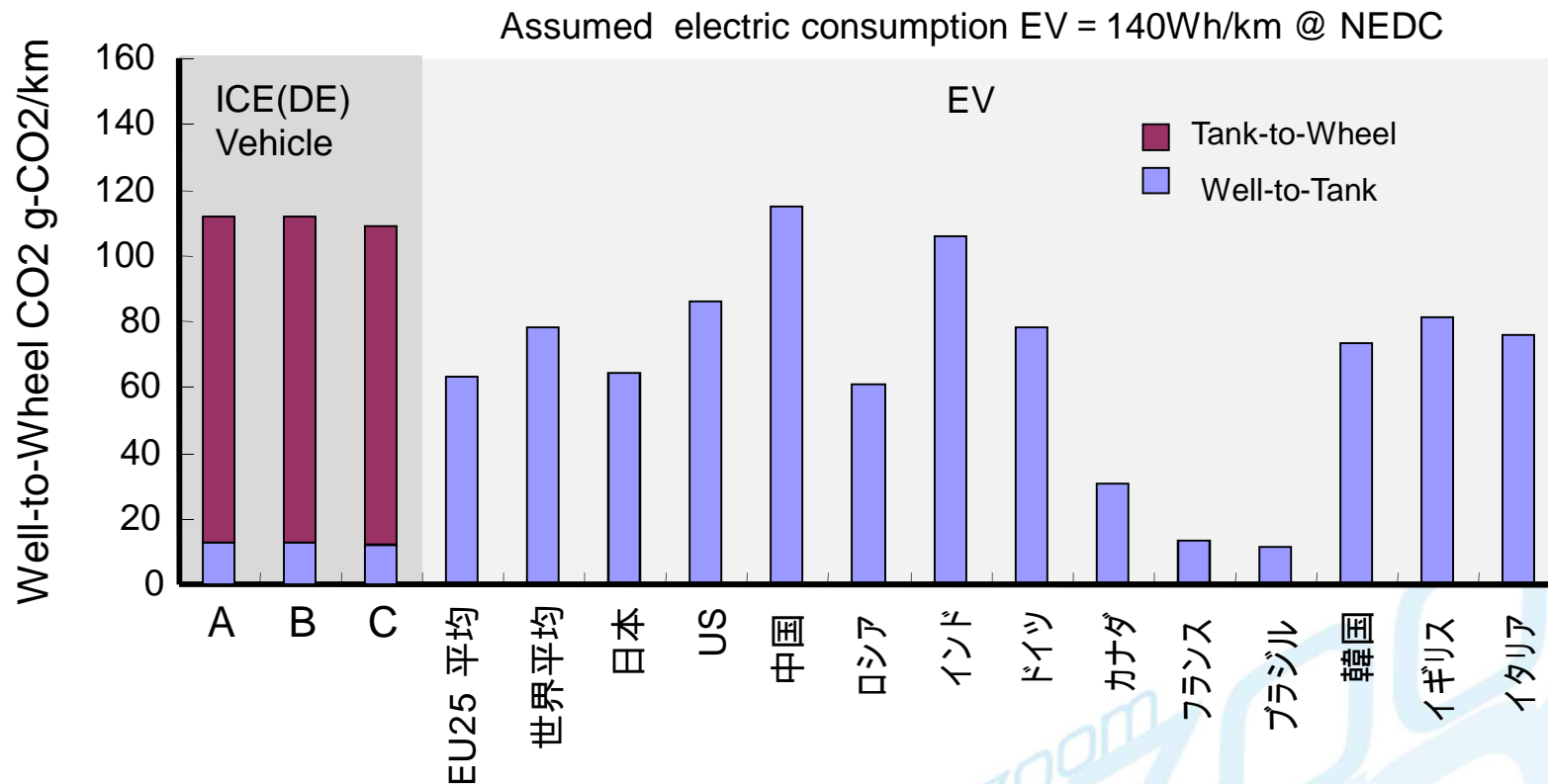
発電のためのエネルギーは大半の国でCO2を発生する火力が主力

# SKYACTIV開発までの経緯

## なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

### EVのCO<sub>2</sub>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



多くの国は電気自動車のCO<sub>2</sub>はゼロというカウントで普及を目指す为世界平均の発電方法ならCカーで2.7L/100km (37km/L)レベル

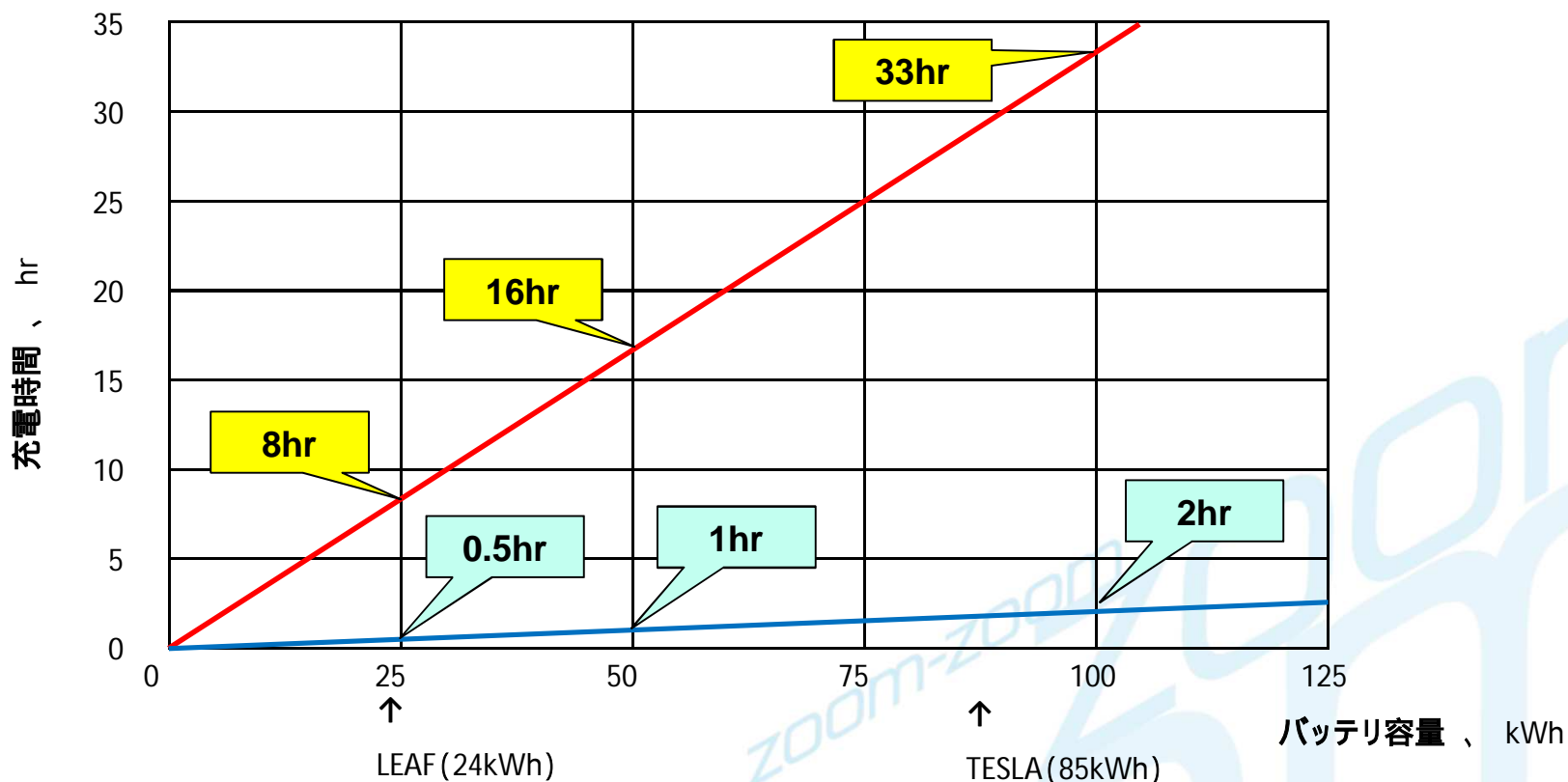
電池製造時のCO<sub>2</sub> (約120g/wh)まで見ると内燃機関で追いつくのどちらが現実的か？

# SKYACTIV開発までの経緯

## なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

### 充電時間

200V充電 … 3kW (200V×15A) 、 急速充電 … 50kW (200V×250A)

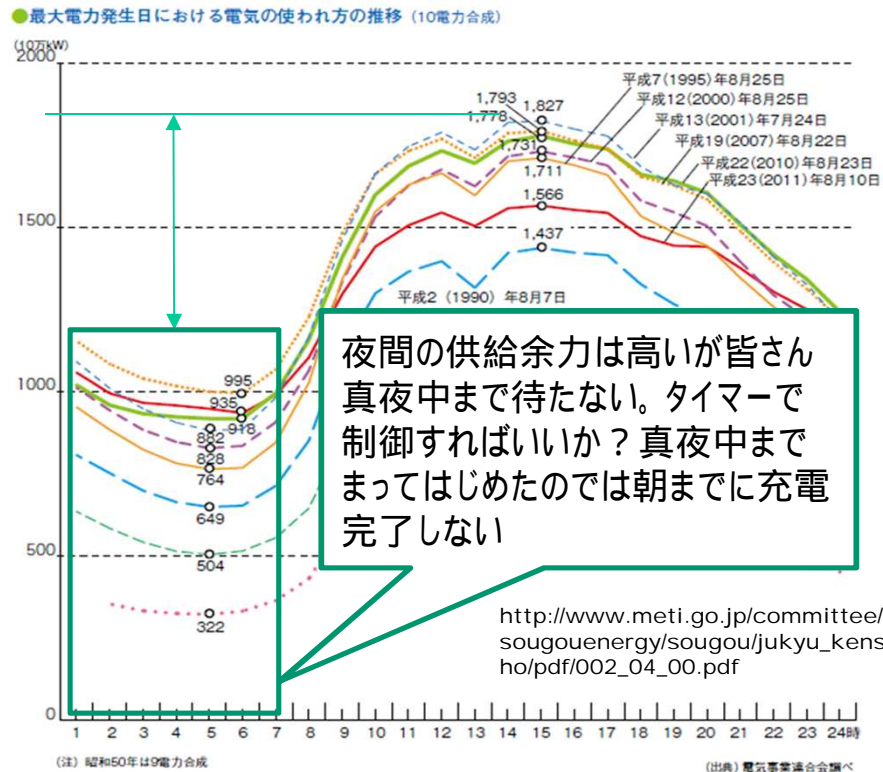
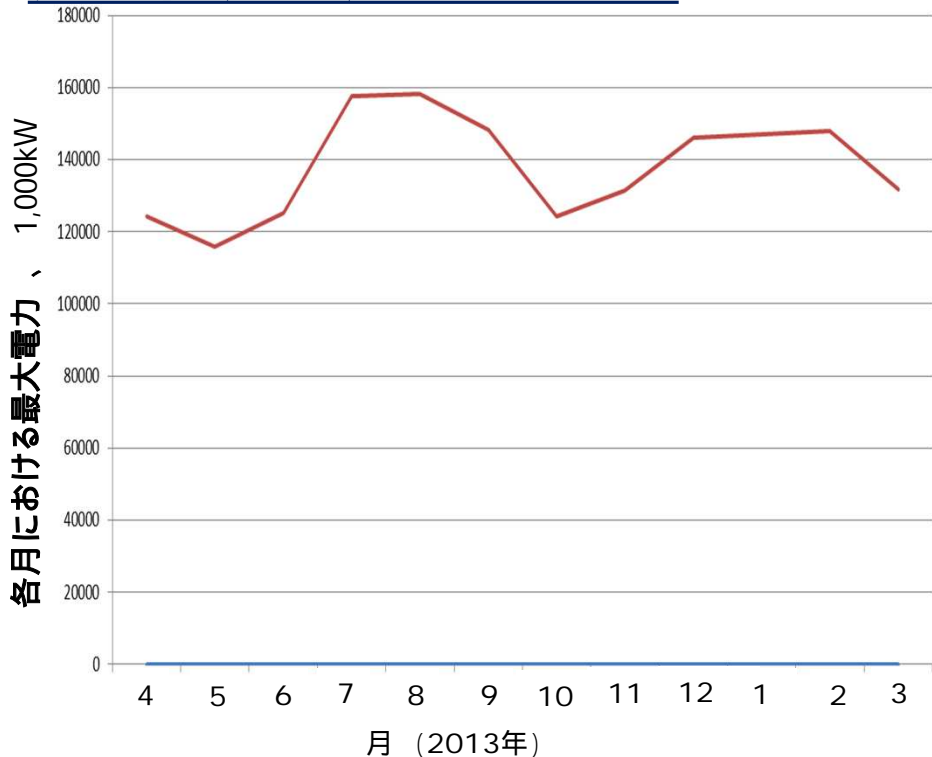


充電は化学反応でこれ以上画期的に早くはならないのでは。

# SKYACTIV開発までの経緯

## なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

### 発電能力は足りるのか？



### 2013年度夏季需給見通し より

|        |         |
|--------|---------|
| 最大電力需要 | 1.66億kW |
| 供給力    | 1.77億kW |
| 供給予備力  | 0.11億kW |

| 充電時間  | 普通充電      |           | 急速充電  |
|-------|-----------|-----------|-------|
|       | 1kw(100V) | 3kw(200V) |       |
| 20kwh | 20hrs     | 6.7hrs    | 24min |
| 30kwh | 30hrs     | 10hrs     | 36min |

3kwで充電してもみんな同時に充電する確率が高い 全部EVなら1.8億kw 半分でも0.9億kw 急速充電が重なるかもしれないとなると？？



# SKYACTIV開発までの経緯

なぜハイブリッドや電気自動車でなく内燃機関なのか？

給電に30分待てますか？前に1 - 2台待っていたら

給電スタンド経営は誰が？ 一回充電数百円 30分

ガソリンタンクが7Lで満タンの車

真夏、真冬に渋滞したら冷暖房を切る

増えたら確実にCO<sub>2</sub>は減るか？

税金をかけたらユーザメリットはあまりない

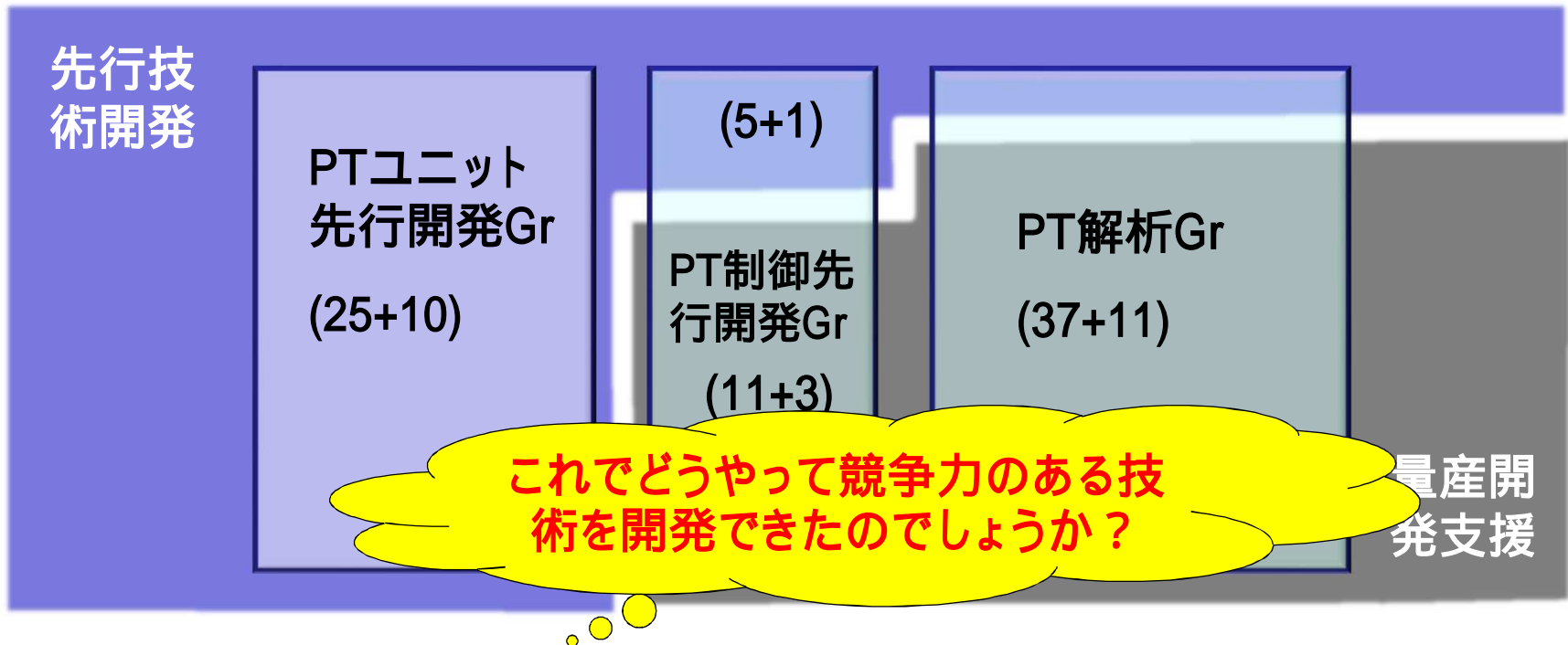
ドイツの現状は？

zoom-zoom

# SKYACTIV開発までの経緯

バブル崩壊後 1990年半ば～2003年頃 (Fordによる救済～早期退職)

マツダパワートレインの先行技術開発部隊；30名程度



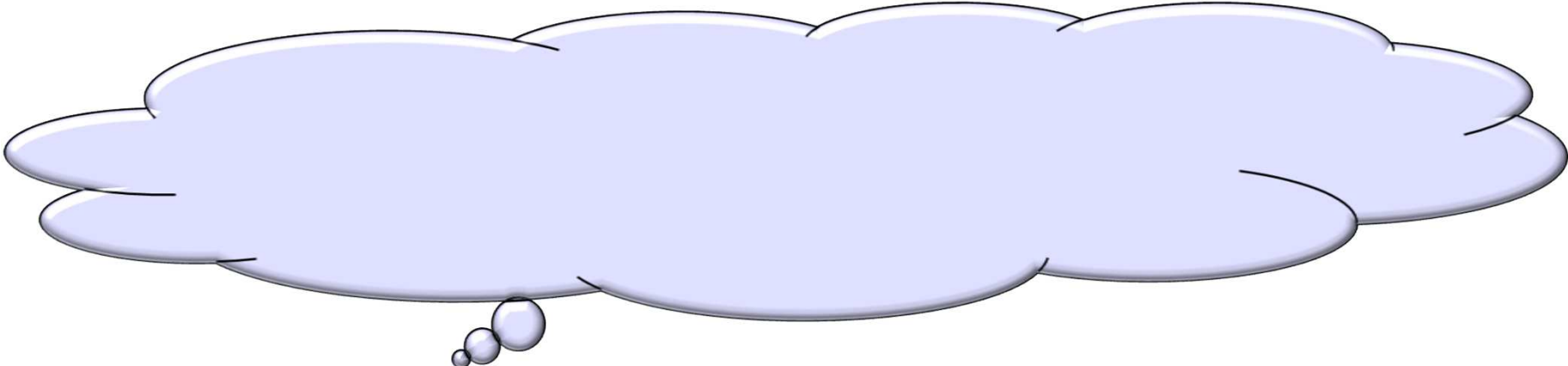
これでどうやって競争力のある技術を開発できたのでしょうか？

大手メーカーはガソリン、ディーゼルで1000人以上 (HEVは除く)

# SKYACTIV開発までの経緯

## 各社さまざまな技術開発

(HEV, リーンバーン、過給ダウンサイジング、気筒休止、各種可変動弁技術、…)



マツダはすべてに対応することはできない

# SKYACTIV開発までの経緯

## 制約の解除 = 選択と集中

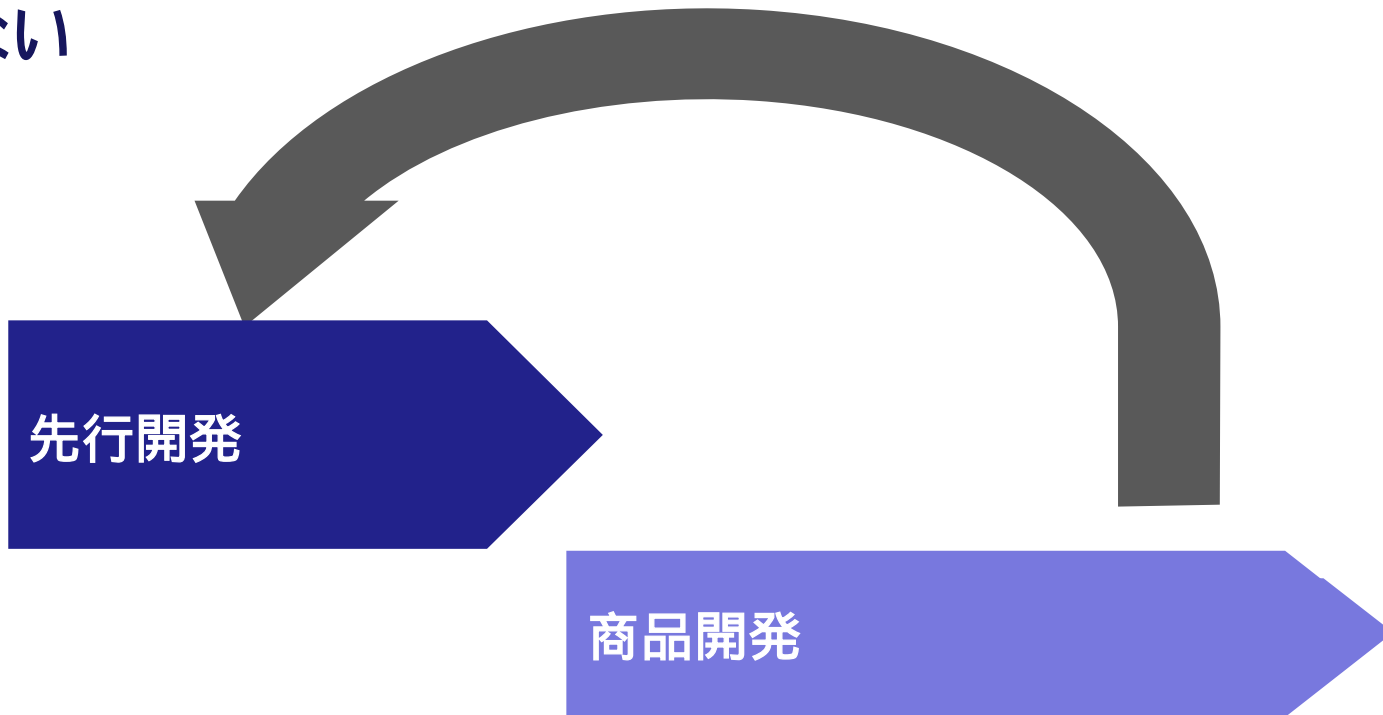
商品や技術の選択（やるが多すぎるからどれかやめる）というよりも先に仕事の対象となる課題を集約できないかを考える

### 主要共通課題の選択と集中



# SKYACTIV開発までの経緯

CO2規制などが迫っているが、生き残りが先決 将来を考える人がいない



## 2大制約

技術開発=人が少ないと何もできないと思うこと

商品開発=今のことで精いっぱい

# SKYACTIV開発までの経緯

## 主要共通課題の選択と集中 制約の解除

### 新技術開発

他社がやっていることのどれかを選ぶ？

### 商品開発

品質改善、コスト低減、性能改善、ジョイントプログラム、・・・ 従来の作ってテストしては改善というやり方で続けるか？

### 集約した課題

Bowlingの一番ピン

**新技術開発； 進むべき方向を定め焦点を絞った技術開発**

**プロセス； CAEを駆使した開発（実機による試行錯誤に頼らない開発）**

## 進むべき方向を定め焦点を絞った技術開発

例えば燃費改善技術はエンジニアの数だけあるのか？

リーンバーン

Heavy EGR

ミラーサイクル、  
アトキンソン

過給ダウンサイ  
ジング

気筒休止

リフト可変動  
弁系

可変圧縮比

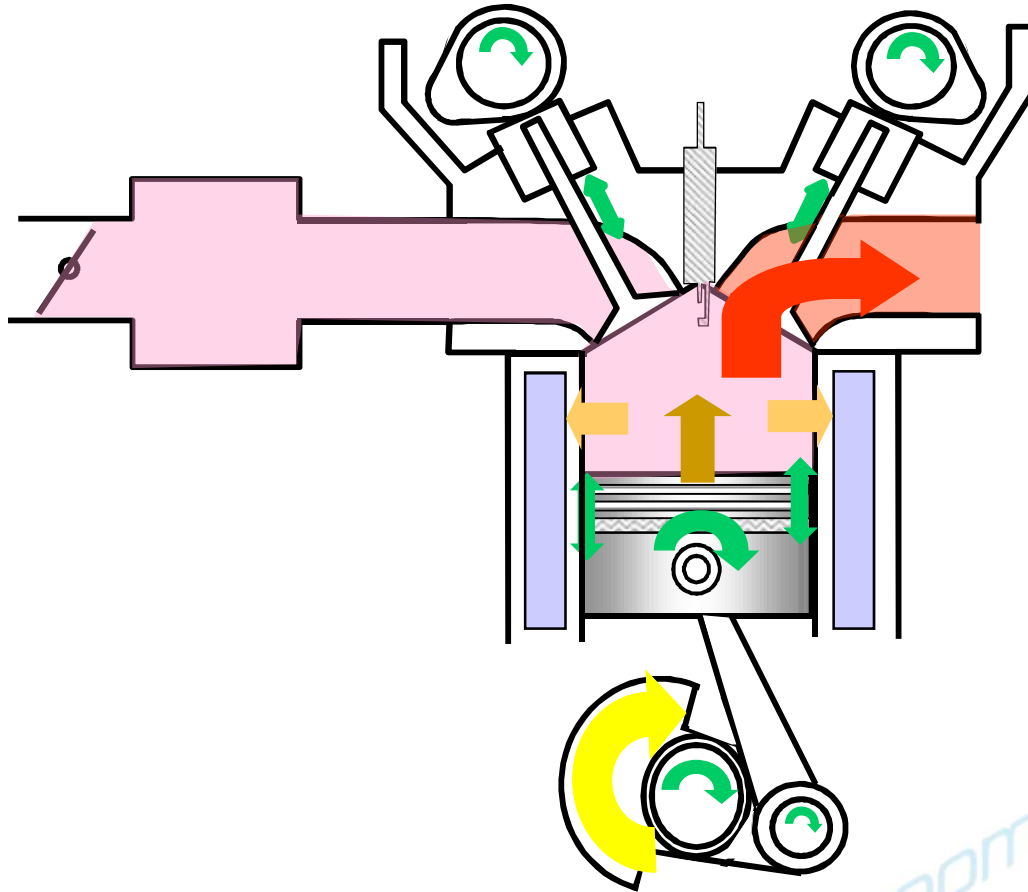
.....

同じことを異なる手段でやっているだけでは？

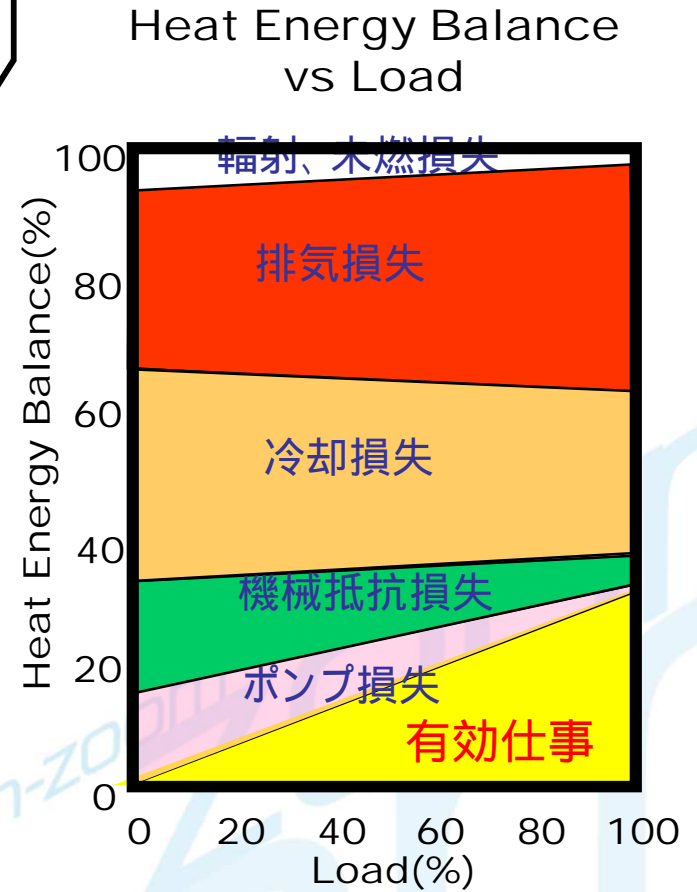
先行開発エンジニアとしての虚しさ解消にも...

# SKYACTIV開発までの経緯

## 内燃機関の効率改善



## 内燃機関の各種損失

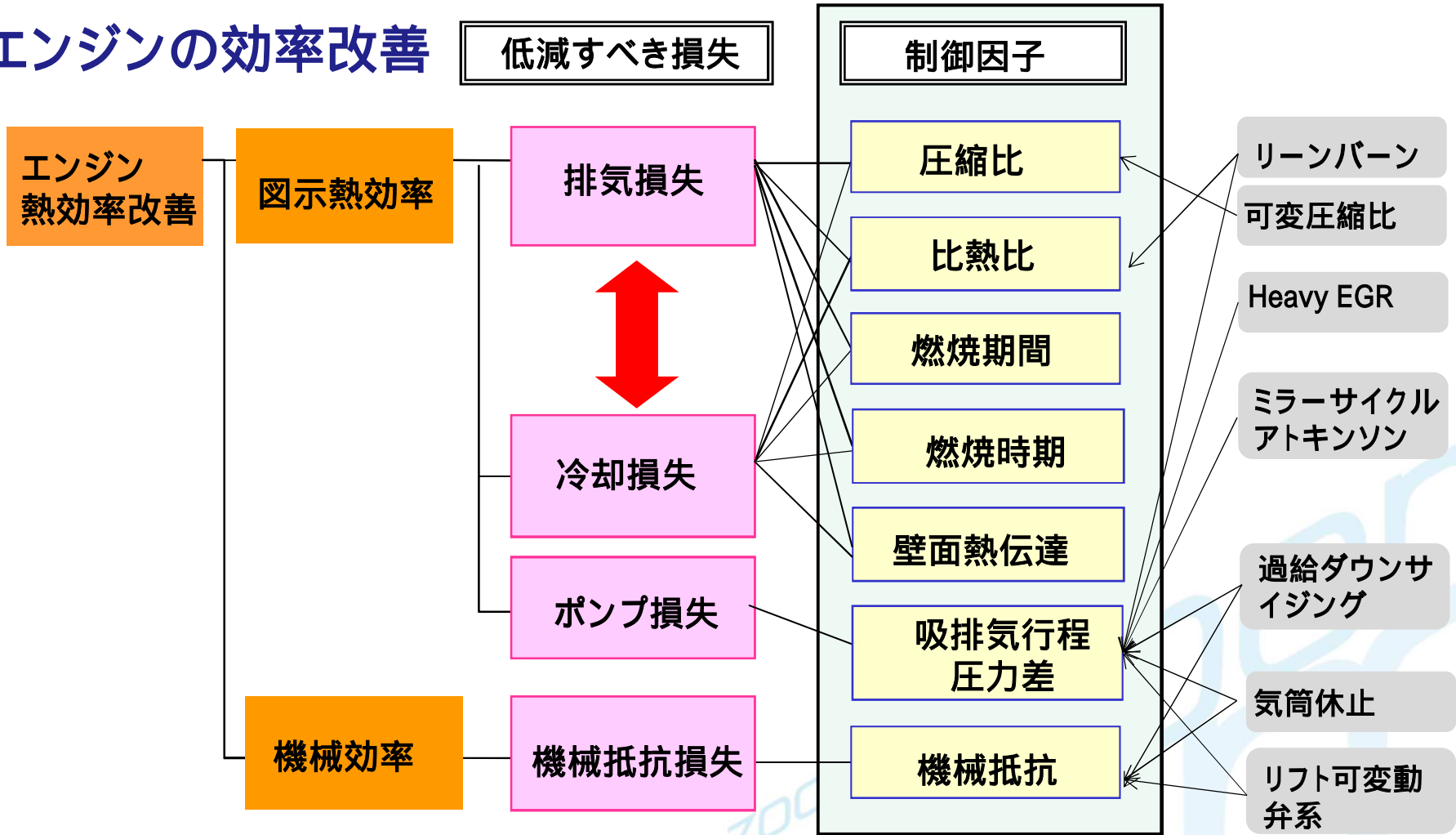


内燃機関の効率改善 = 排気損失、冷却損失、ポンプ損失、機械抵抗損失低減



# SKYACTIV開発までの経緯

## エンジンの効率改善

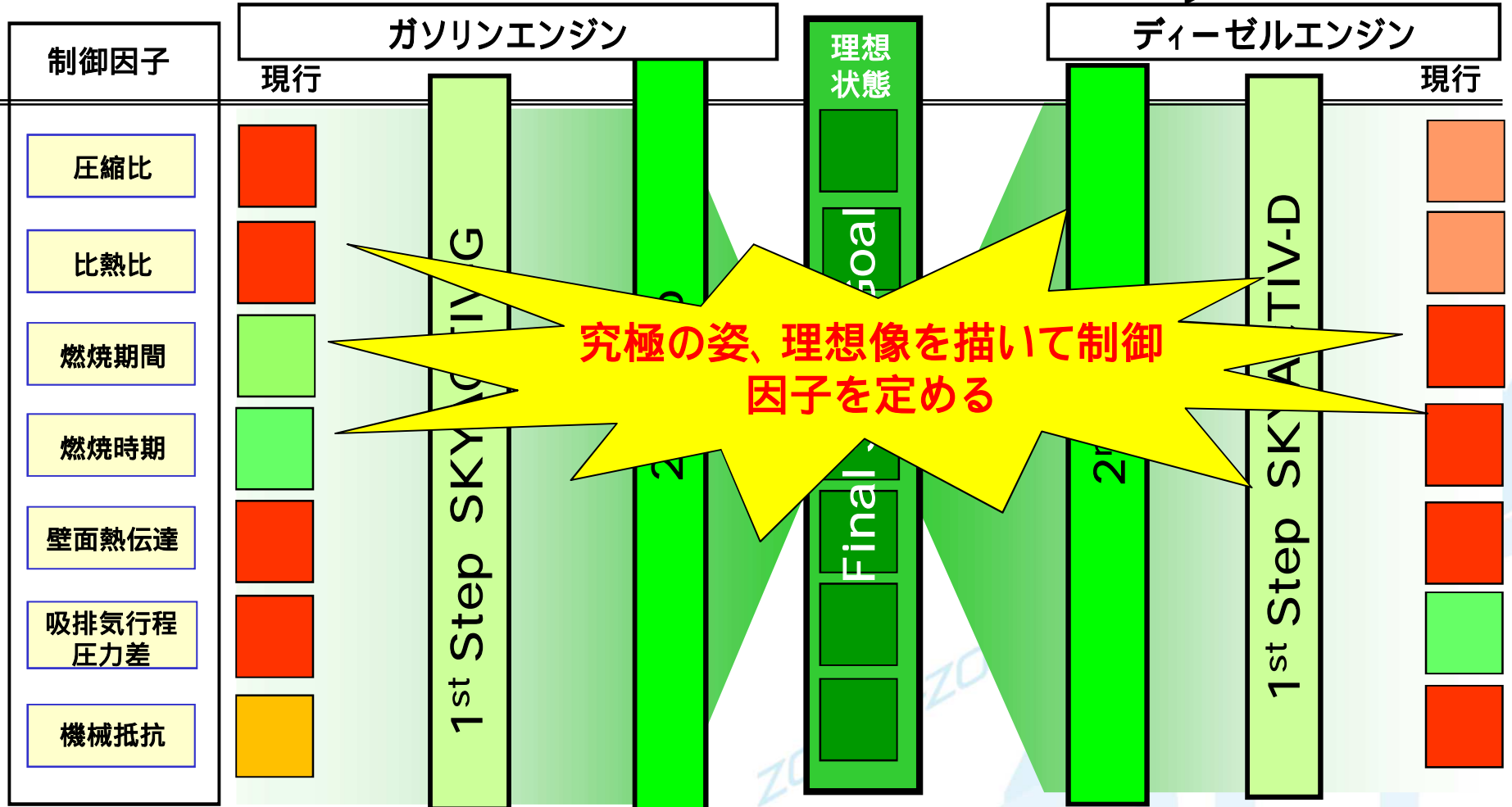


効率改善 = 制御可能な因子を理想に近づけていく取り組み

# SKYACTIV開発までの経緯

## 内燃機関進化Vision

■ 遠い 理想からの距離 ■ 近い



他社も気にならない

人員が少なくても迷い無し

技術の選択 = 将来性

*SKYACTIV開発までの経緯*

**技術革新**

**内燃機関の究極へのステップ**

**SKYACTIV ガソリン**

**SKYACTIV ディーゼル**

*Next Step*

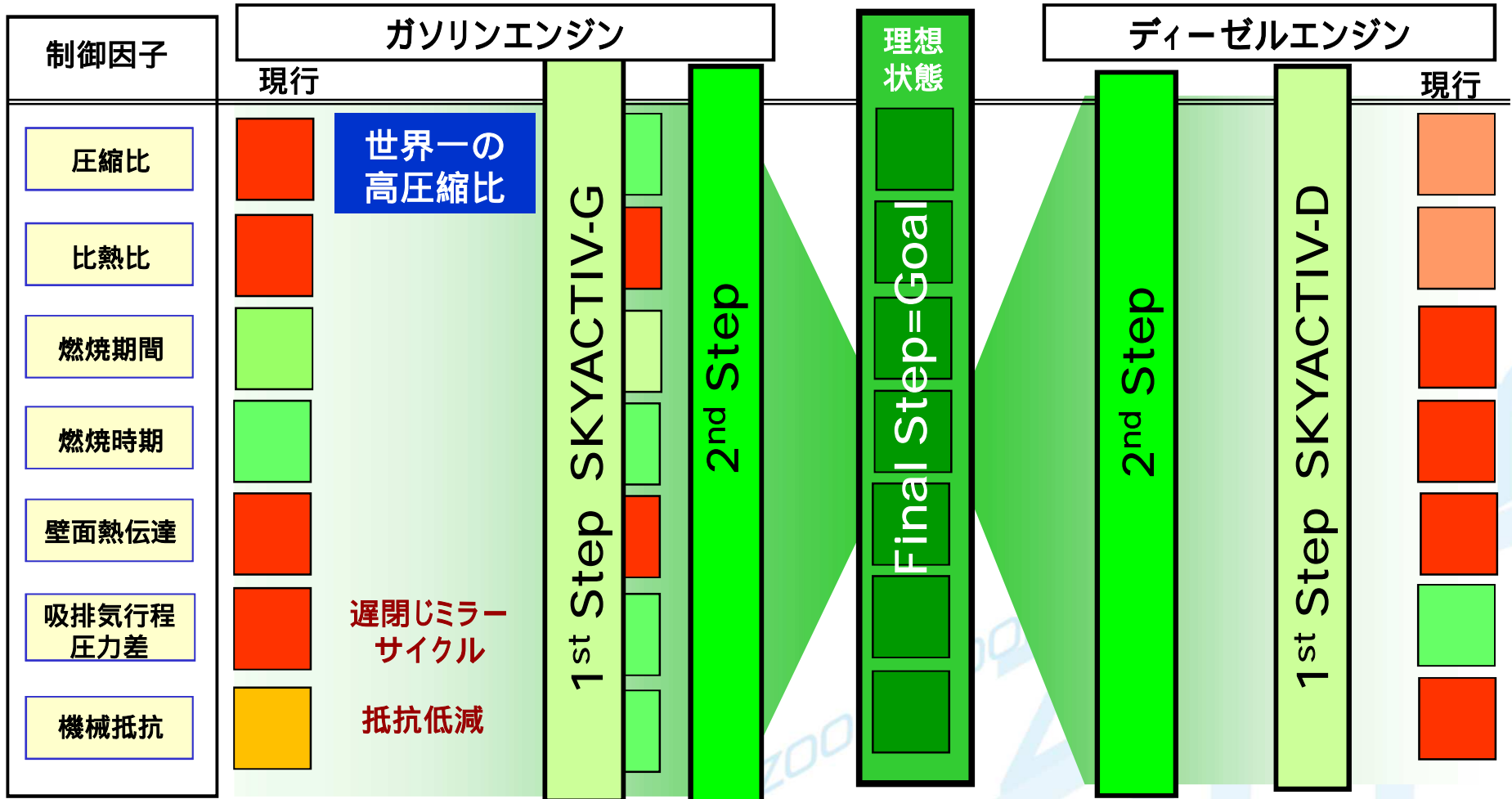
**プロセス革新**

**CAE強化による開発**

**一括企画、一括開発**

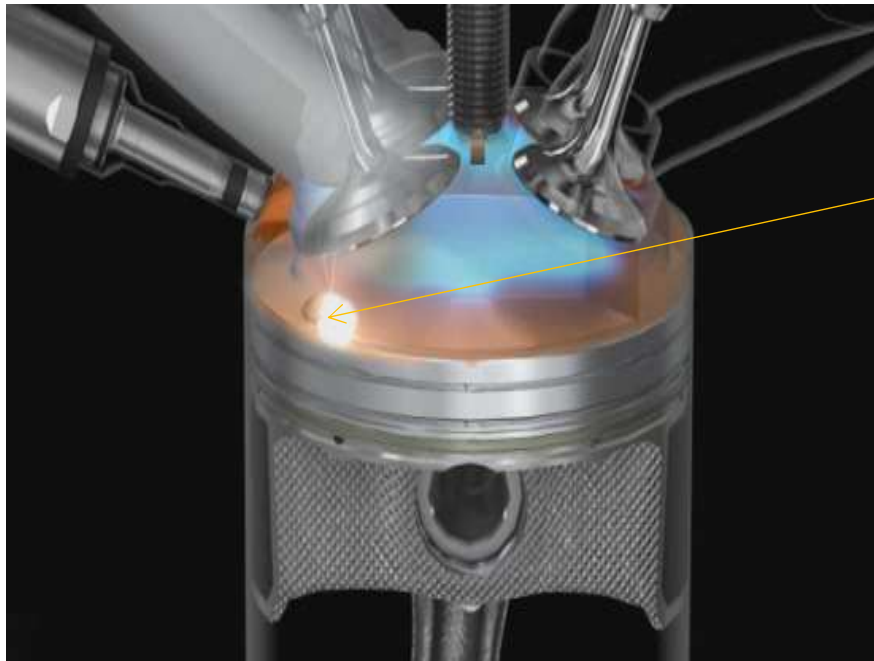
## 内燃機関進化Vision

■ 遠い 理想からの距離 ■ 近い



世界一の高圧縮比

## なぜ高圧縮比化は進んでいないのか



高温、高圧というストレスにさらされると火炎が到達する前に自己着火

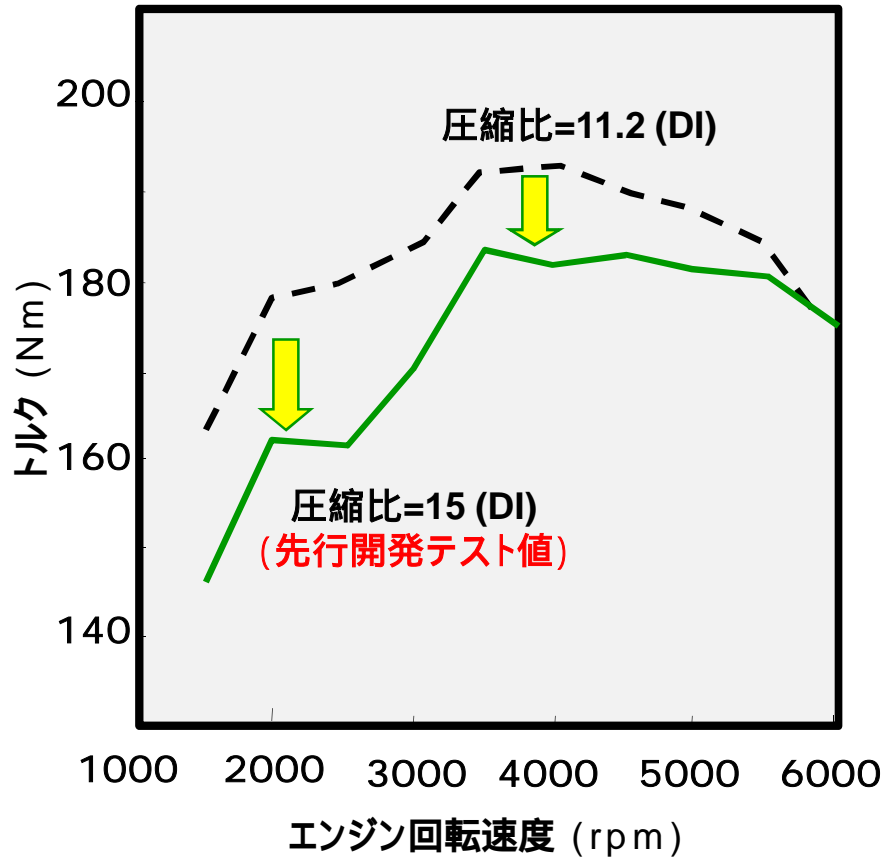
= ノッキング

高圧縮比だと高温高圧になるからノッキングが起きる

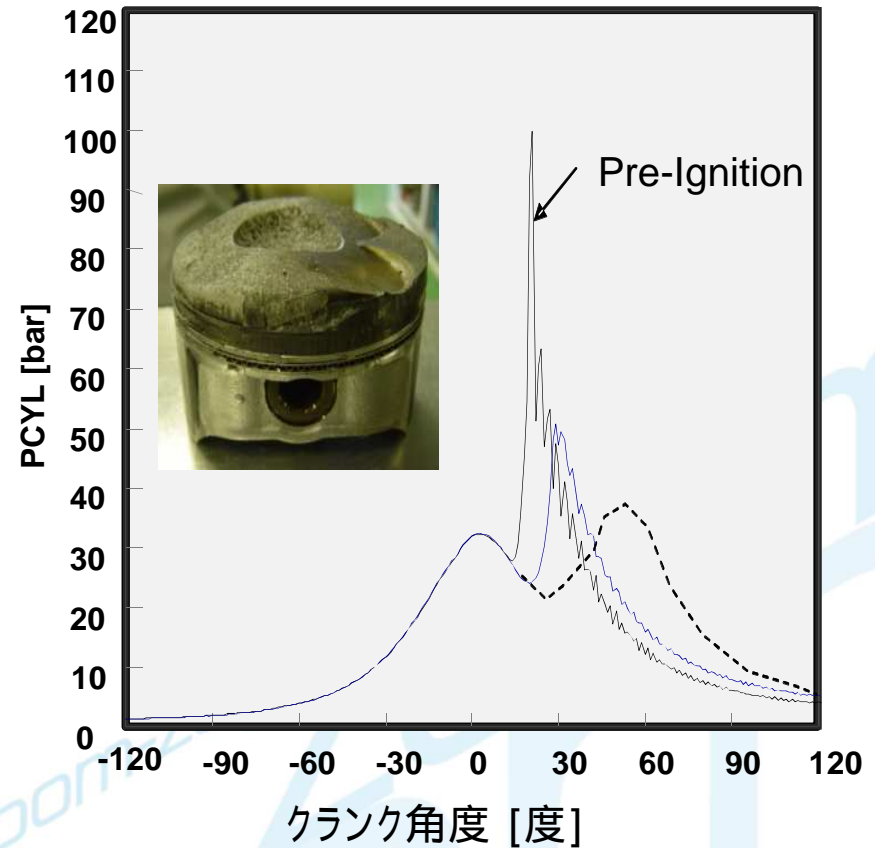
どうするか？

## なぜ高圧縮比化は進んでいないのか

ノックによるトルク低下



プリイグ(高圧燃焼)によるエンジン破損



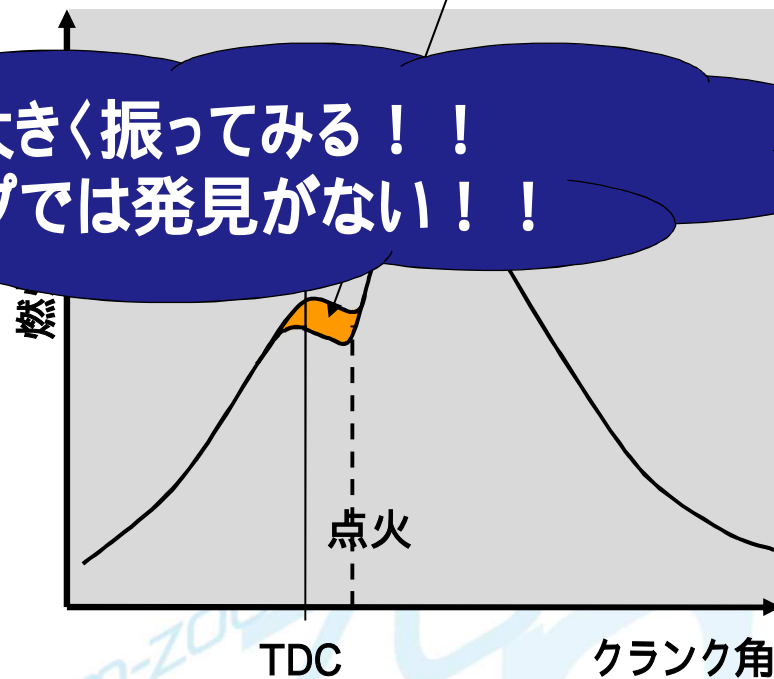
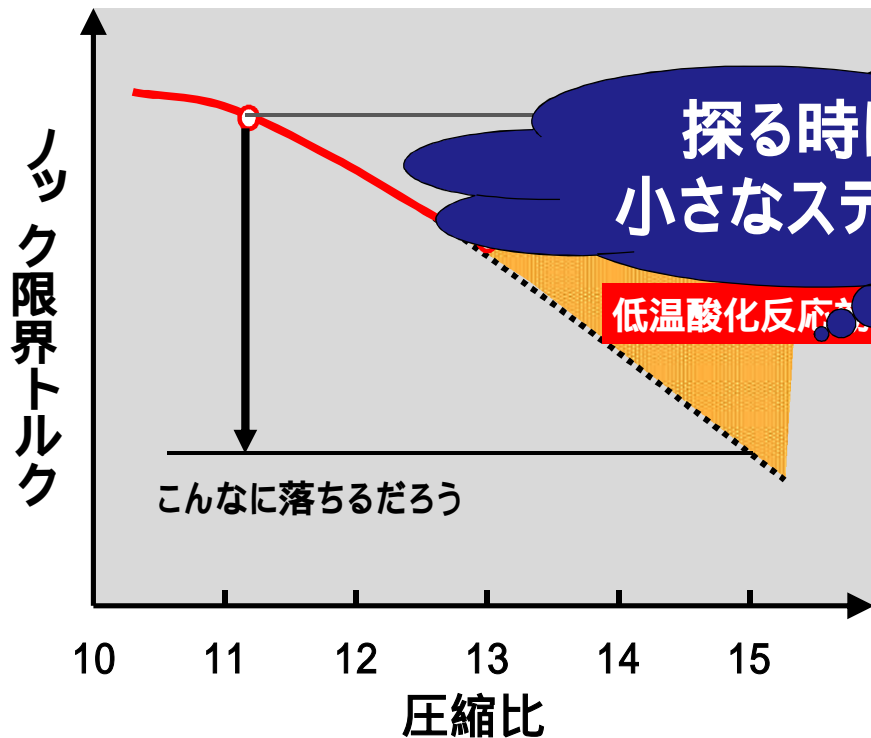
ポイント ; これだけしか下がらなかった！！

## 思い切って高圧縮比化すると？

1500rpm WOT A/F=13.0

Ig.T=Knock Limit

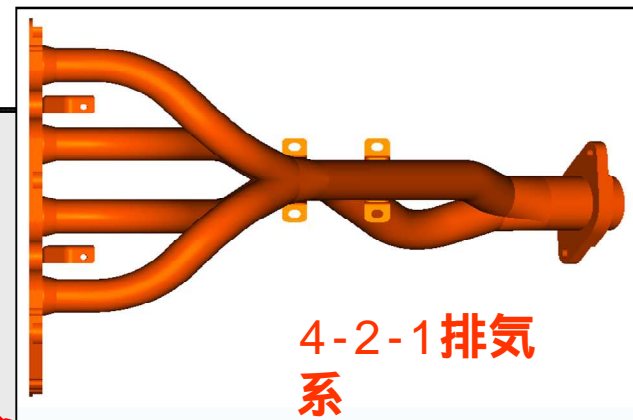
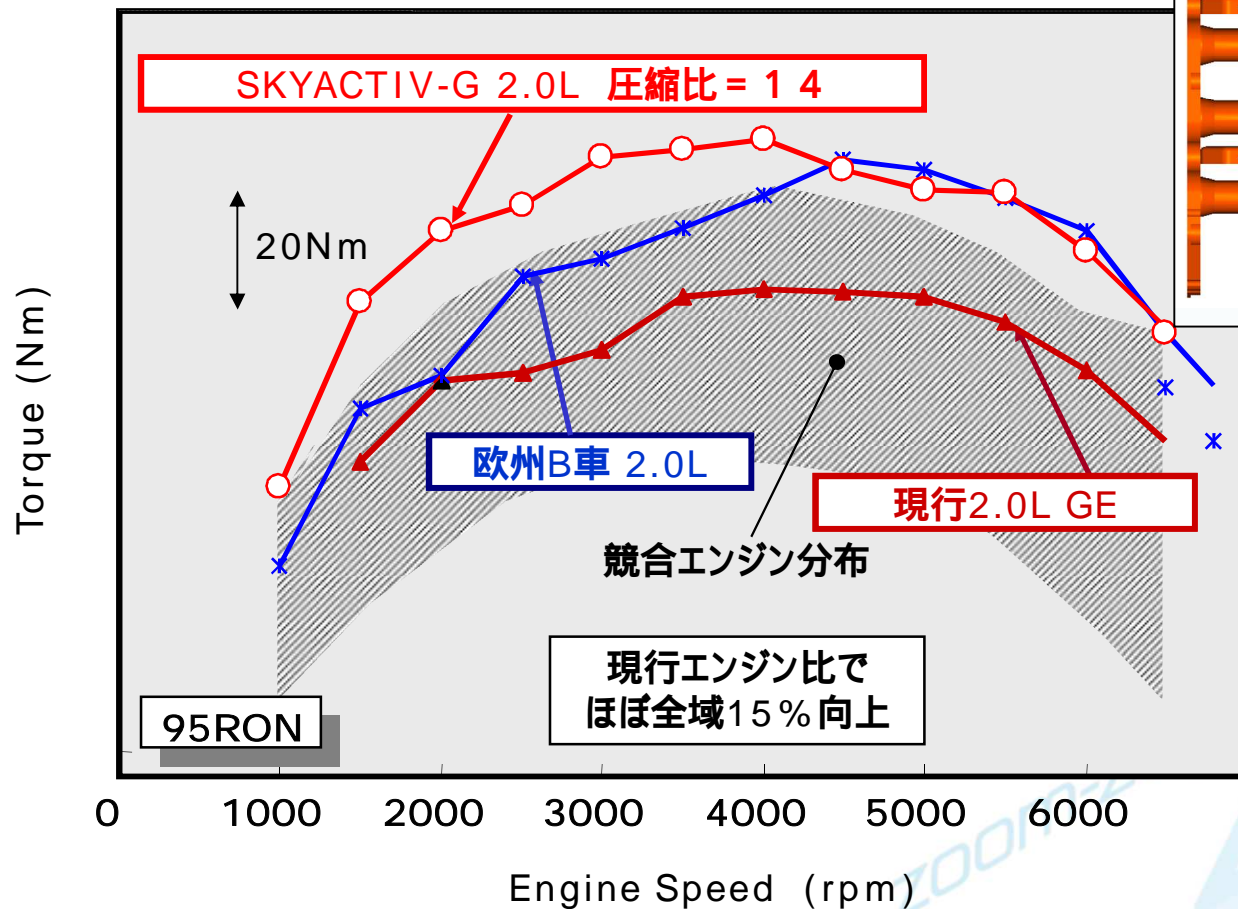
何故か？ 低温酸化反応



探る時は大きく振ってみる！！  
小さなステップでは発見がない！！

大きく振ると見えてくる

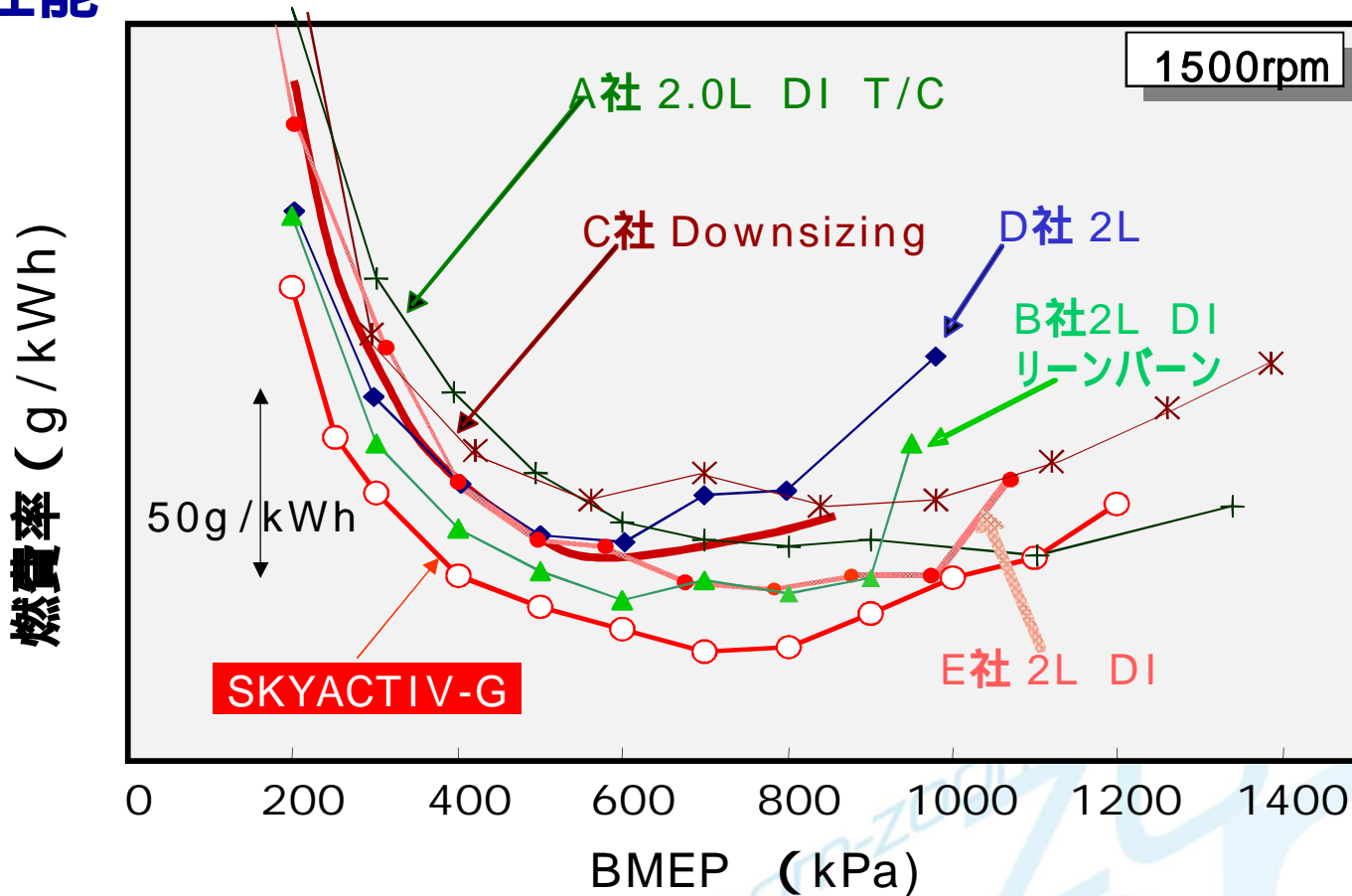
## 1st Step ガソリン 出力性能



世間の賞賛ポイント； 高圧縮比で低中速トルク大幅向上



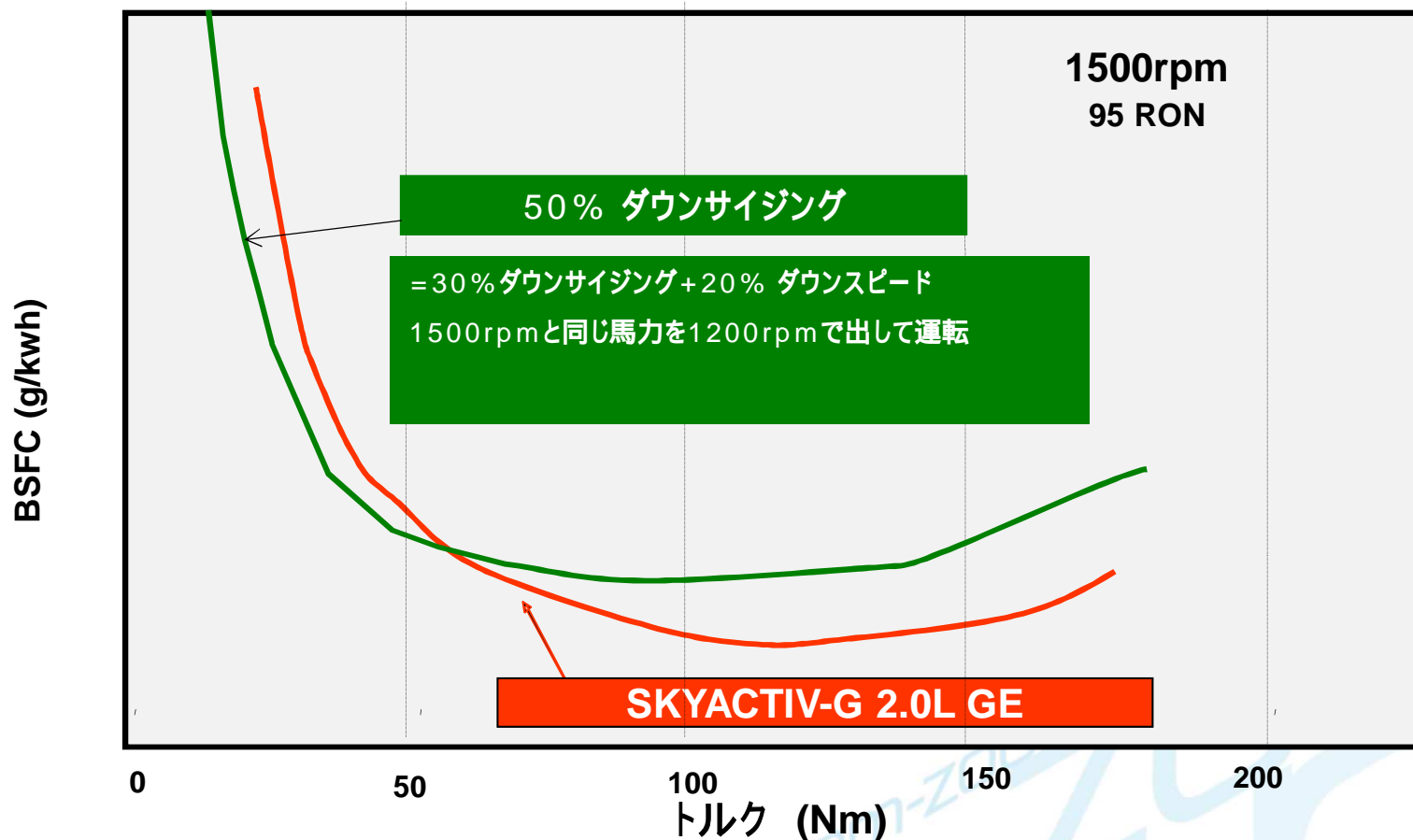
## 燃費性能



競合他社を凌ぐ効率

# 過給ダウンサイジングに対する考察

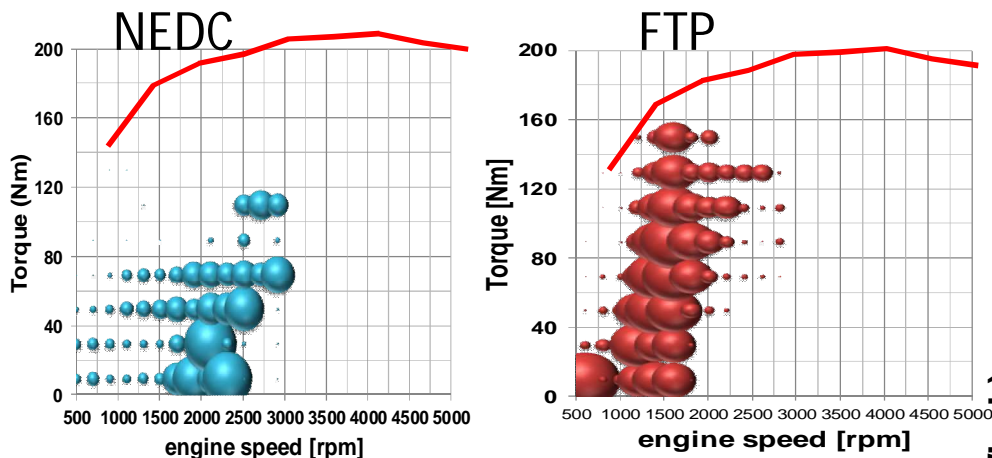
## 燃費比較



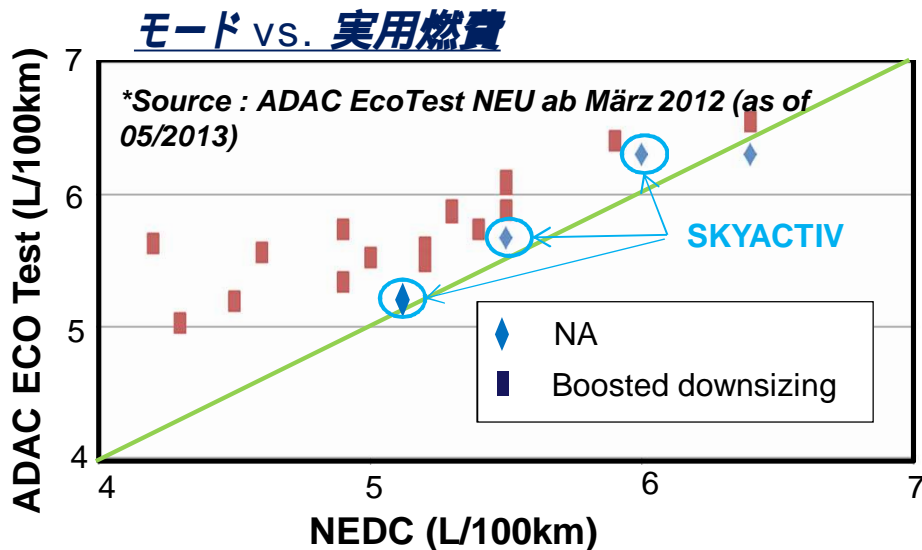
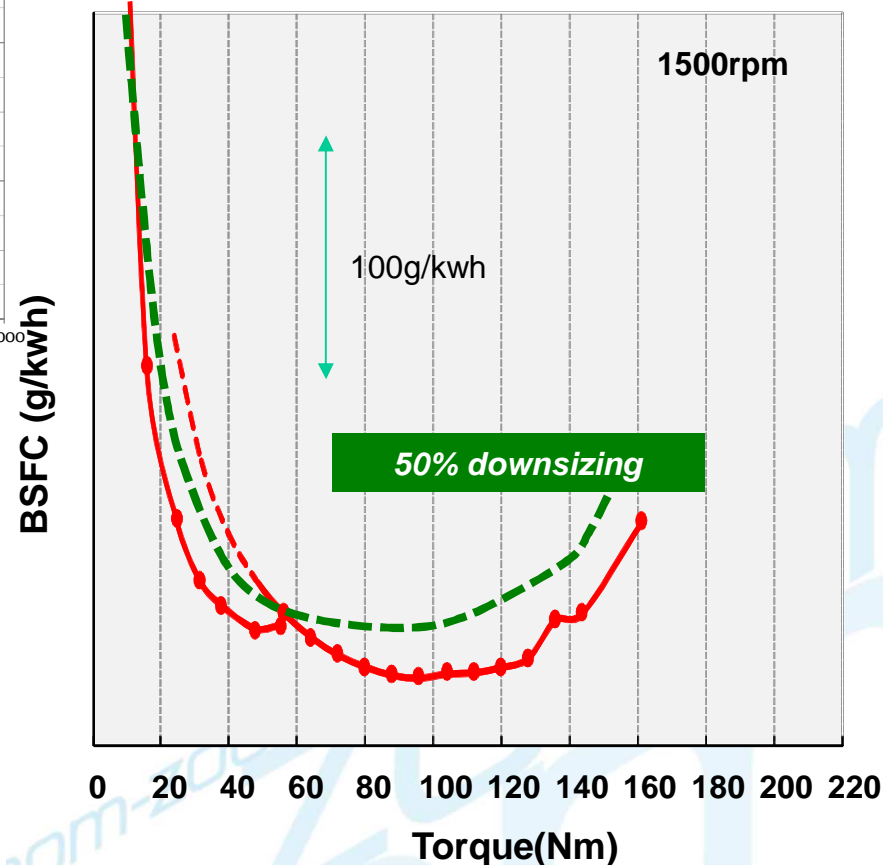
圧縮比の効く高中負荷はSKYACTIVの優位性は今後も失われない

# 過給ダウンサイジングに対する考察

## 実用燃費



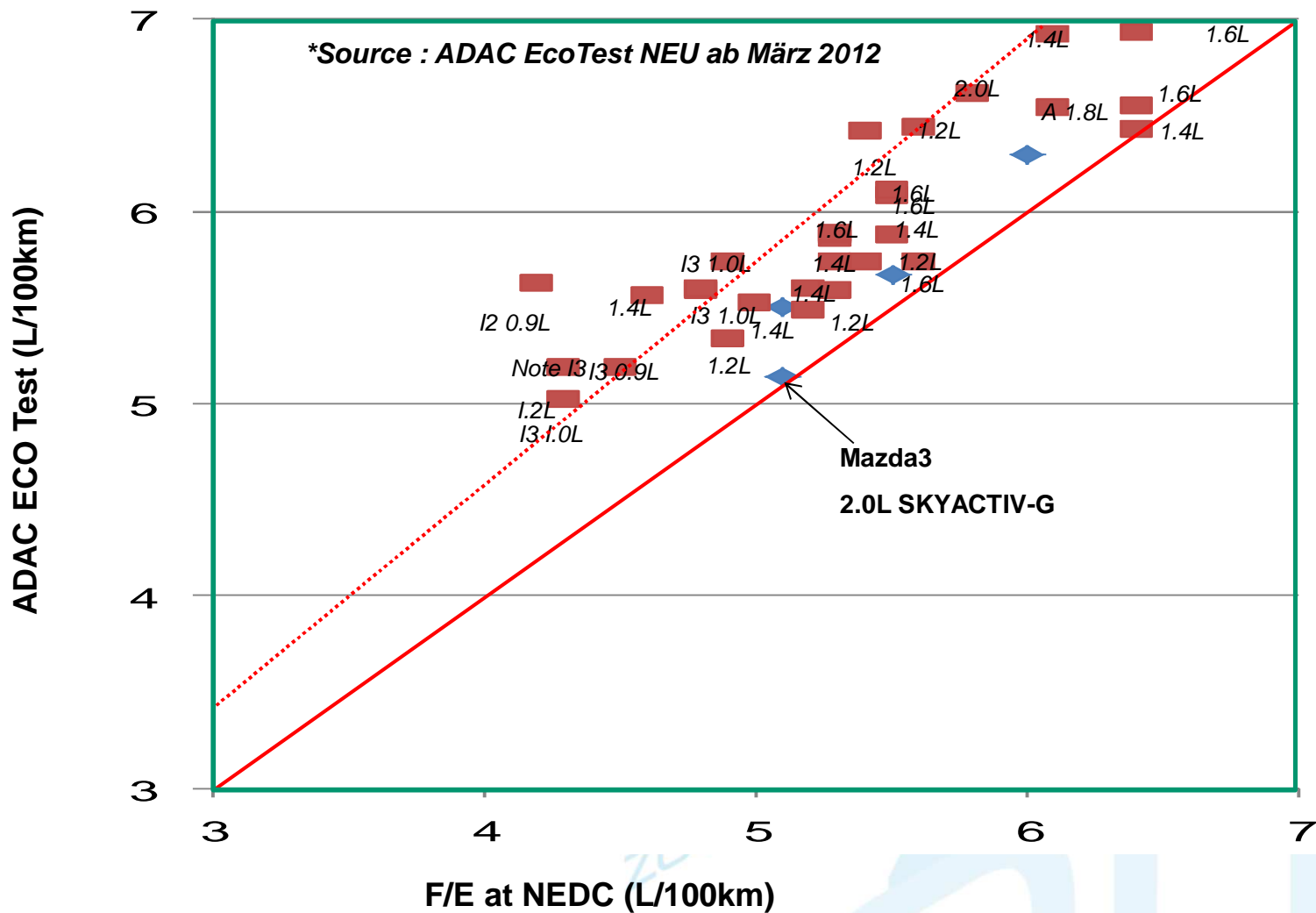
## Next step



実用燃費は大排気量SKYACTIVがいい

モード燃費で税金が決まるので軽負荷も改善するしかない

# 過給ダウンサイジングに対する考察



2Lでも1 L から1.2 L に負けない燃費を実現している

# 過給ダウンサイジングに対する考察

## コスト

ベースエンジン  
(直噴)



過給ダウンサイジング



ターボチャージャー

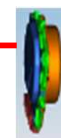
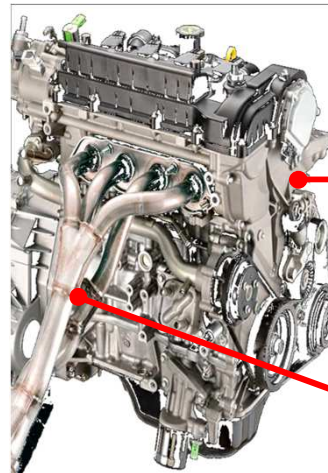


インタークーラ&配管



ピストン、コンロッド、  
クランク、ブロック、  
ヘッド強化

SKYACTIV-G



電動 VCT

4-2-1 排気

過給ダウンサイジングの方が高価な部品が必要なのでコストは高い

*SKYACTIV開発までの経緯*

**技術革新**

**内燃機関の究極へのステップ**

*SKYACTIV ガソリン*

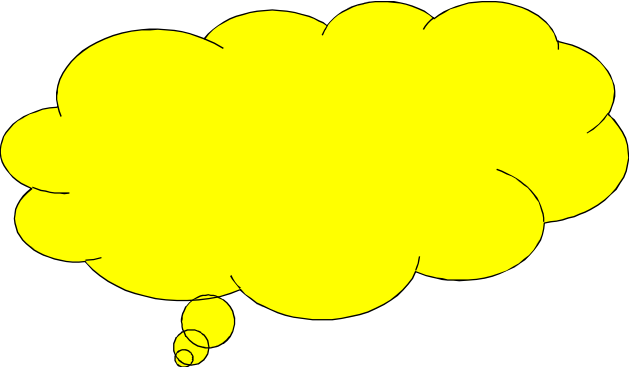
**SKYACTIV ディーゼル**

*Next Step*

**プロセス革新**

*CAE強化による開発*

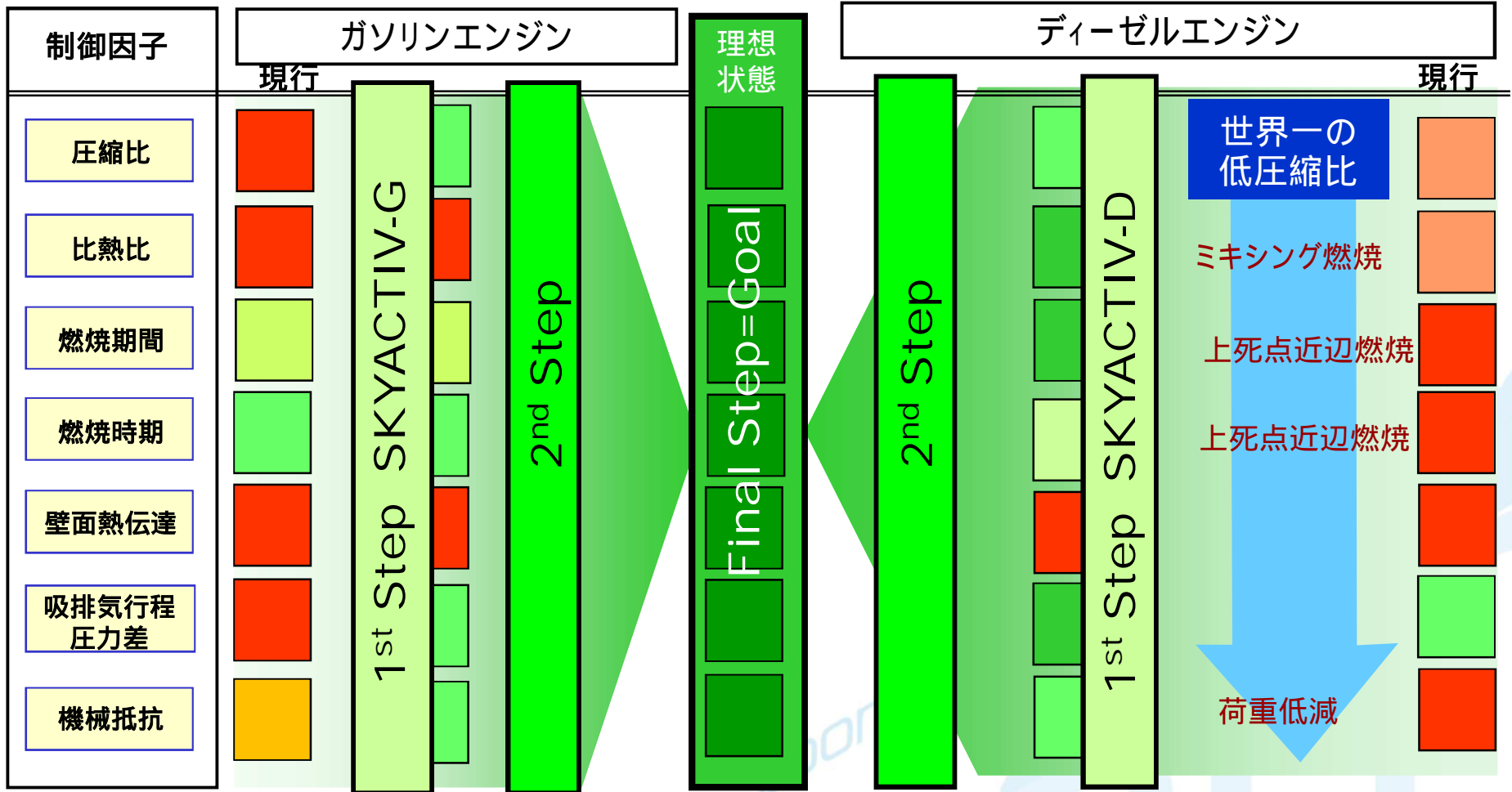
**一括企画、一括開発**



**なぜ今頃ディーゼルをやろうとしたのかの回答**

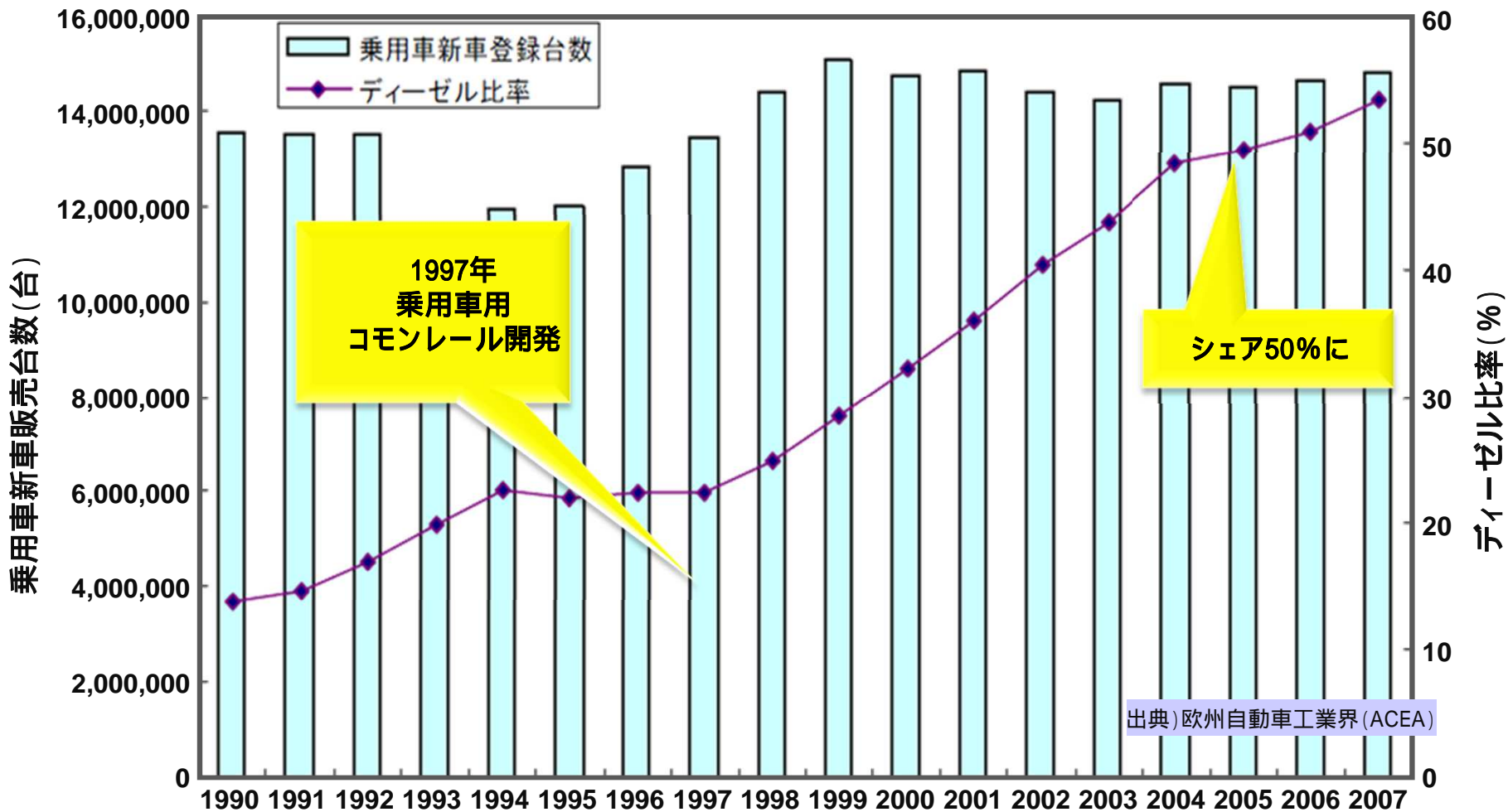
## 内燃機関進化Vision

■ 遠い 理想からの距離 ■ 近い



世界一の低圧縮比

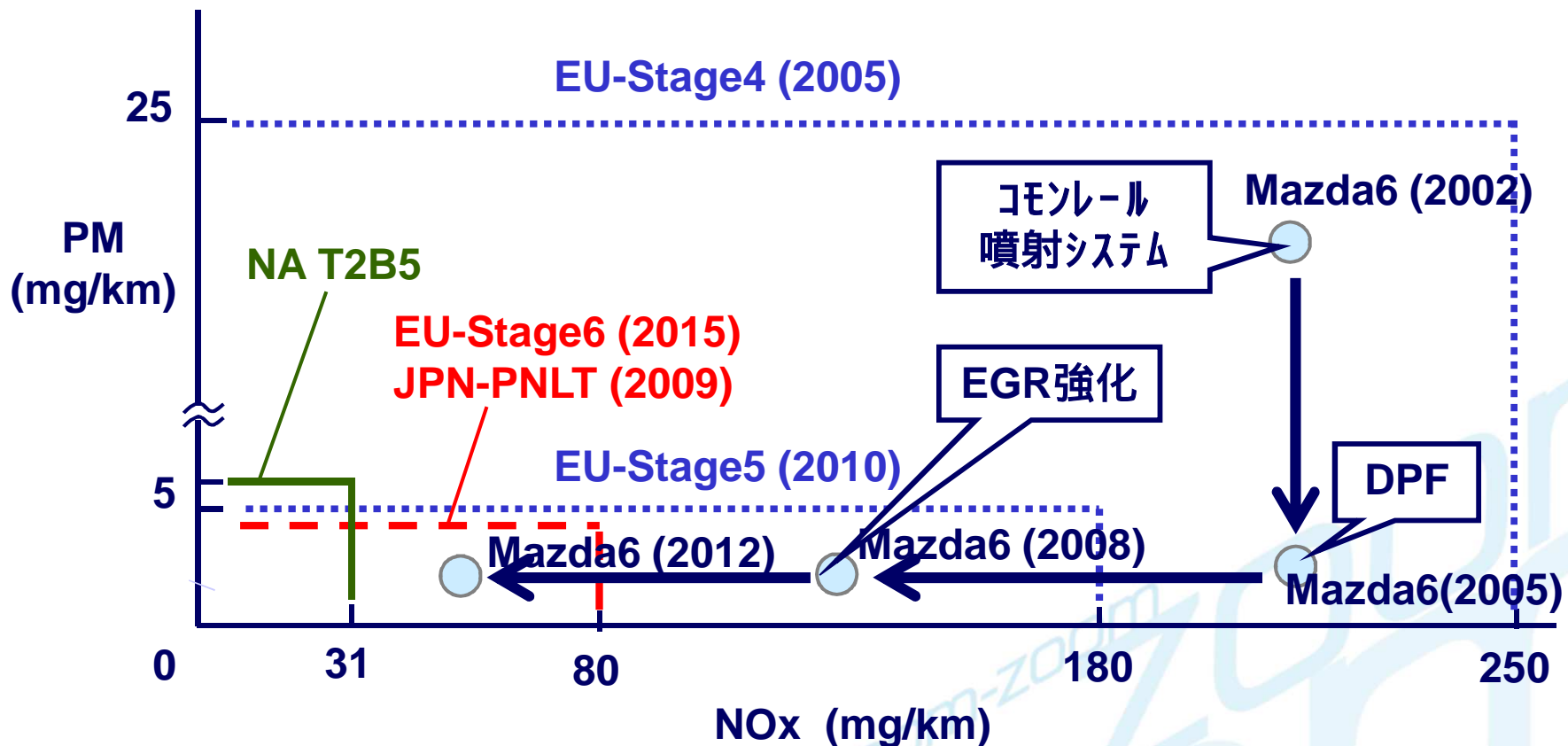
## ヨーロッパの乗用車新車登録台数とディーゼル比率



欧州ではシェア50%超

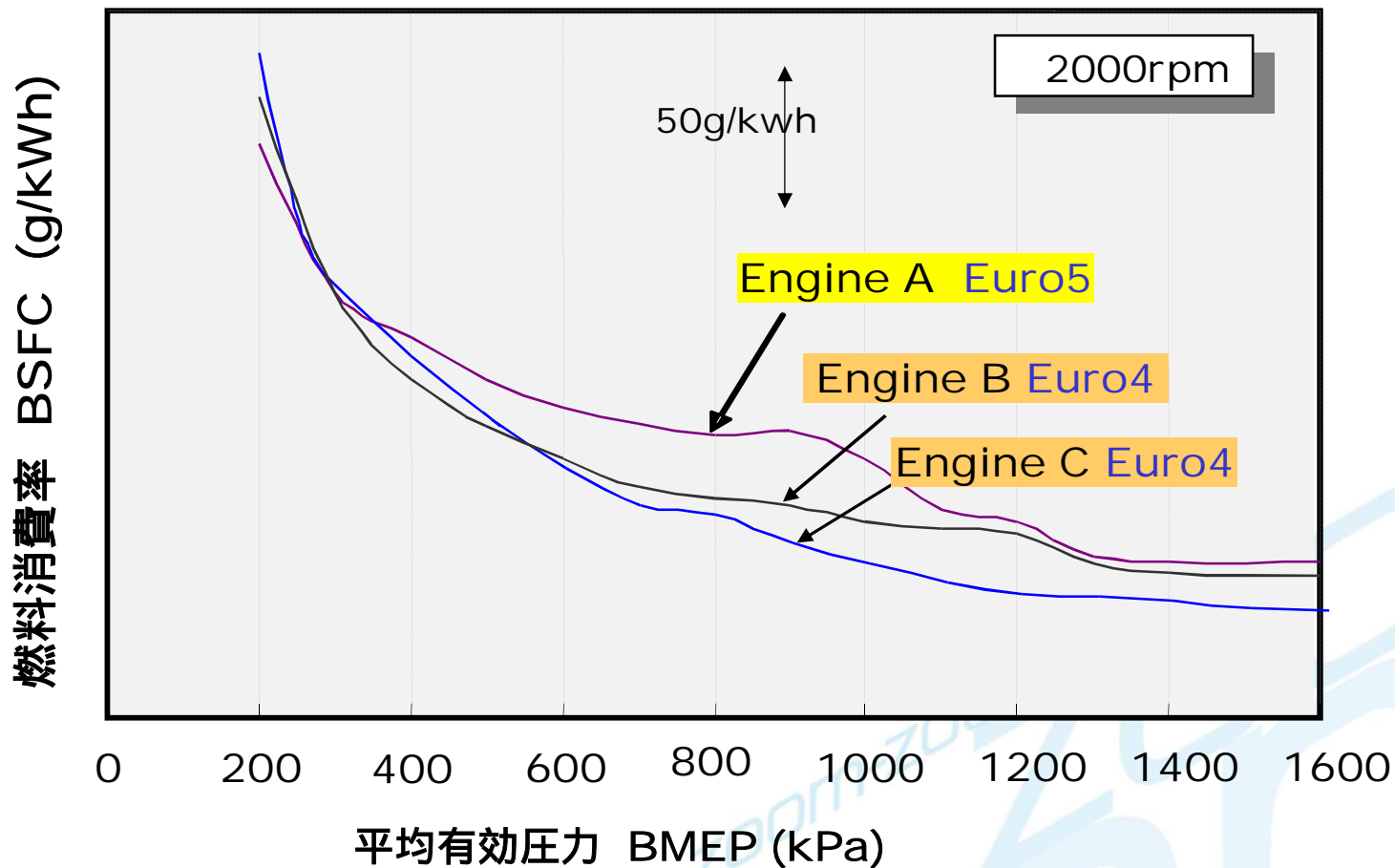


## 排ガス規制強化の影響 コスト



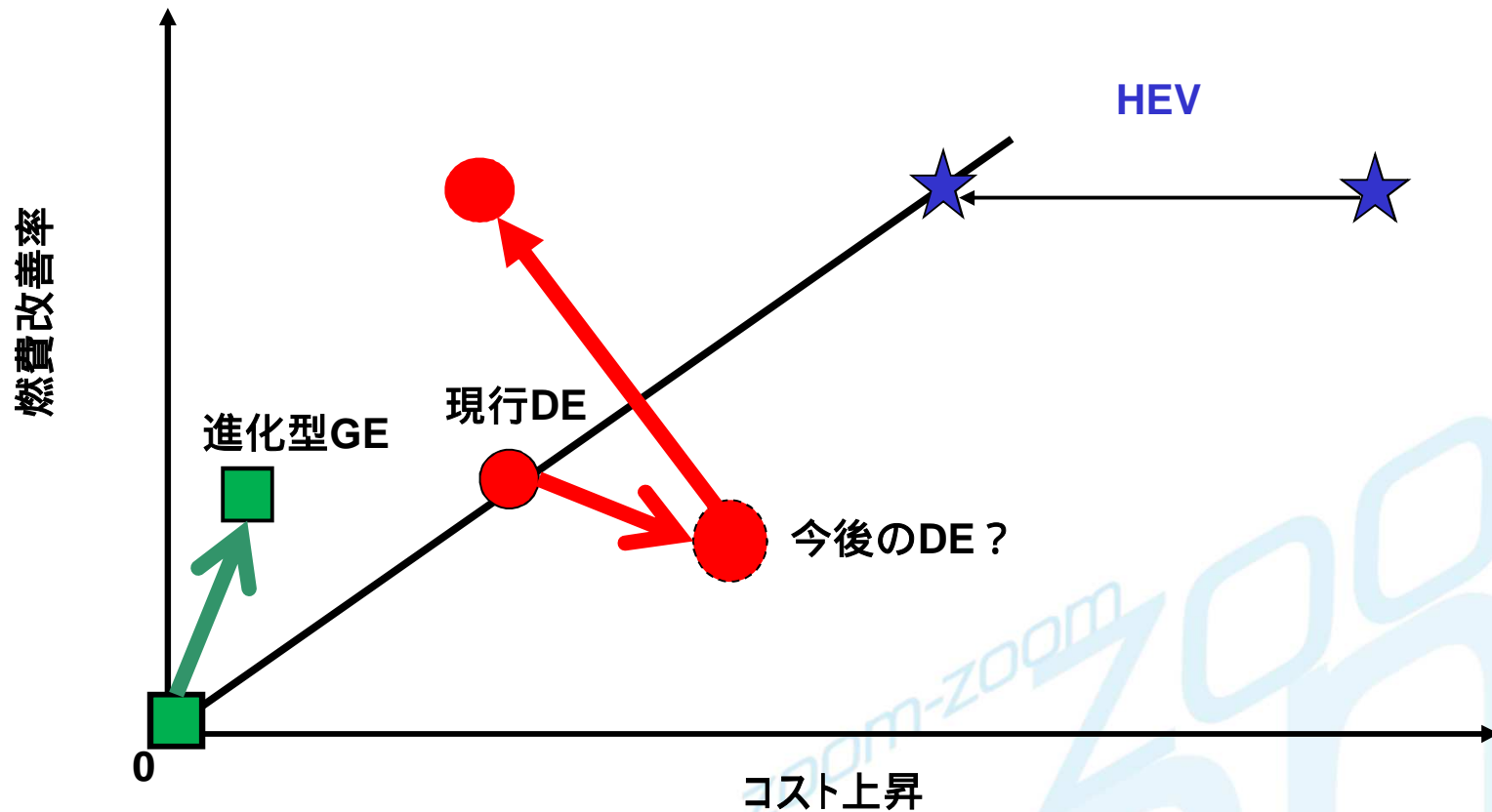
EM規制強化のたびに高コスト化

## 排ガス規制強化の影響 燃費性能



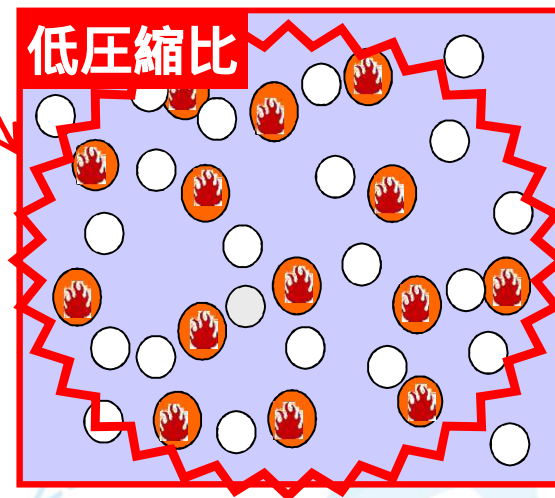
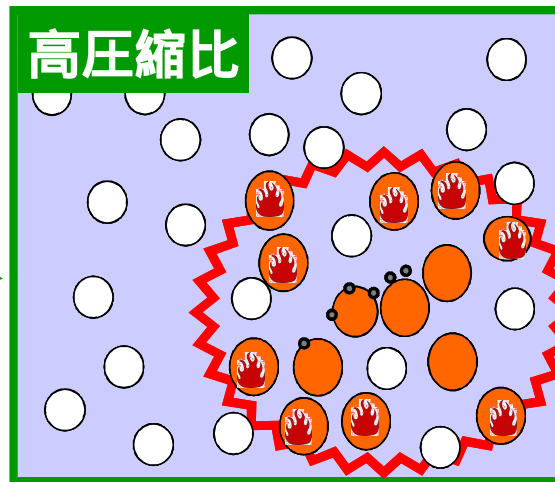
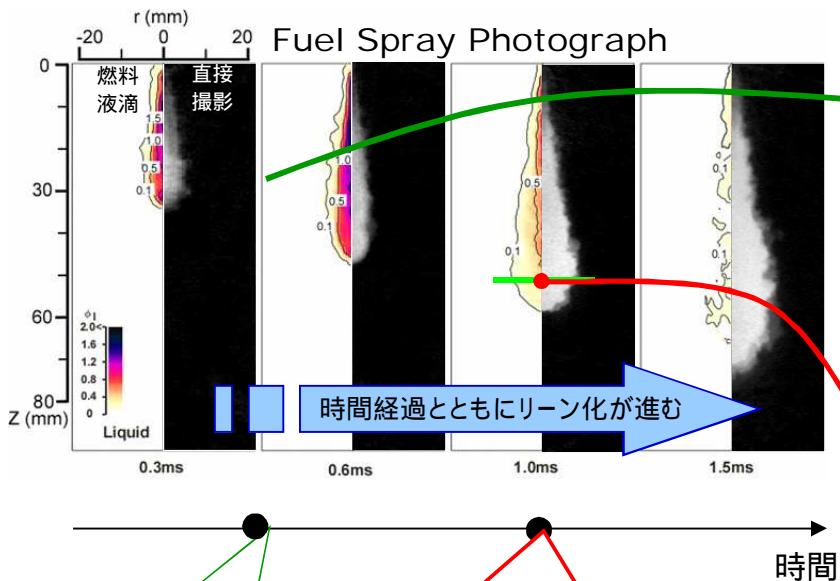
燃費も犠牲

ディーゼル普及のためには



ディーゼルの存在価値は？ 低燃費、低コスト

## 低圧縮比化の効能

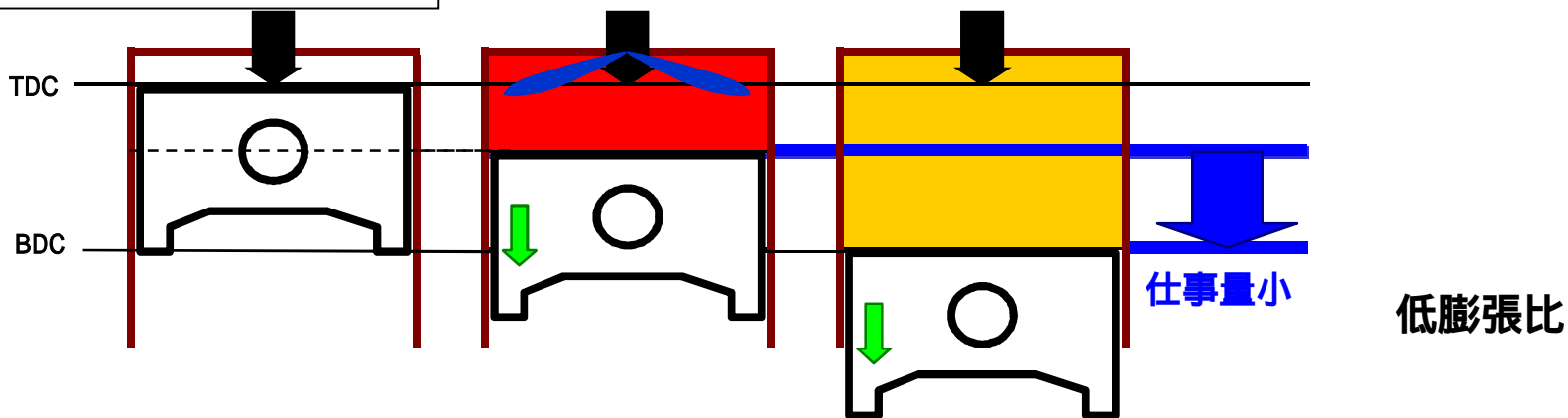


○ 酸素    ● 燃料分子    ● 煤

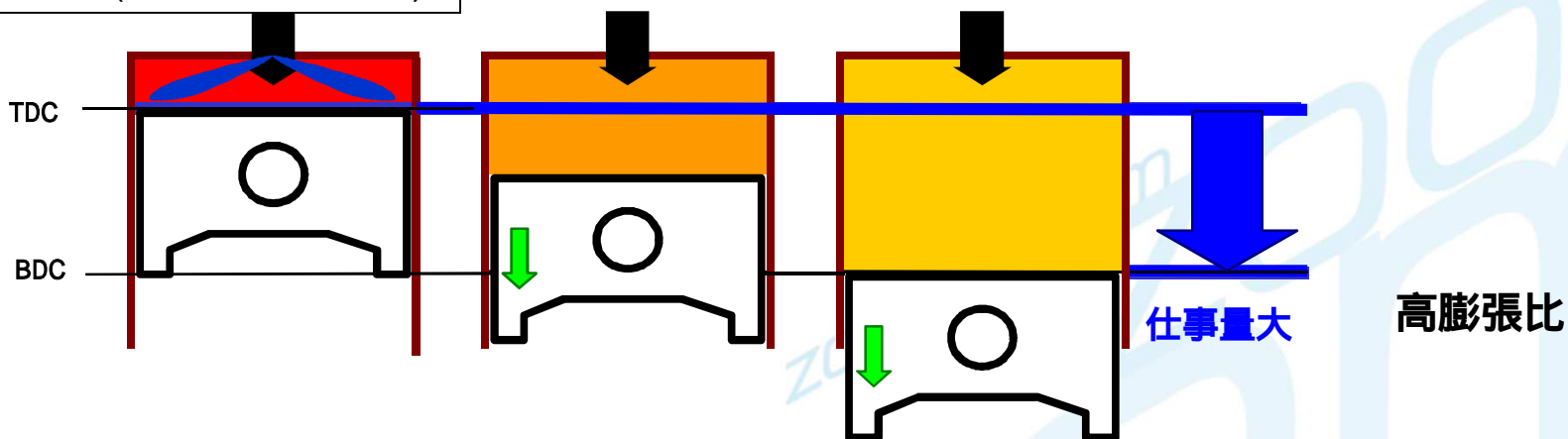
燃料がよく混ざるまで着火させない = 低圧縮比

## 低圧縮比高膨張比燃焼

高圧縮比(従来DE)

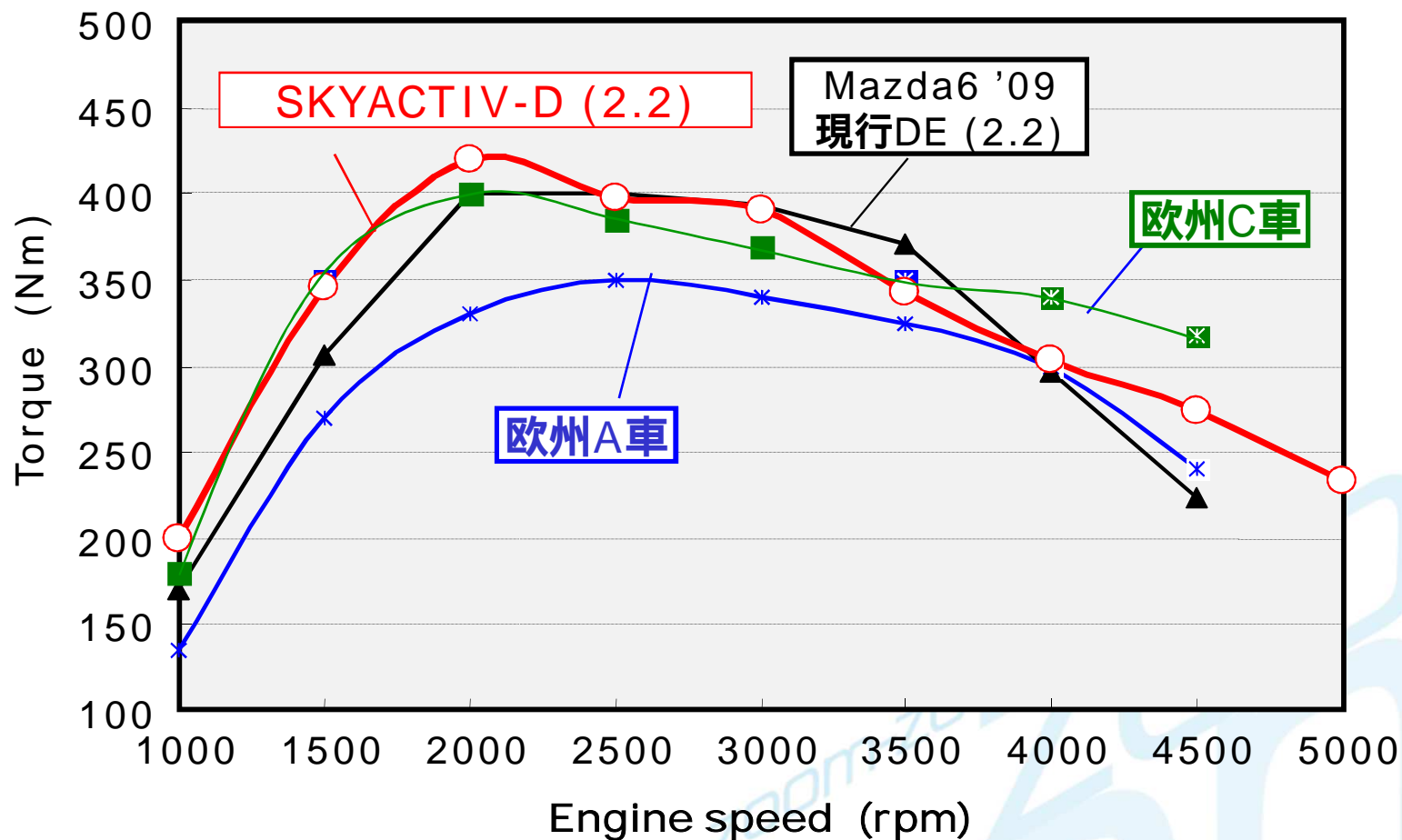


低圧縮比(SKYACTIV-D)



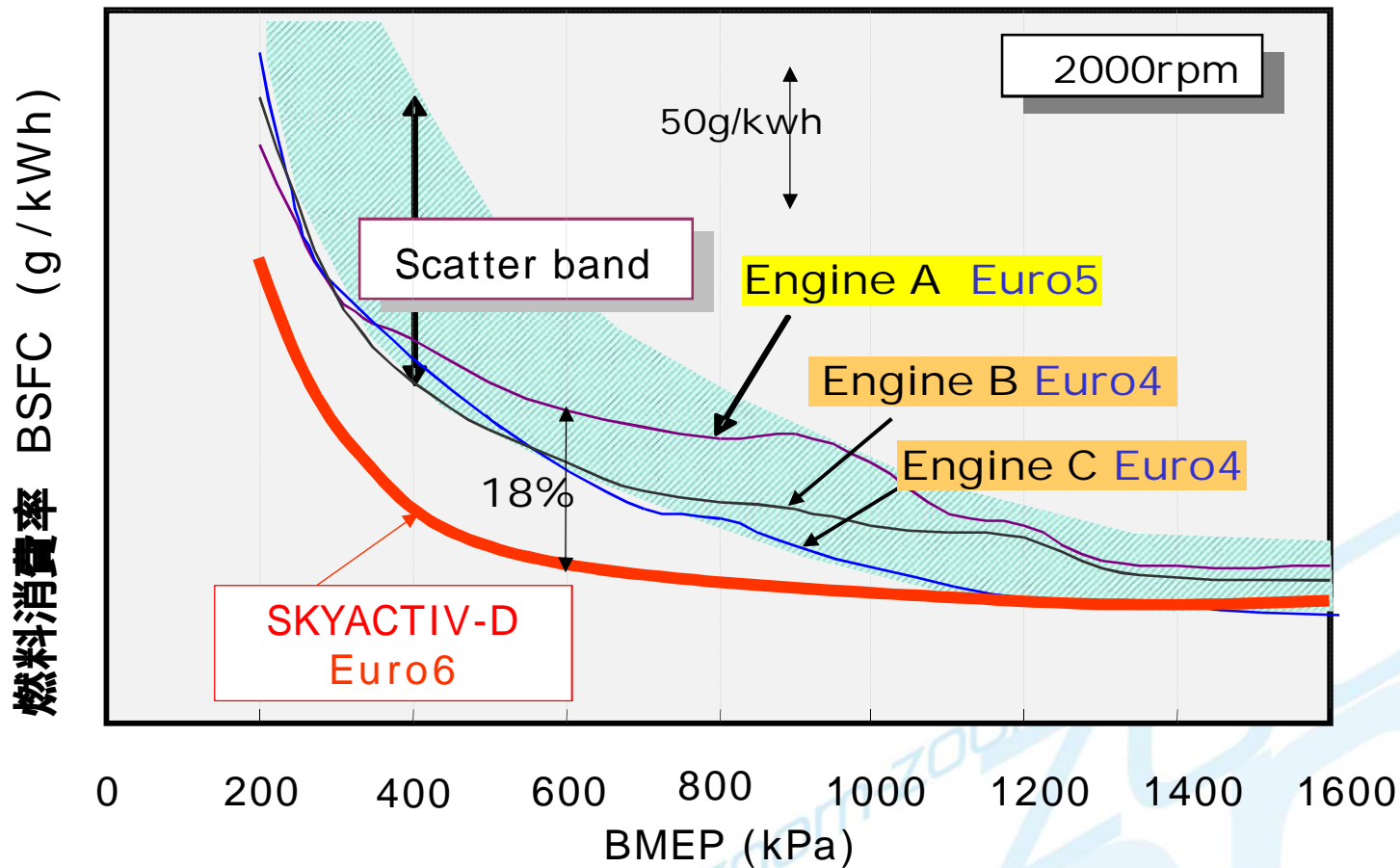
低圧縮比 NOx、煤低減 & 低燃費

## 出力性能



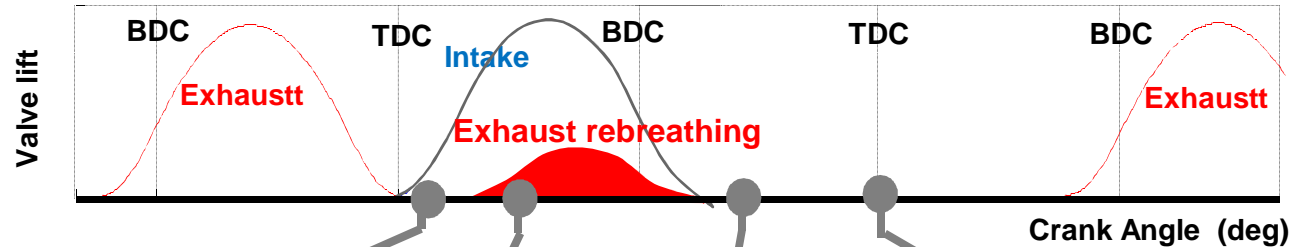
4Lガソリン並みトルク  
ガソリン並みの回転速度 5200rpm

## 燃費性能



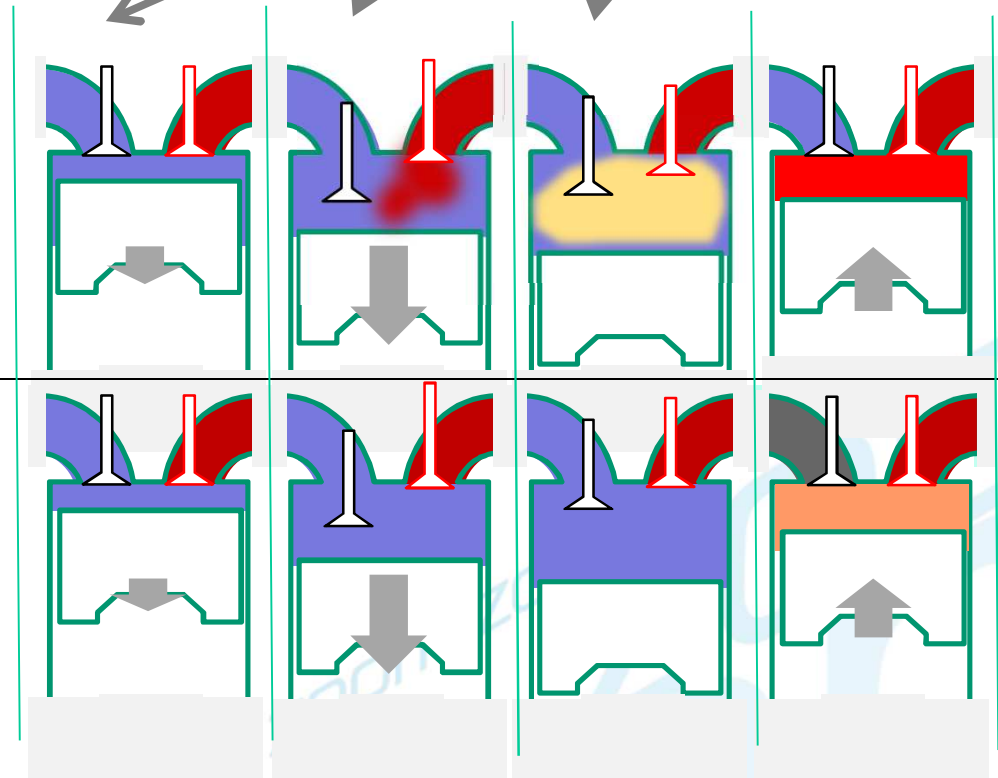
より厳しい排ガス規制にも燃費の犠牲無し

## 低圧縮比の課題対応



VVLによる排気2度開き  
(Variable Valve Lift)

通常排気



排気VVLで熱い排気を筒内に逆流させて温度を上昇させ、着火性を改善



## アメリカの実用燃費(US) *Consumer report 2013*

### Midsized cars

| Fuel economy (mpg) | COMBI  | CITY | HWY |    |
|--------------------|--|------|-----|----|
| 1                  | <a href="#">Ford Fusion SE Hybrid</a>        | 39   | 35  | 41 |
| 2                  | <a href="#">Toyota Camry Hybrid XLE</a>      | 38   | 32  | 43 |
| 3                  | <a href="#">Volkswagen Passat TDI SE</a>     | 37   | 26  | 51 |
| 4                  | <a href="#">Hyundai Sonata Hybrid</a>        | 33   | 24  | 40 |
| 5                  | <a href="#">Mazda6 Sport</a>                 | 32   | 22  | 44 |
| 6                  | <a href="#">Nissan Altima 2.5 S (4-cyl.)</a> | 31   | 21  | 44 |
| 7                  | <a href="#">Honda Accord LX (4-cyl.)</a>     | 30   | 21  | 40 |
| 8                  | <a href="#">Chevrolet Malibu Eco</a>         | 29   | 20  | 41 |
| 9                  | <a href="#">Toyota Camry LE (4-cyl.)</a>     | 27   | 19  | 41 |
| 10                 | <a href="#">Hyundai Sonata GLS</a>           | 27   | 18  | 39 |
| 11                 | <a href="#">Subaru Legacy 2.5i Premium</a>   | 26   | 18  | 35 |
| 12                 | <a href="#">Chevrolet Malibu 1LT</a>         | 26   | 17  | 38 |
| 13                 | <a href="#">Toyota Camry XLE (V6)</a>        | 26   | 17  | 37 |
| 14                 | <a href="#">Honda Accord EX-L (V6)</a>       | 26   | 16  | 39 |

### COMPACT CARS Overall mpg

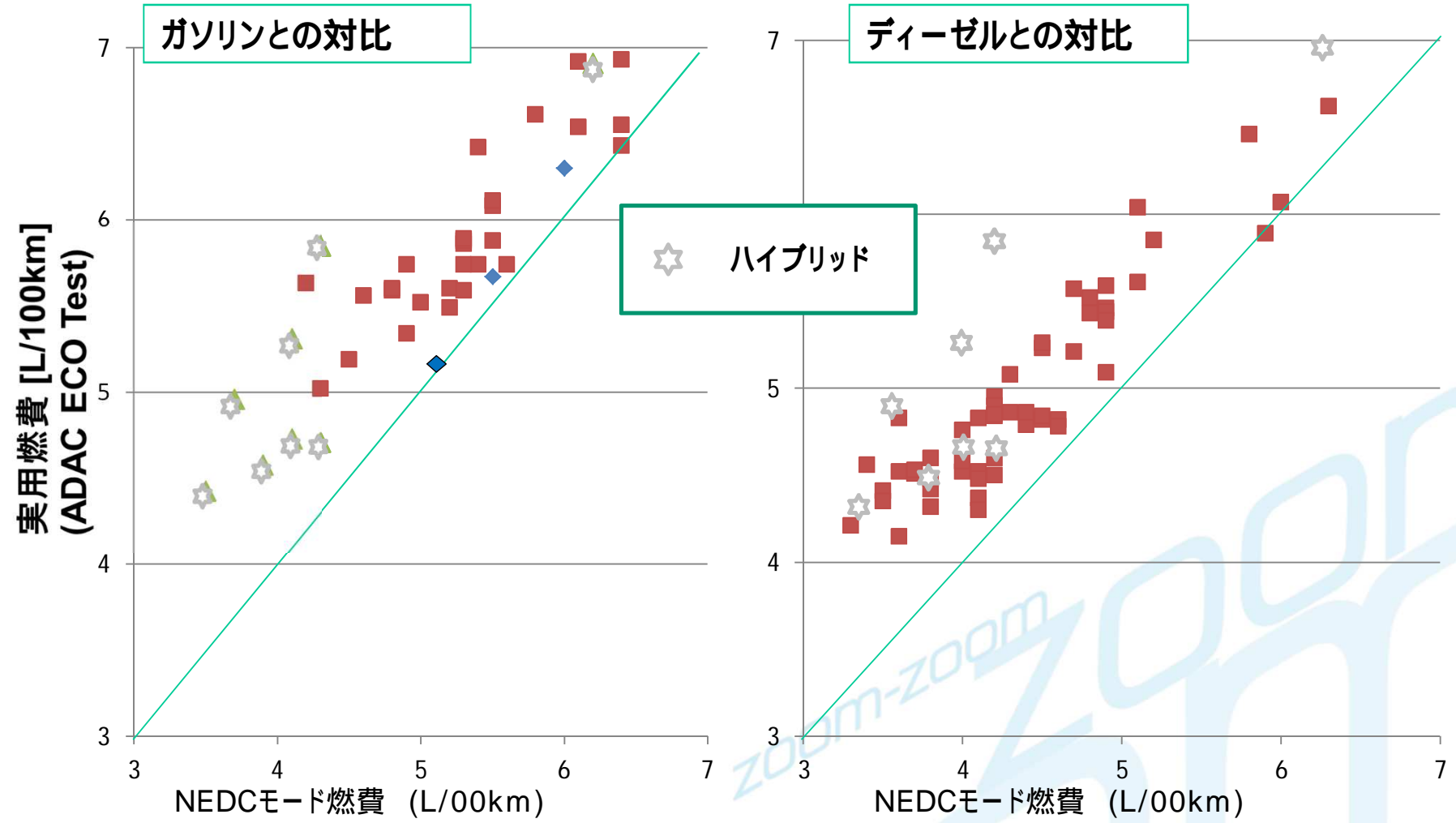
| Fuel economy (mpg) | COMBI  | CITY | HWY |    |
|--------------------|--|------|-----|----|
| 1                  | <a href="#">Honda Civic Hybrid</a>               | 40   | 28  | 50 |
| 2                  | <a href="#">Volkswagen Jetta Hybrid SE</a>       | 37   | 29  | 45 |
| 3                  | <a href="#">Volkswagen Jetta TDI</a>             | 34   | 25  | 45 |
| 4                  | <a href="#">Mazda3 i Touring sedan</a>           | 33   | 23  | 45 |
| 5                  | <a href="#">Chevrolet Cruze Turbo Diesel</a>     | 33   | 22  | 49 |
| 6                  | <a href="#">Mazda3 i Grand Touring hatchback</a> | 32   | 24  | 41 |
| 7                  | <a href="#">Toyota Corolla LE Plus</a>           | 32   | 23  | 43 |
| 8                  | <a href="#">Ford Focus SE SFE</a>                | 31   | 21  | 43 |
| 9                  | <a href="#">Volkswagen Jetta SE (1.8T)</a>       | 30   | 21  | 39 |
| 10                 | <a href="#">Nissan Sentra SV</a>                 | 29   | 21  | 38 |
| 11                 | <a href="#">Honda Civic EX</a>                   | 29   | 20  | 40 |
| 12                 | <a href="#">Hyundai Elantra GLS</a>              | 29   | 20  | 39 |
| 13                 | <a href="#">Dodge Dart Rallye</a>                | 29   | 19  | 41 |

ディーゼルならハイブリッドと変わらない

# 内燃機関の究極へのステップ

# SKYACTIVディーゼル

## 欧州では？



**欧州ではディーゼルはハイブリッド以上の実用燃費**

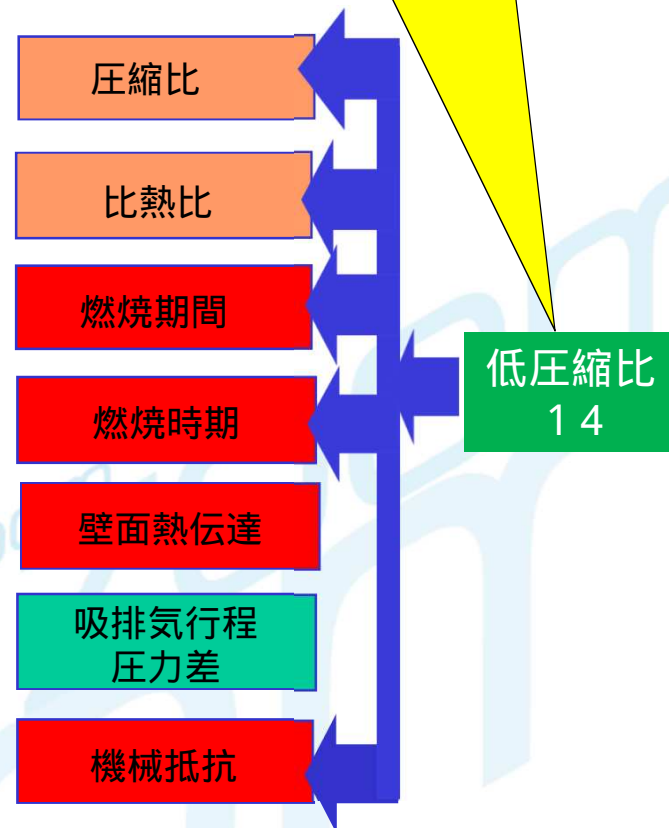
# SKYACTIV-D

排ガス規制強化 燃費犠牲、高価なNOx後処理  
高コスト、燃費悪化

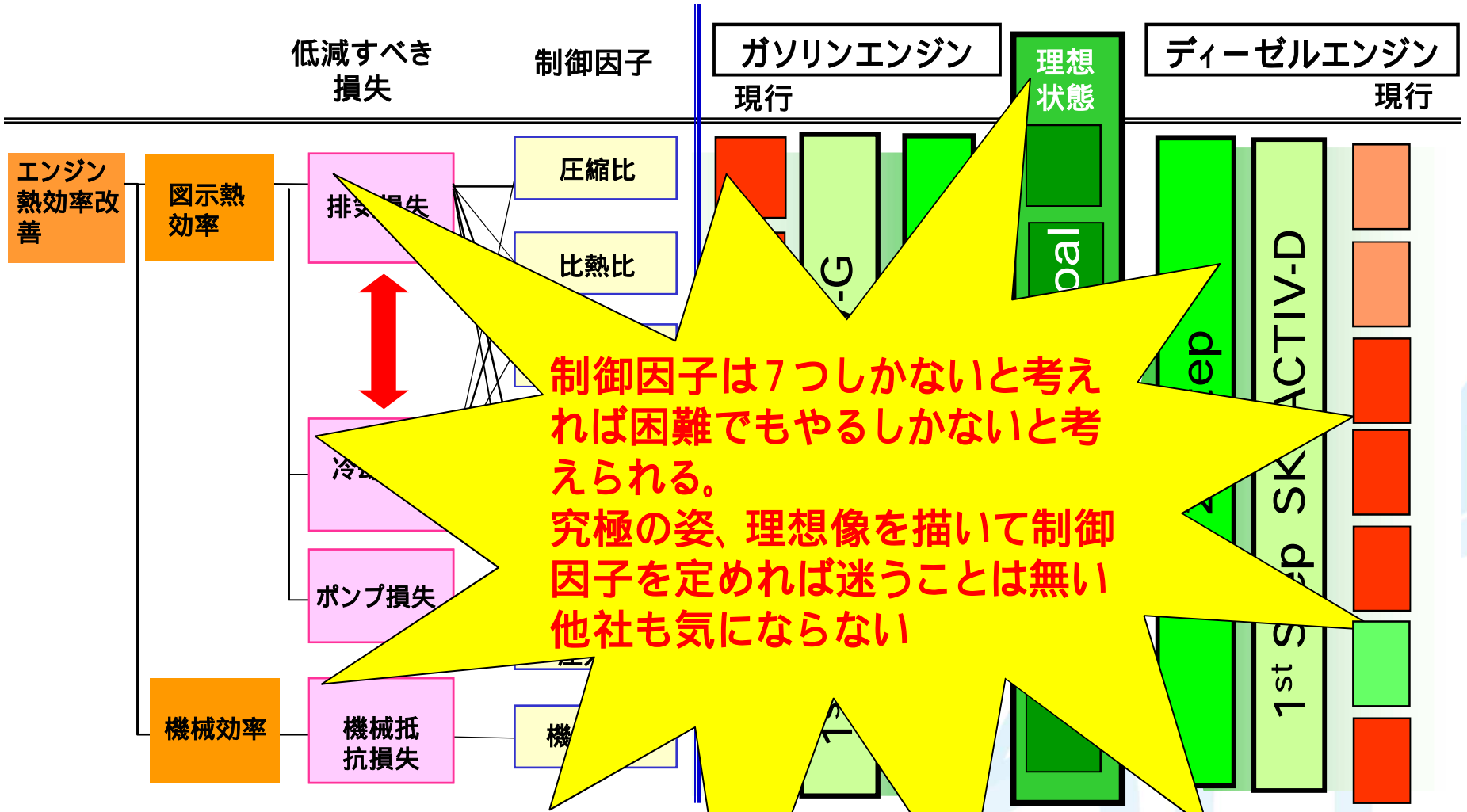


- 世界一の低圧縮比
- 高価なNOx後処理無しで対応
- コストは現行ディーゼル同等
- 4Lガソリンの走り、1.5Lクラスの燃費

## Bowlingの一番ピン



# なぜ他社も大勢のエンジニアがやっているのにマツダができたのか？に対する返答



制御因子は7つしかない 究極まで行くRoadmap

*SKYACTIV開発までの経緯*

*技術革新*

*内燃機関の究極へのステップ*

*SKYACTIV ガソリン*

*SKYACTIV ディーゼル*

*Next Step*

*プロセス革新*

*CAE強化による開発*

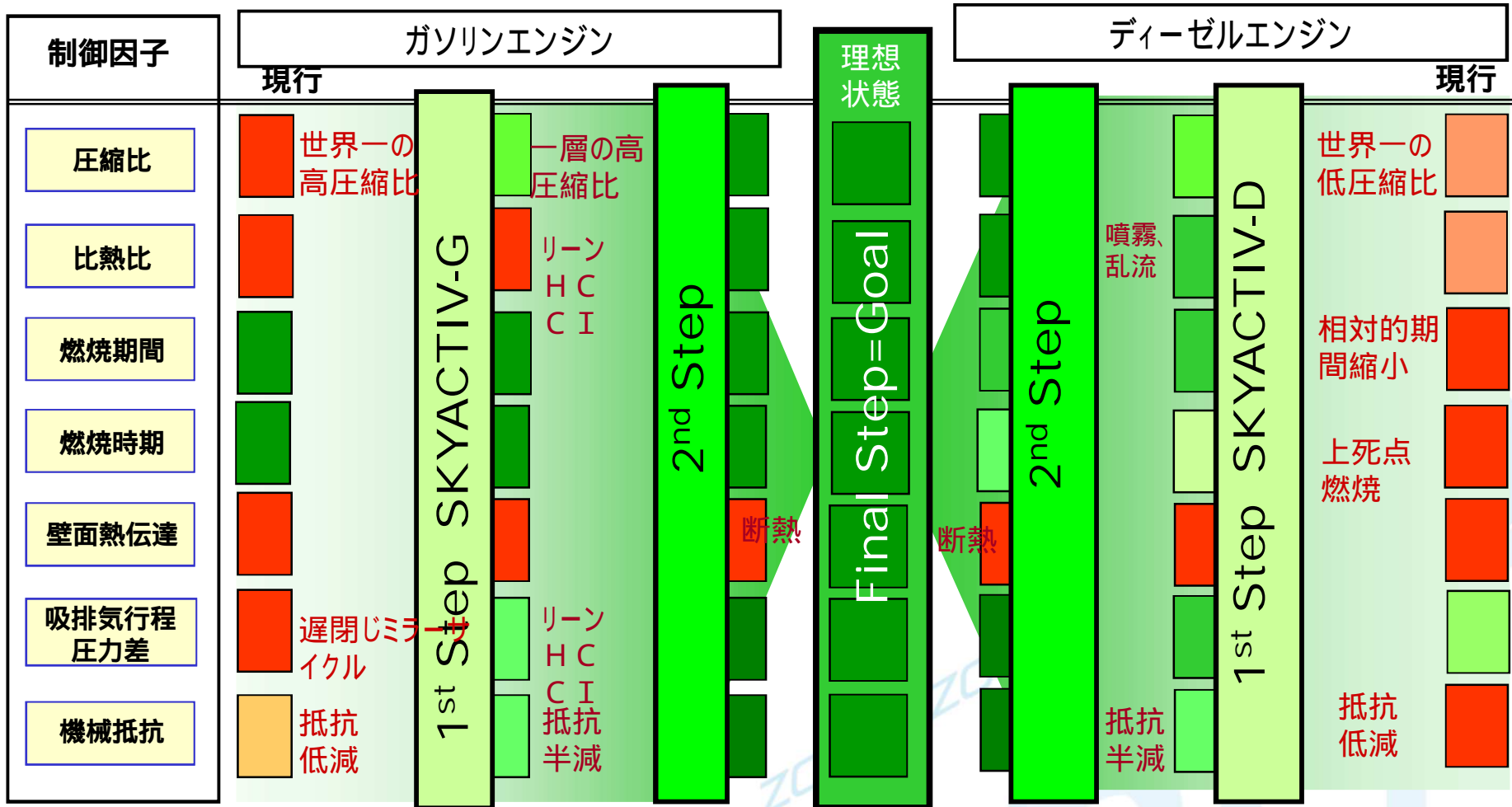
*一括企画、一括開発*

# 内燃機関の究極へのステップ

Next step

## 内燃機関進化Vision

■ 遠い 理想からの距離 ■ 近い

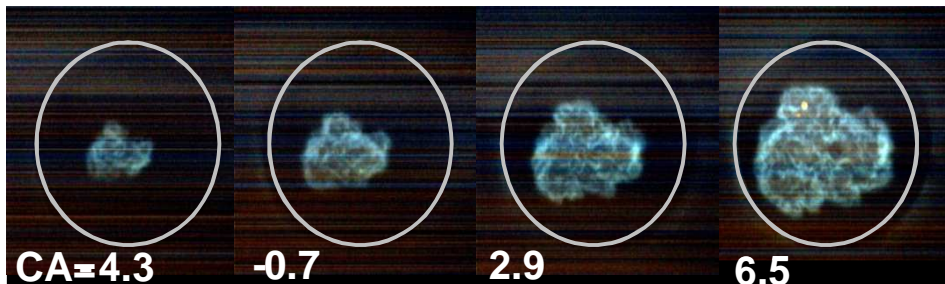


理想へのRoadmap ガソリンもディーゼルも同じようになる

## HCCIの可能性

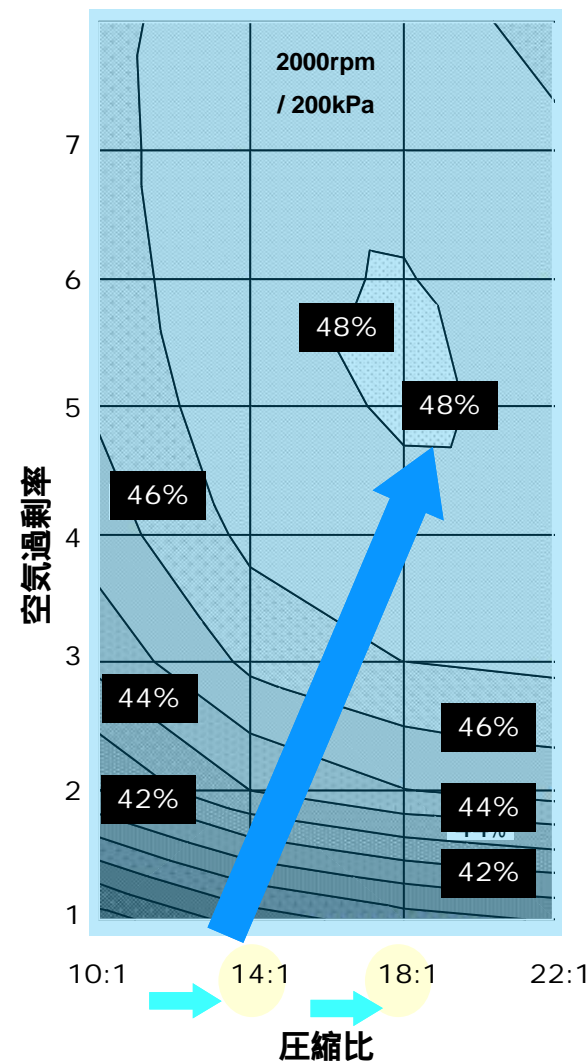
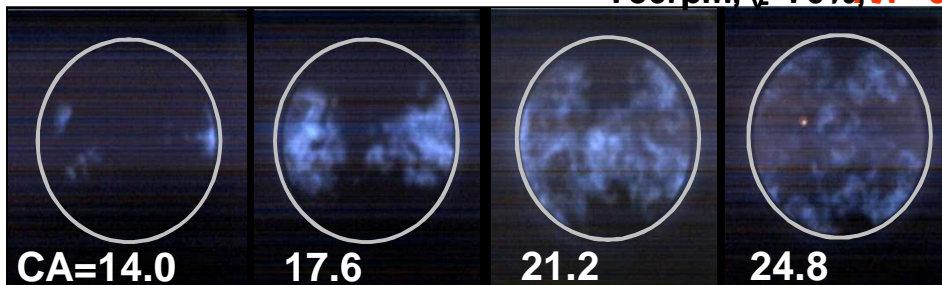
Spark ignition

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



Compression ignition

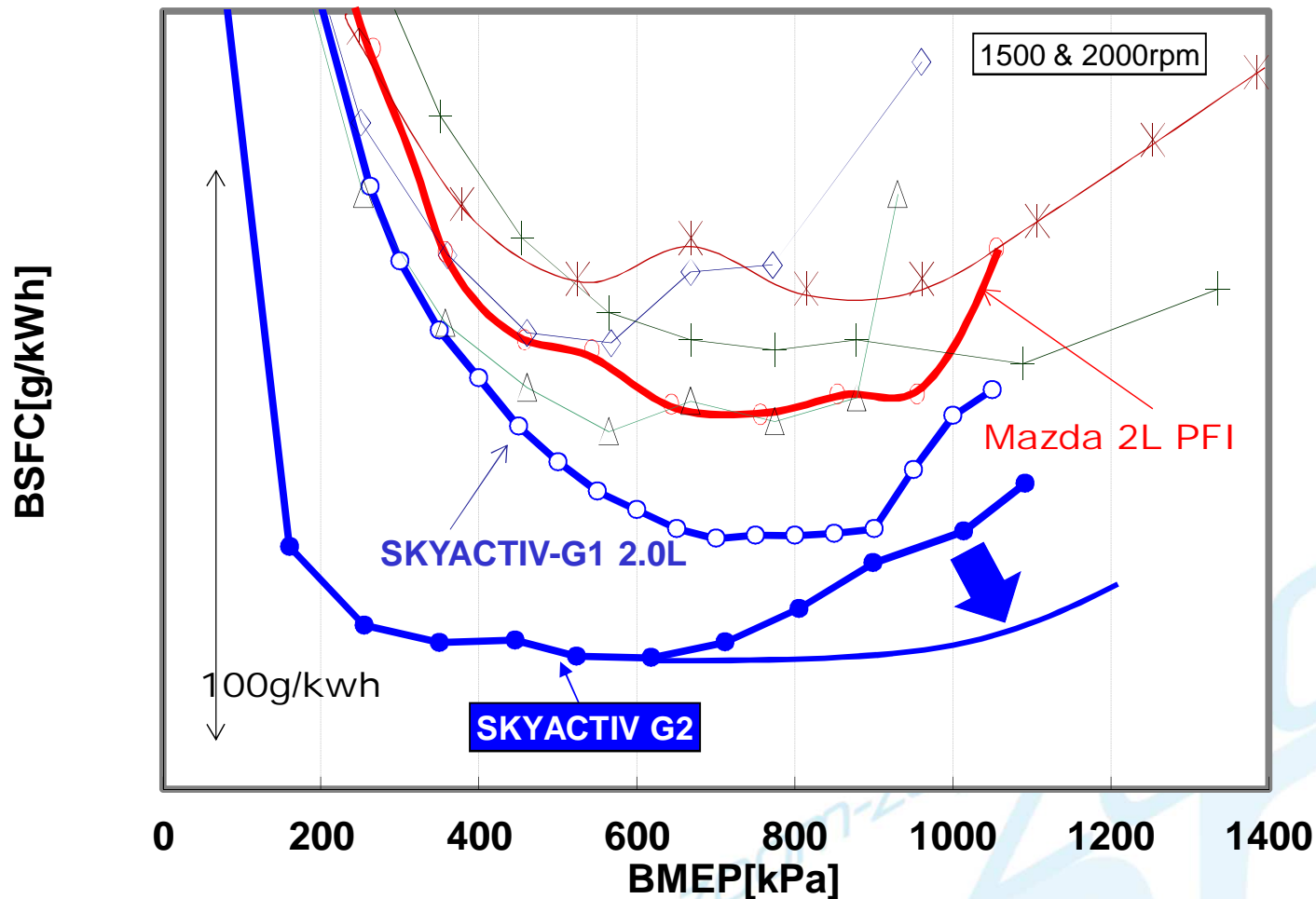
750rpm,  $v_c=70\%$ ,  $A/F=35$



大きく改善するには均質リーンの方角しかない

CAE無で実現可能性なし

## 燃料消費率

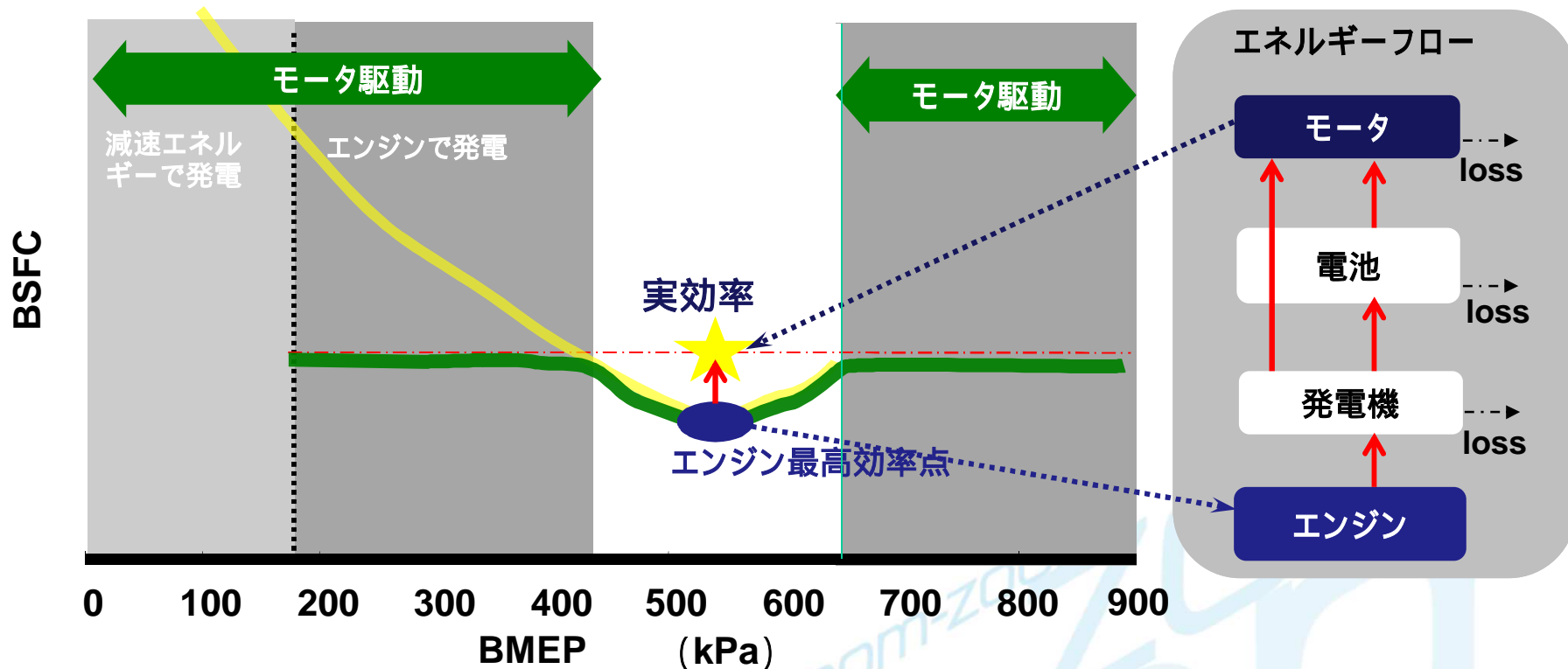


軽負荷域まで大きく改善



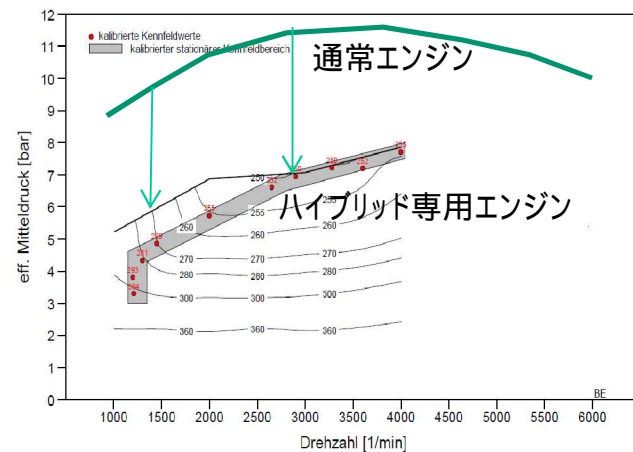
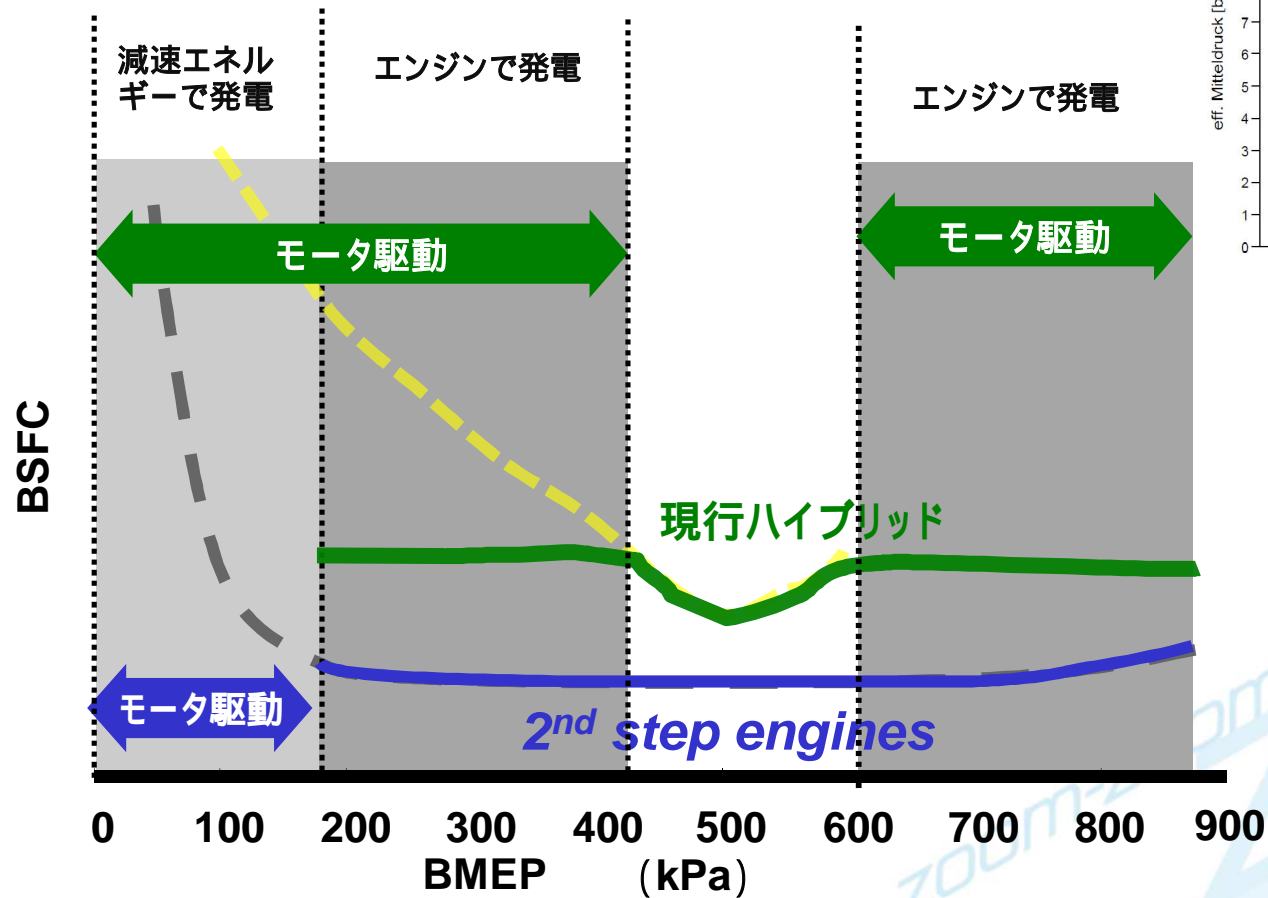
## ハイブリッド化 電気デバイスへの要求

減速エネルギーで賄えるのは車を動かすエネルギーの10-30%



効率改善には効果的だがハイブリッド専用エンジンのため出力は排気量に見合うほど出ないから高負荷までアシストするため大きなバッテリーとモータが必要

## ハイブリッド化 電気デバイスへの要求

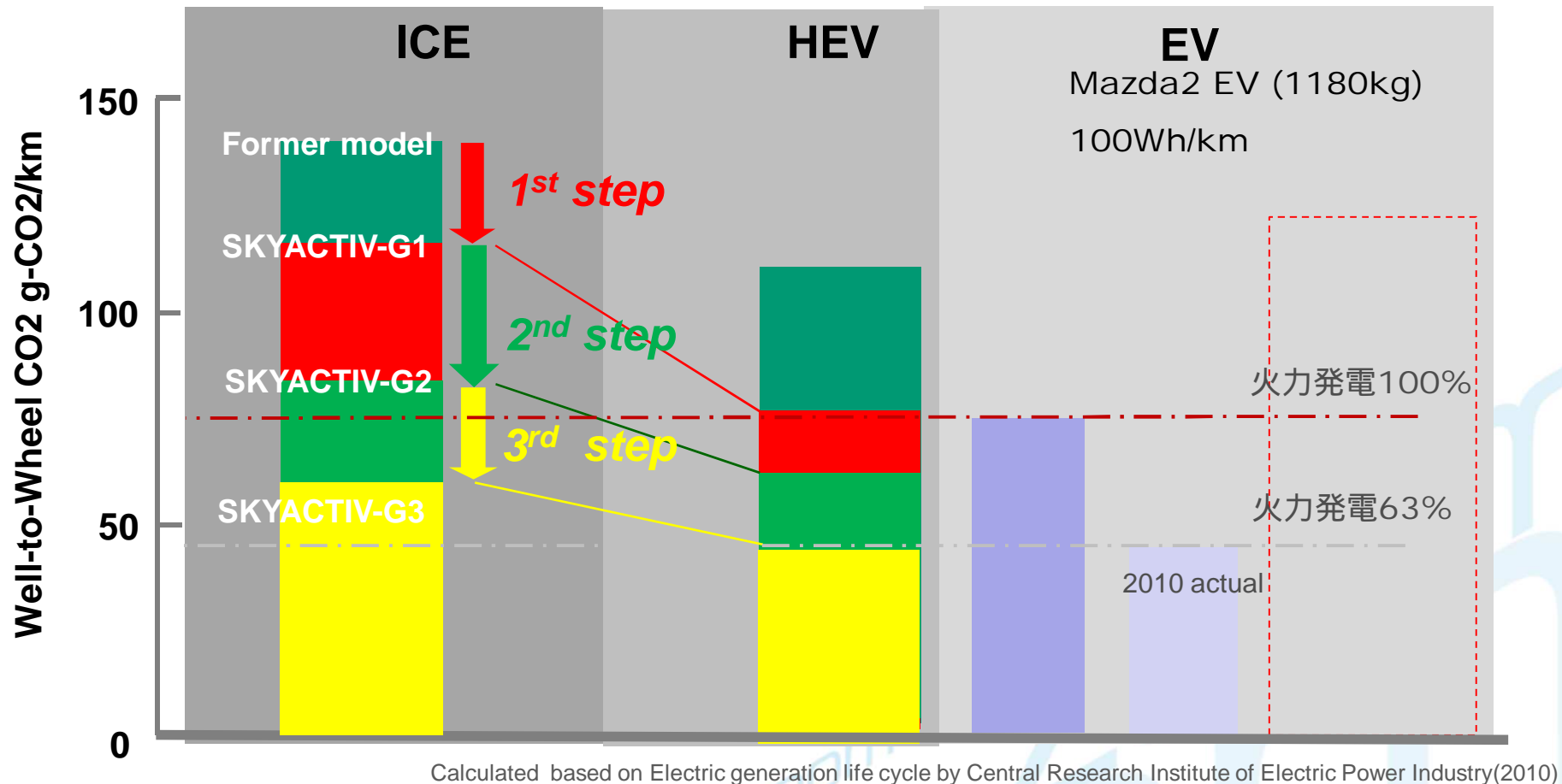


ハイブリッド専用エンジンは通常排気量の6割程度しか性能を出していない エンジンだけの車には使えない

次世代エンジンはハイブリッド化する際、小さなモータ、バッテリーで十分

## 内燃機関のCO2削減レベル

Case study Mazda2 JC08  
(including vehicle improvement)



内燃機関主体で電気自動車並みのCO2レベルは可能

*SKYACTIV開発までの経緯*

*技術革新*

*内燃機関の究極へのステップ*

*SKYACTIV ガソリン*

*SKYACTIV ディーゼル*

*Next Step*

*プロセス革新*

*CAE強化による開発*

*一括企画、一括開発*

# CAE強化による開発

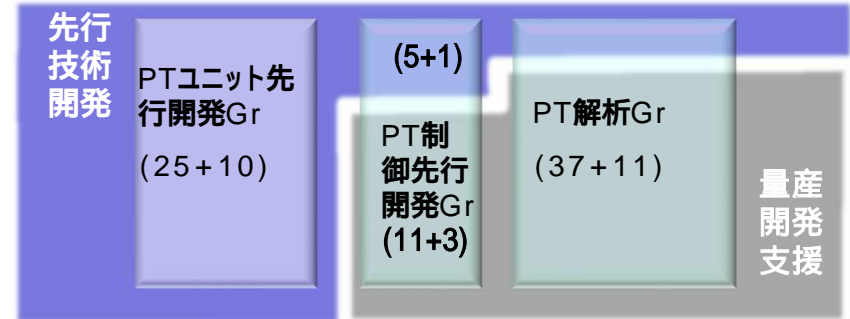
## 主要共通課題の選択と集中

### 新技術開発

他社がやっていることのどれかを選ぶ？

### 商品開発

品質改善、コスト低減、性能改善、ジョイントプログラム、・・・ 従来の作ってテストしては改善というやり方で続けるか？



## 集約した課題

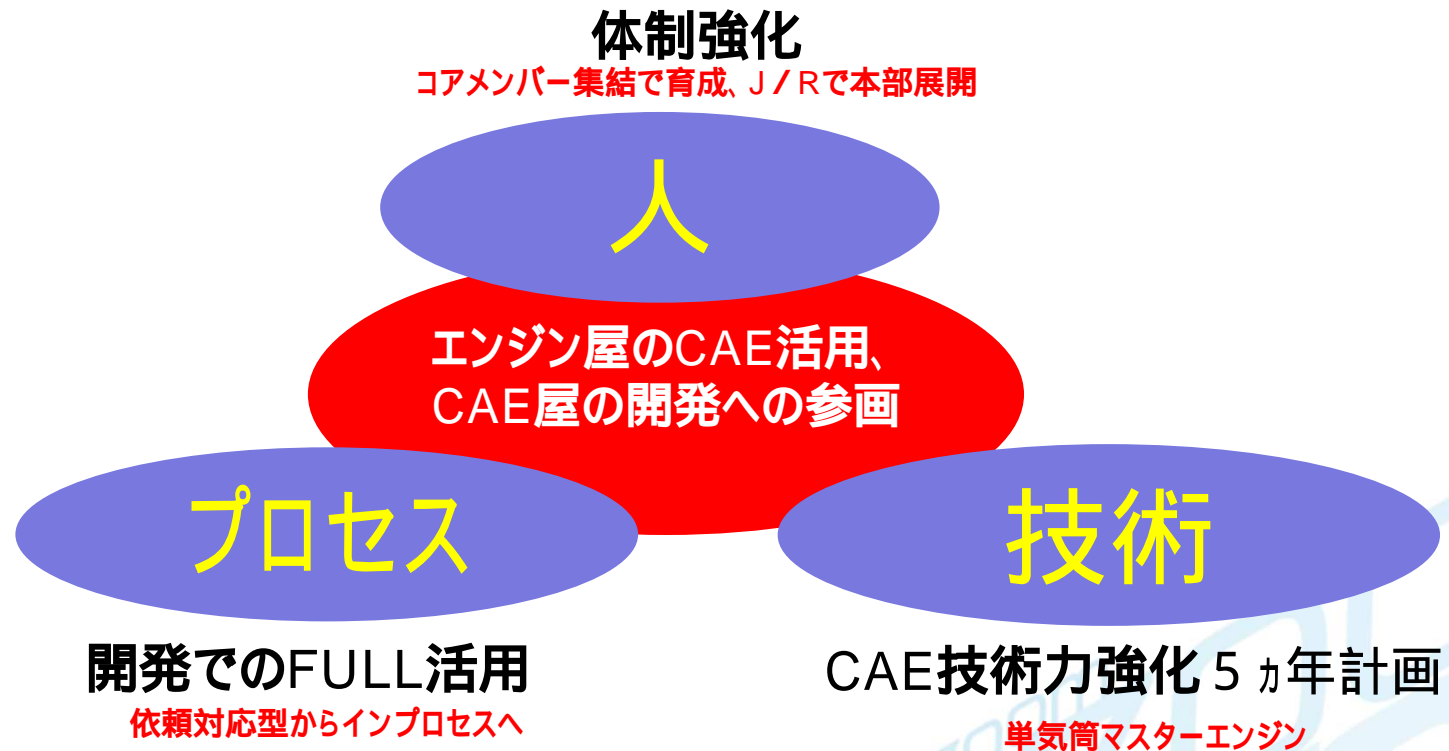
Bowlingの一番ピン

新技術開発； 進むべき方向を定め焦点を絞った技術開発

プロセス； CAEを駆使した開発（実機による試行錯誤に頼らない開発）

# CAE強化による開発

## CAE能力強化の施策



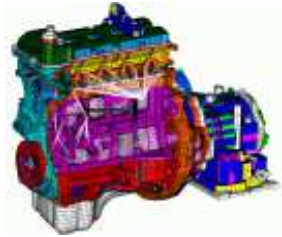
一体活動でCAE強化に邁進

# CAE強化による開発

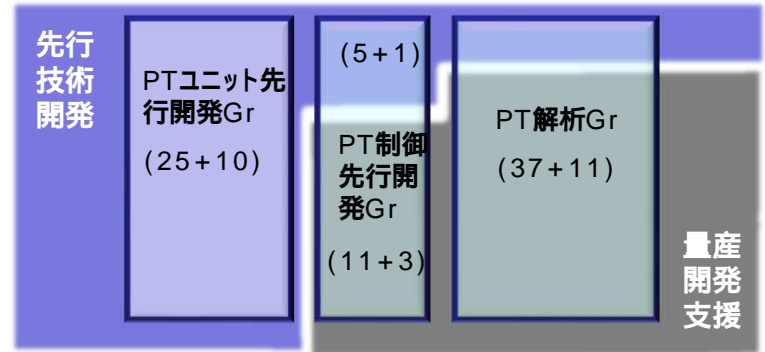
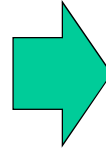
## CAE強化

### 単気筒エンジン マスターCAE構想

従来 開発中のエンジンのテスト結果検証  
得られる情報

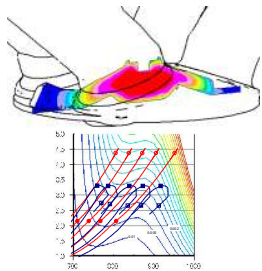


- ・従来の台上測定項目のみ



CAE技術力向上困難

### 変更後 単気筒マスターエンジン



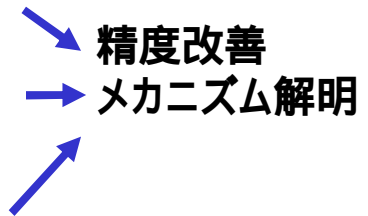
得られる情報

- ・筒内流動(PIV)
- ・噴霧・燃焼の可視化結果

専用エンジン

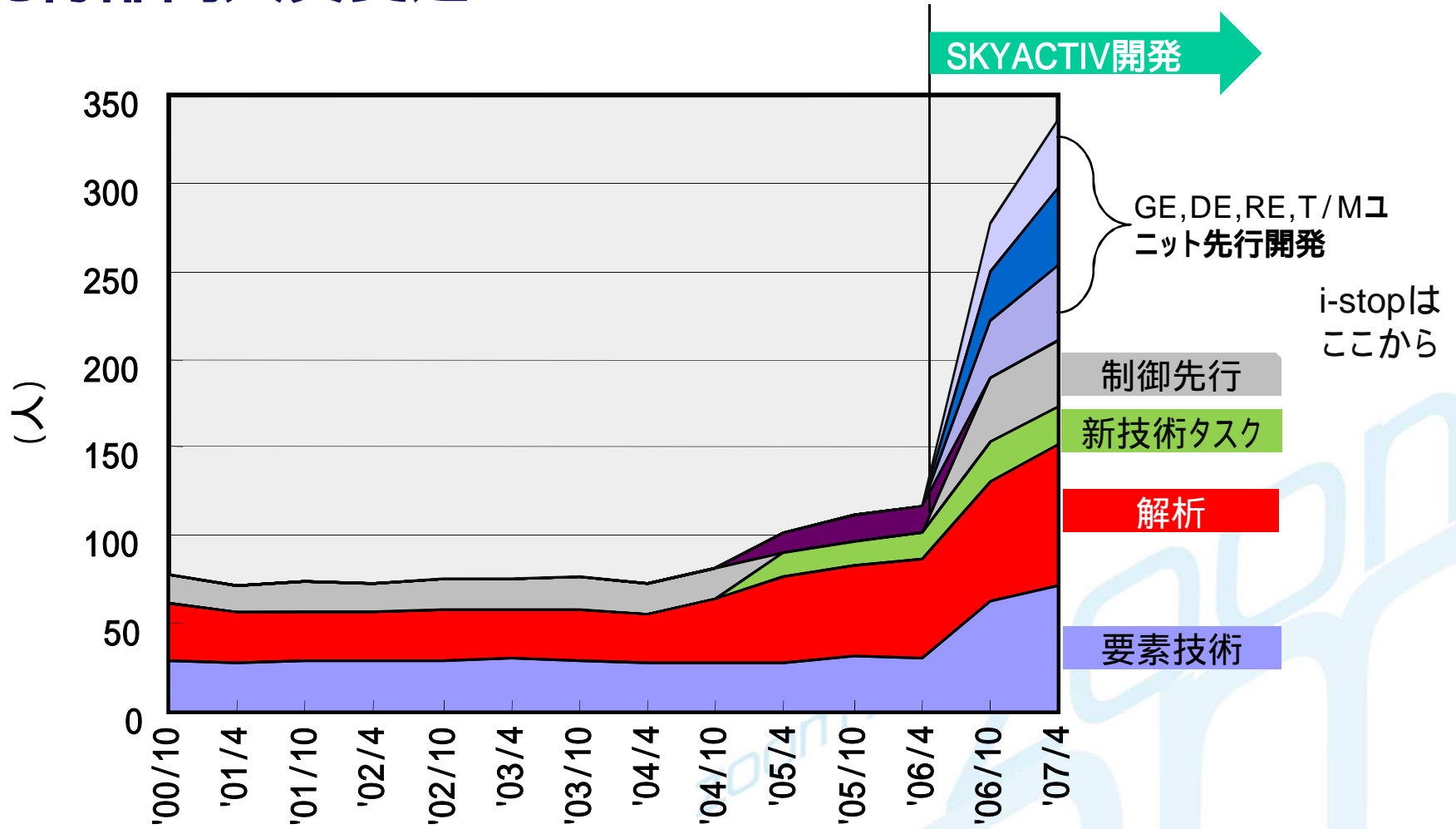
細かい物理現象

多数の物理量同時計測



わずかな先行開発部隊もCAE強化にベクトルをあわせる

## 先行部門人員変遷

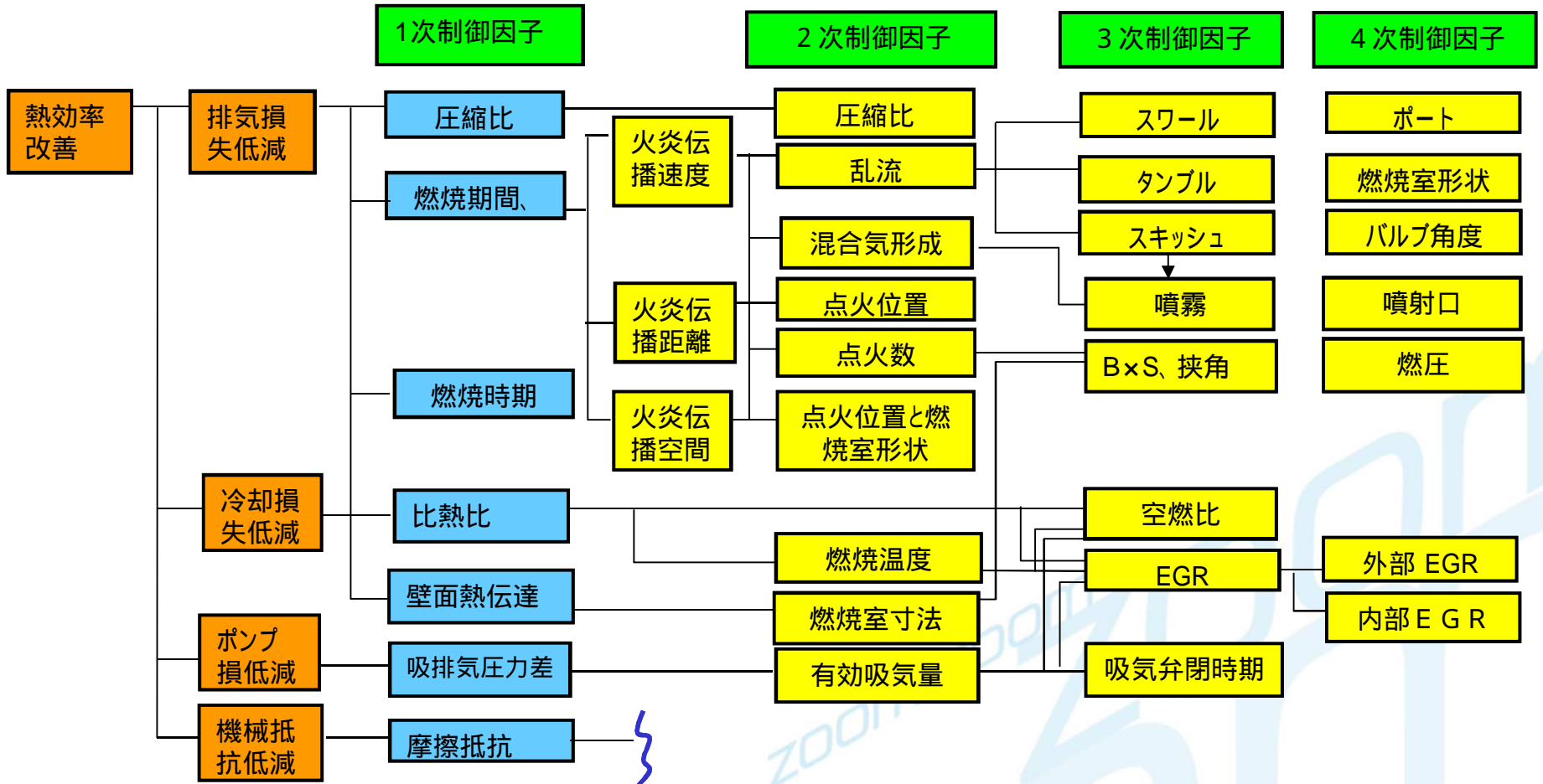


2004年から解析の人員増開始



# CAE強化による開発

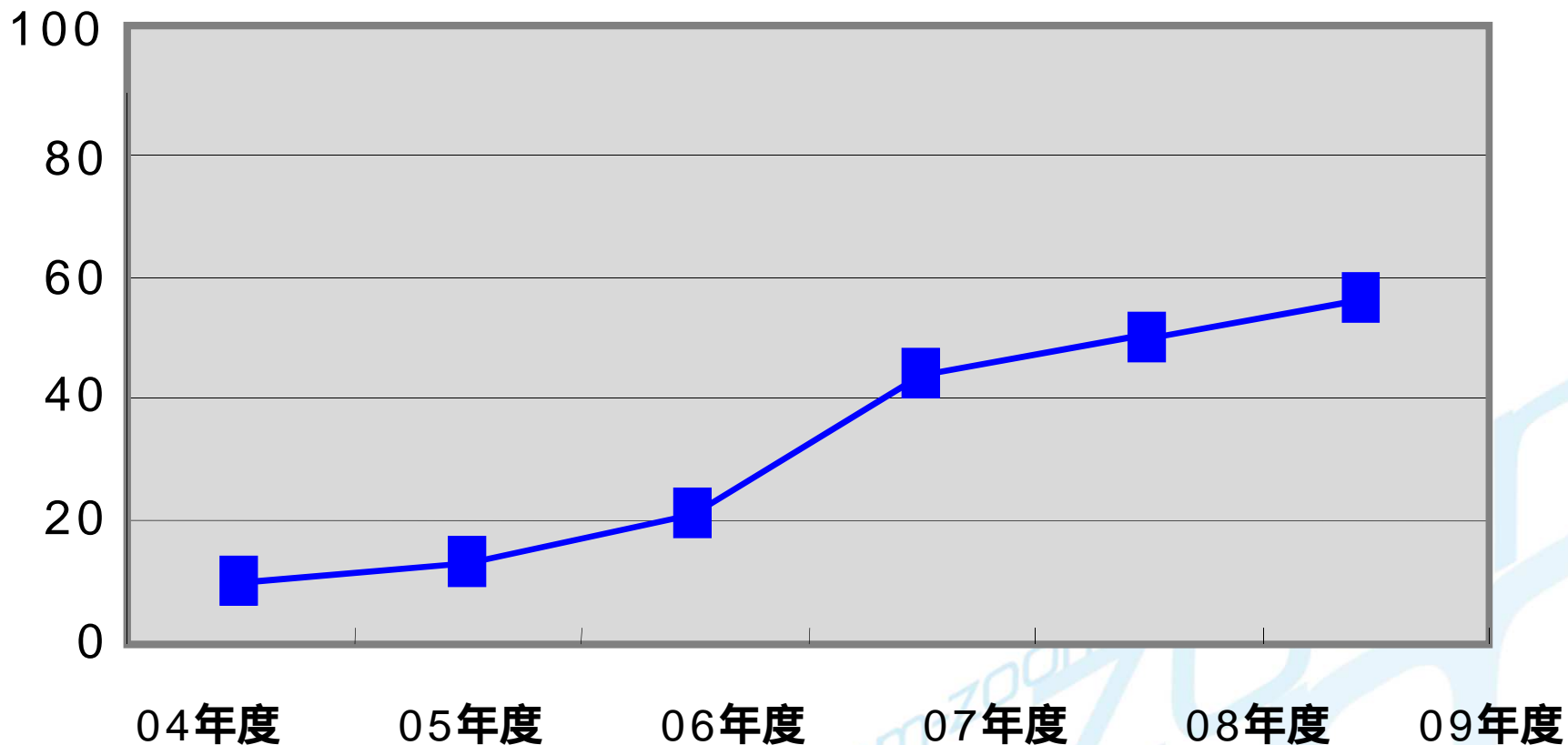
## 制御因子間をCAEでつなぐ



全てのつながりをCAE化

## インプロセス化の進展

### 初回出図前CAE検証率



CAE主体の開発が可能になった

# プロセス革新 SKYACTIVとCAE

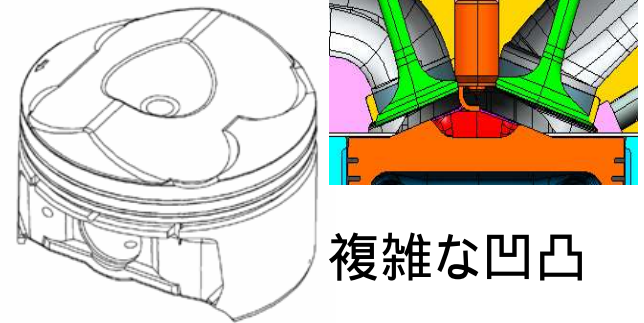
## 超高圧縮比

燃焼室

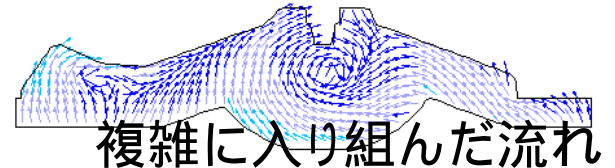
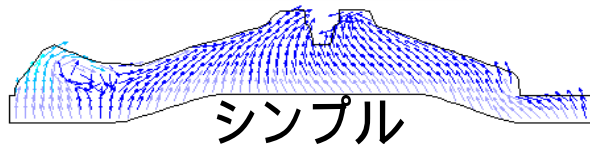
従来エンジン



SKYACTIV-G



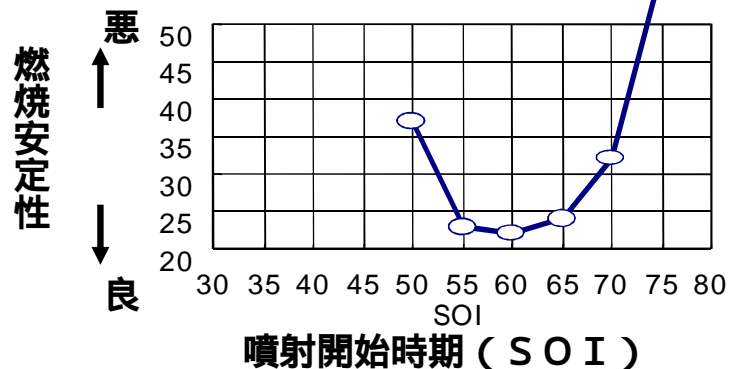
筒内流動



混合気分布



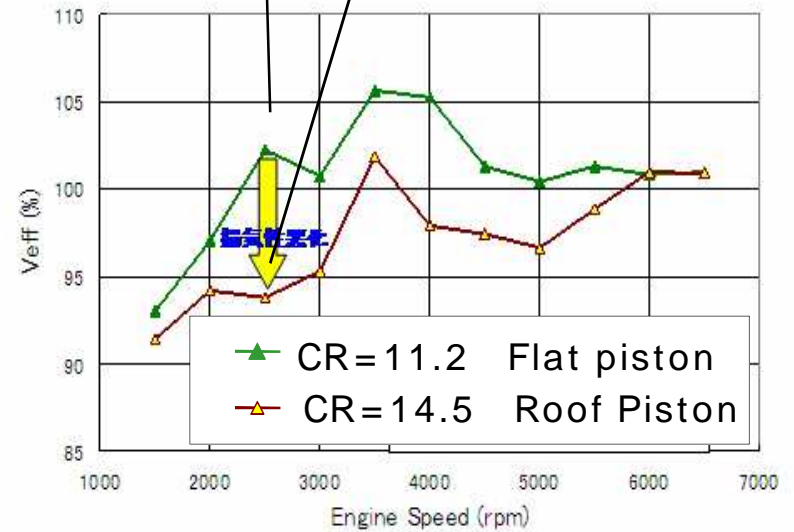
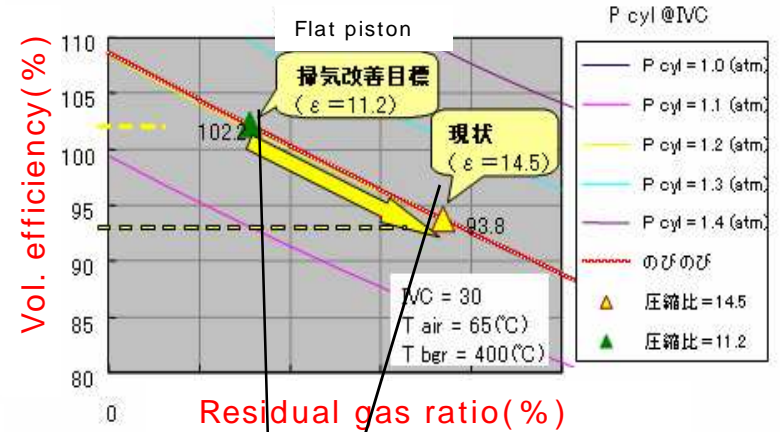
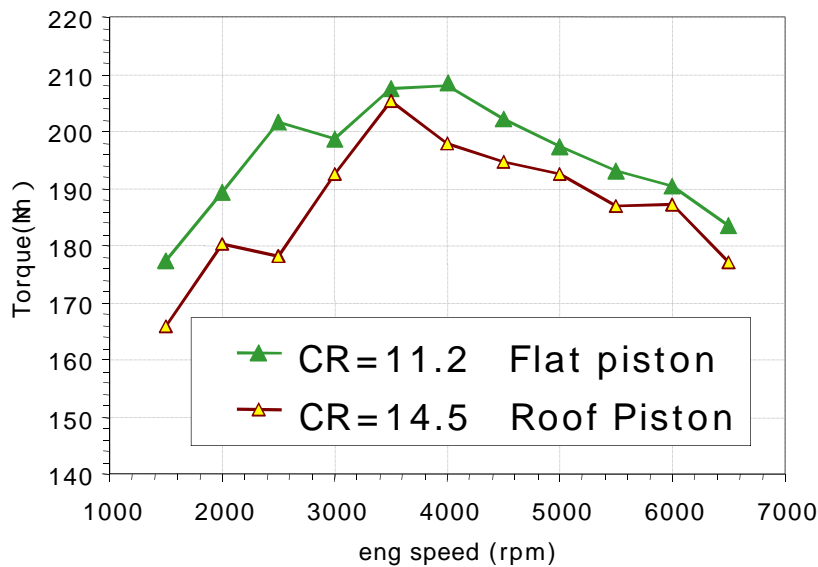
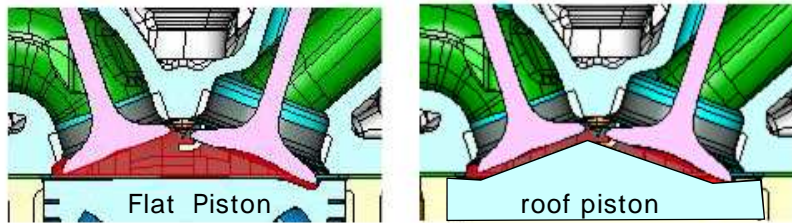
燃焼安定性（実機結果）



CAEの活用でメカニズムを把握して進めないと実現不可能！！

# プロセス革新 SKYACTIVとCAE

## 高圧縮比と体積効率



1 Dシミュレーションで十分だった体積効率予測も3 Dが必要

## CAEの重要性に対する認識の浸透

- CAEの有用性を感じていなかった設計者、実験者が今ではCAE無しの開発などありえないと感じている
- 問題が出た時に依頼を受けて問題解決に役立ったとき最高の達成感を感じていたCAE屋が何事も無く開発を終えることに価値観を感じるようになった
- 依頼されて解析をするのでなく自らがスペックを決める主役であるという意識が出てきた
- モデルベース開発の必要性に対する認識も浸透  
新技術もCAE & 制御モデルとセットで提案という認識

モデルベース開発に向けての基盤は出来た

*SKYACTIV開発までの経緯*

*技術革新*

*内燃機関の究極へのステップ*

*SKYACTIV ガソリン*

*SKYACTIV ディーゼル*

*Next Step*

*プロセス革新*

*CAE強化による開発*

***一括企画、一括開発***

# 一括企画、一括開発

## 仕事を生む要素

車種×機種（排気量×仕様差、A T or MT）×仕向け地×サプライヤー×上司の数  
×・・・

競合の動き、ネックエンジニアリング、規制の強化、変更、補助金制度、上司の思い付き

### 仕事を生む要素(変更要因)を初期段階で抑制

**迷わない** 将来へのroadmapを描きそれに沿って開発する(計画的進化)

**展開を容易にする** コモンアーキテクチャー

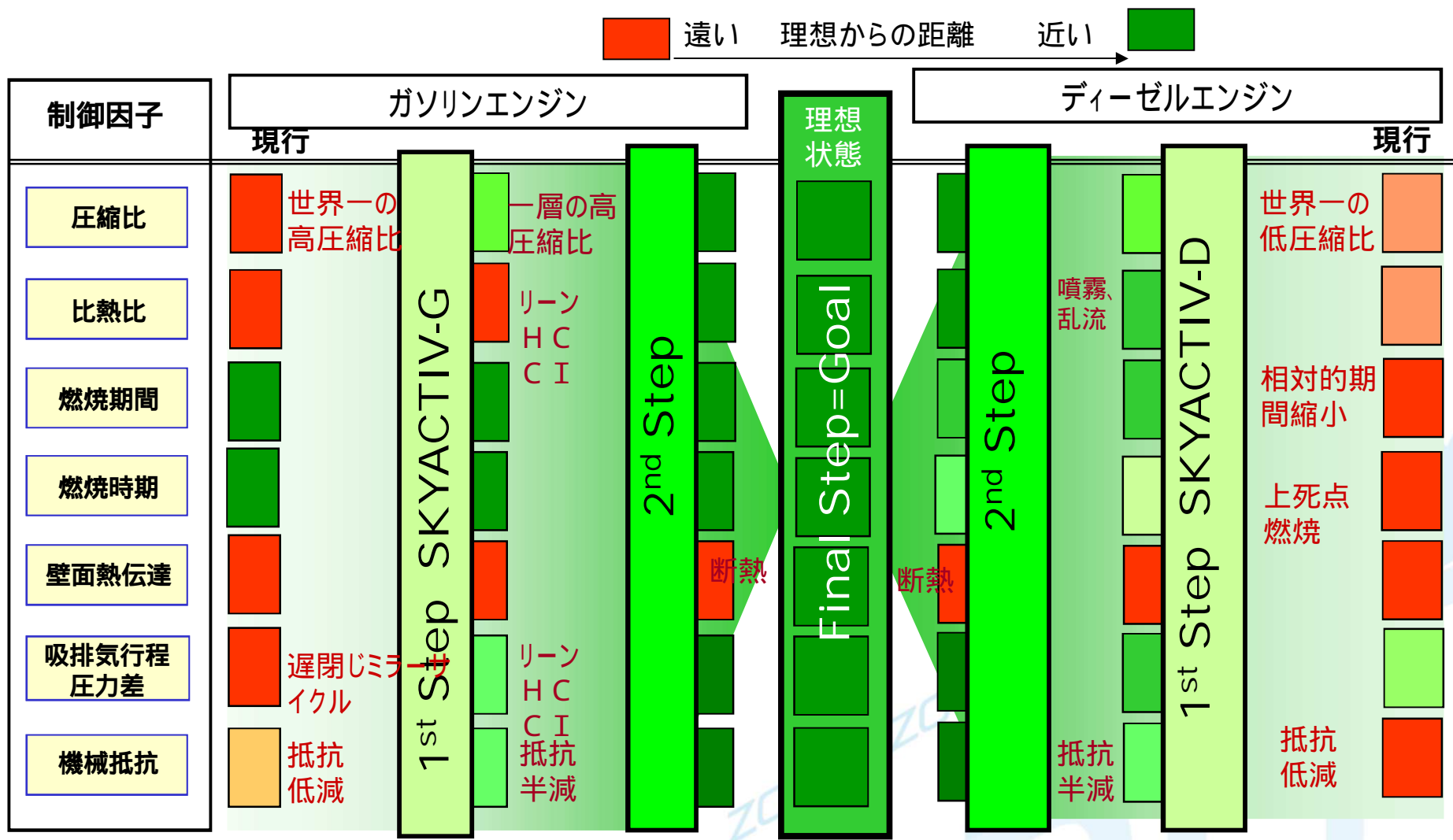
同体質PT→主開発要素は最初の親機種で完成させる

- ・ 特性共通化でCalibration共通化
- ・ 組み合わせはレゴブロックのように template開発

**やり直しをしない** 開発初期段階で品質確保 = 主要共通機能の強化

## モデルベース開発

信号やり取りのルール化 Template化



理想へのRoadmap ガソリンもディーゼルも同じようになる



# 一括企画、一括開発

## 仕事を生む要素(変更要因)を初期段階で抑制

迷わない 将来へのroadmapを描きそれに沿って開発する(計画的進化)

展開を容易にする コモンアーキテクチャー

同体質PT→主開発要素は最初の親機種で完成させる

- ・ 特性共通化でCalibration共通化
- ・ 組み合わせはレゴブロックのように template開発

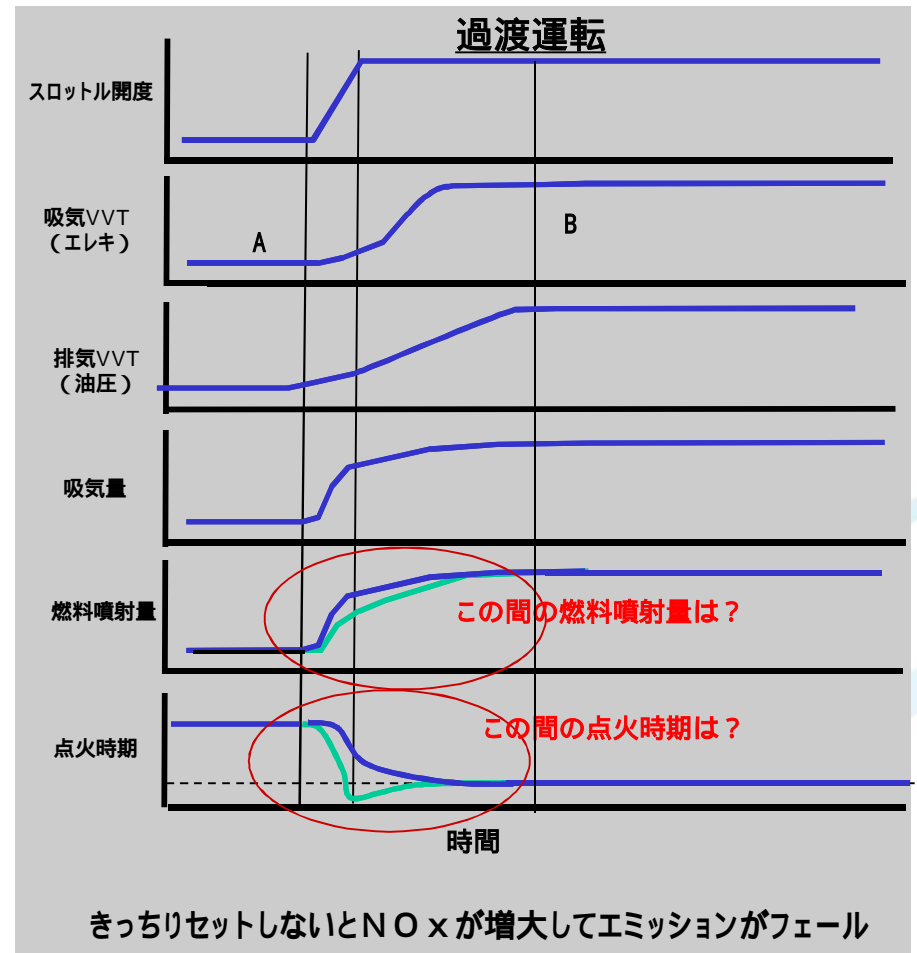
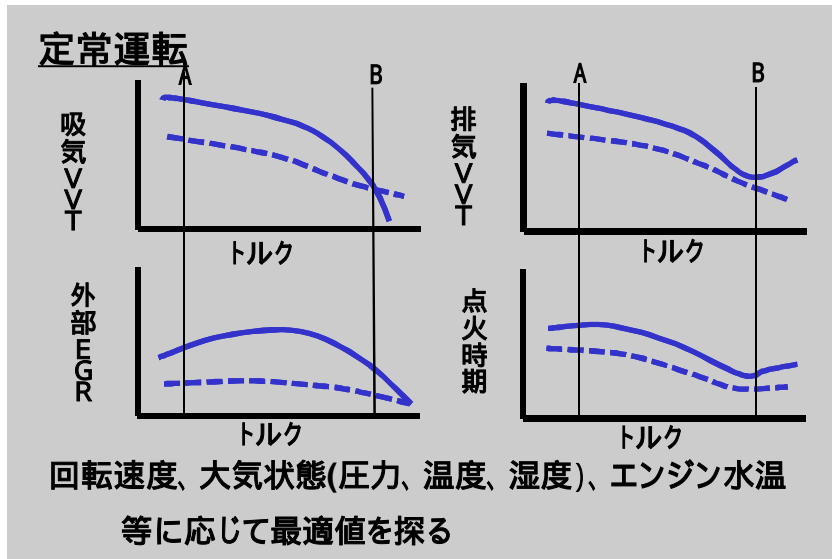
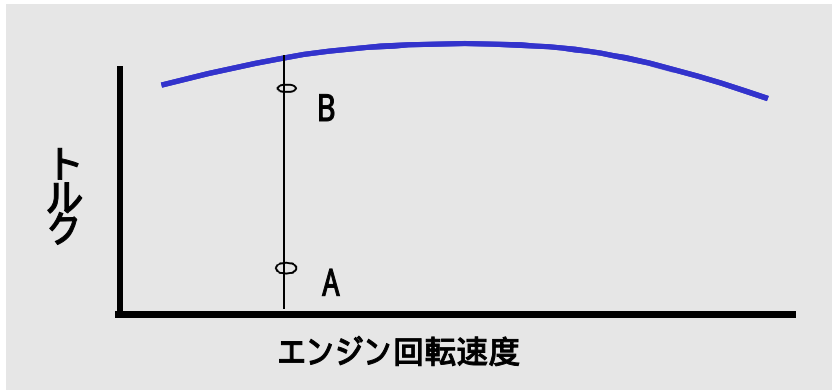
やり直しをしない 開発初期段階で品質確保 = 主要共通機能の強化

## モデルベース開発

信号やり取りのルール化 Template化

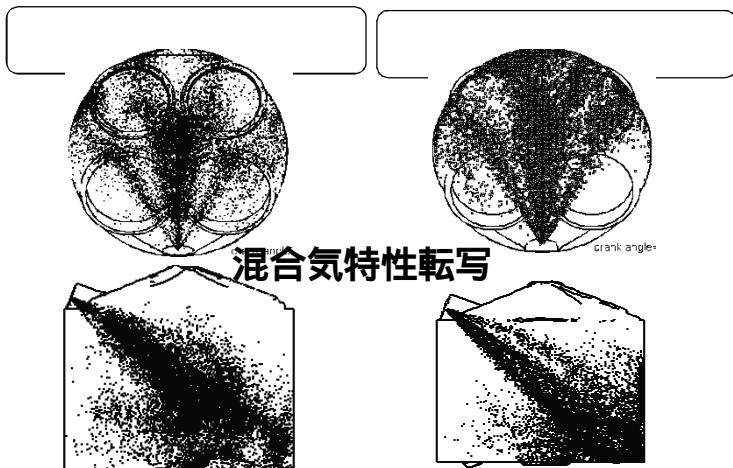
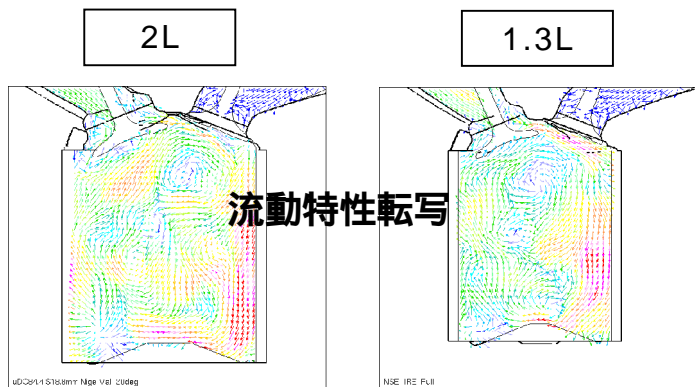
# 一括企画、一括開発 展開を容易にする コモンアーキテクチャー

機種毎、車種毎、仕向け地毎に多大な工数を費やす仕事； 適合

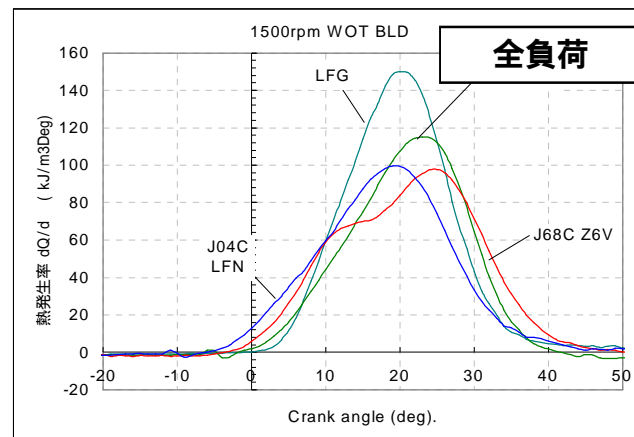


適合工数の増大； 点火時期や燃料噴射タイミング、噴射量、バルブタイミング、排ガス再循環量、OBD対応、ノッキング回避、パーズ制御、等々

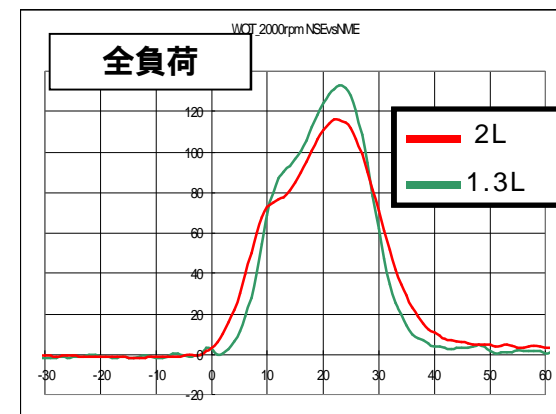
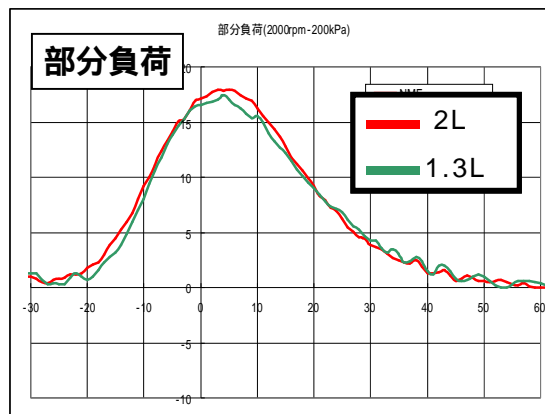
# 燃焼特性のコモンアーキテクチャー



現行Eng



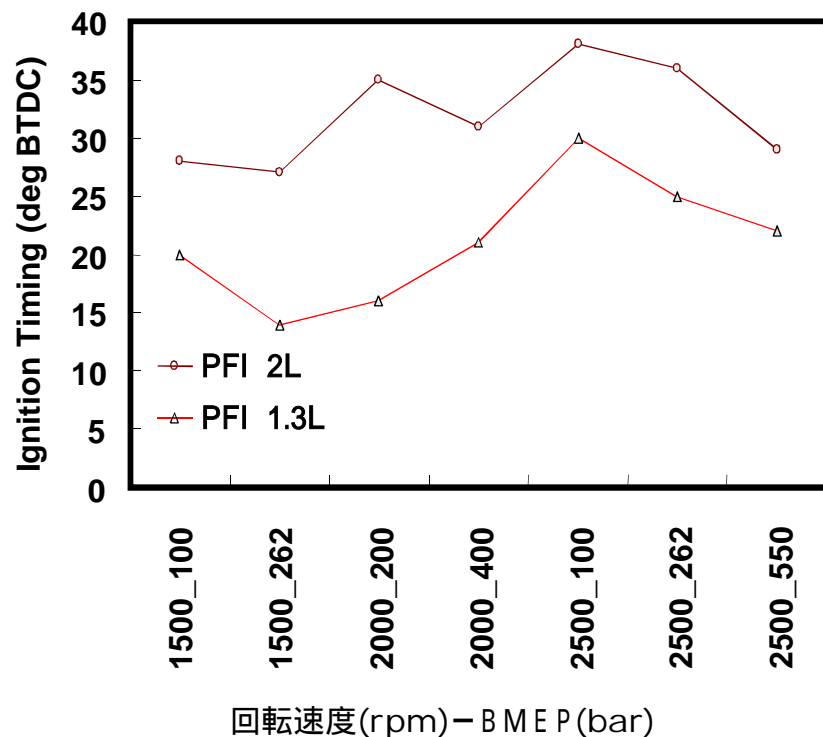
SKYACTIV-G



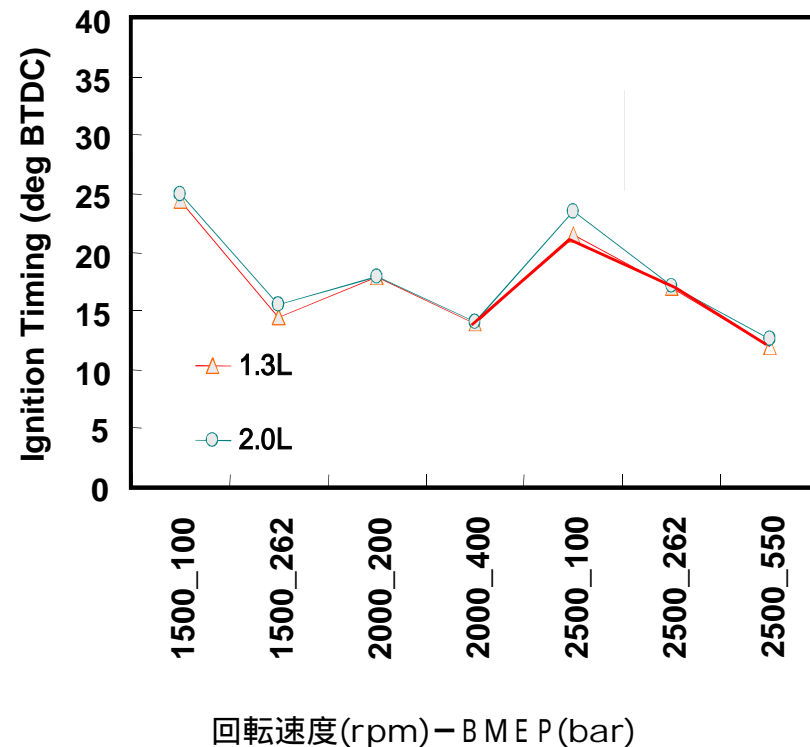
排気量によらず、同体質な燃焼特性を実現

## 燃焼特性のコモンアーキテクチャー化

従来エンジン



SKYACTIV G



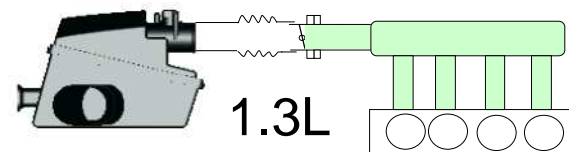
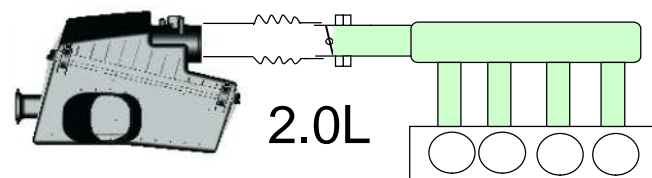
2機種目からの定常キャリブレーション定数の転写率向上  
 効率化の意識付けに成功

## 吸気経路のコモンアーキテクチャー化

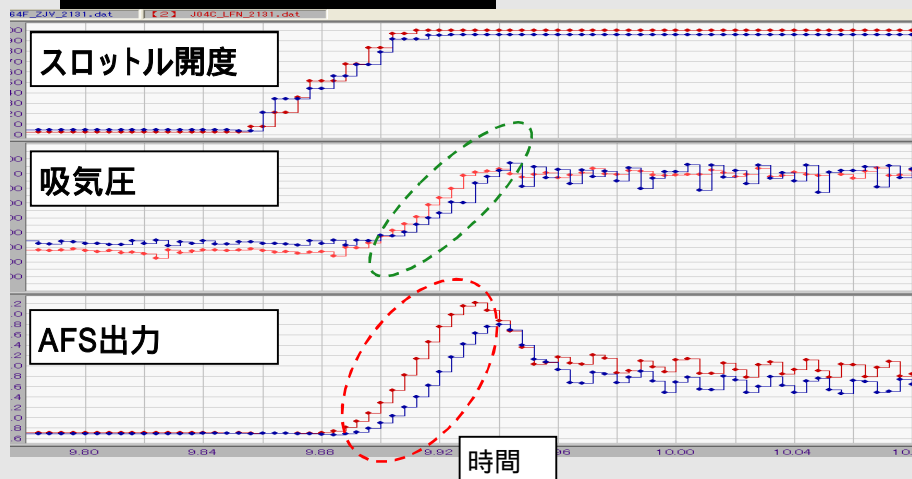
**制御手段：下記項目を排気量によらず統一**

- ・スロットルバルブ下流容積、面積、通路面積 / 排気量
- ・A/C (Iアホ-ス) 流速分布とAFS部流速

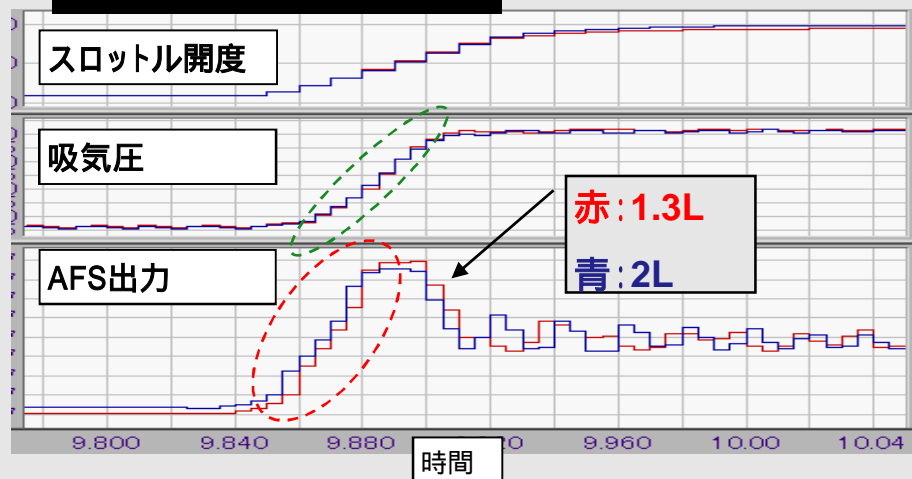
スロットル下流容積を排気量比例で揃える



旧エンジン 1.3L&2.0L



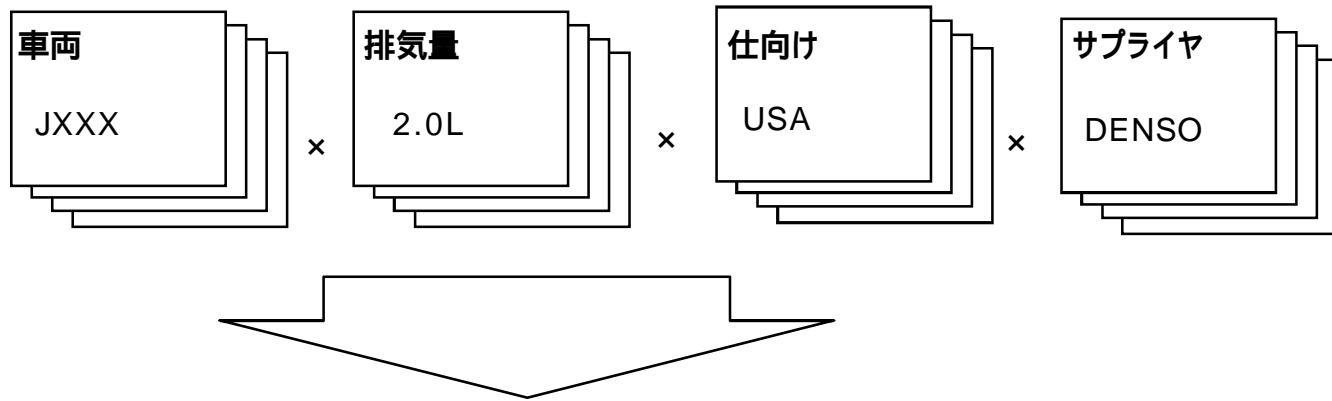
SKYACTIV 1.3L&2.0L



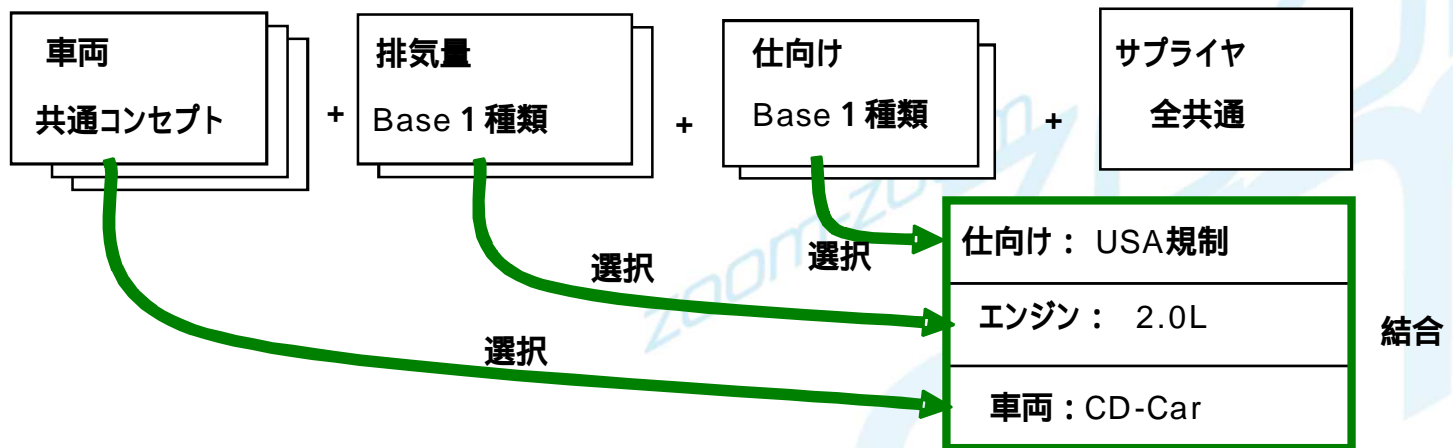
センサー出力まで同特性になるようにチューニング

# 一括企画、一括開発 展開を容易にする コモンアーキテクチャー

従来（組み合わせの下図だけキャリブレーションが存在）

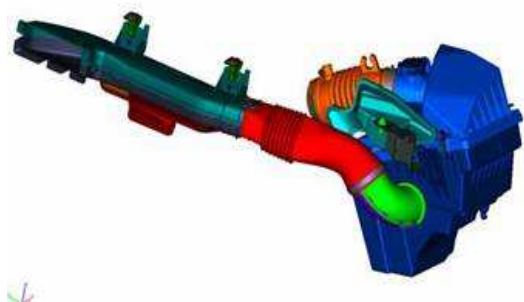


目指す姿（少数のキャリブレーションを組み合わせ、多彩な商品を実現）



2.0L

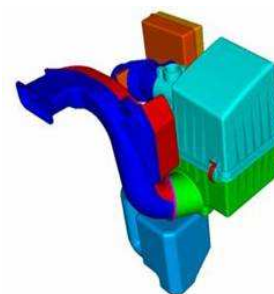
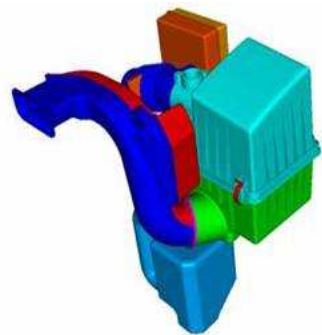
1.3L



旧ENG

仕様A

仕様B



SKYACTIV

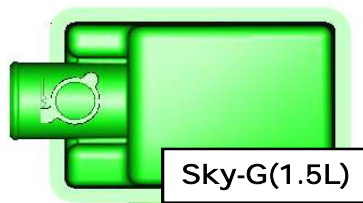
仕様C

仕様C'

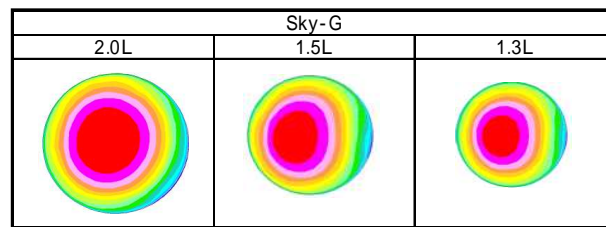


## 吸気系の例

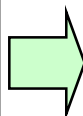
### 同体質エアークリーナ



### Air Flow Sensor部流速分布の同一化



|            |     | ユニット バリエーション |              |              |              |                  |
|------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
|            |     | Sky-G (1.3L) | Sky-G (1.5L) | Sky-G (2.0L) | Sky-G (2.5L) | Sky-D (2.2L T/C) |
| 車種         | B   | A            |              |              |              |                  |
|            | C   |              | B            | C            | D            | E                |
|            | CD  |              |              | F            | G            | H                |
|            | SUV |              |              | I            | J            | K                |
|            | MPV |              |              |              |              | L                |
| Air Filter | B   | A            |              |              |              |                  |
|            | C   |              | B            | C            | D            |                  |
|            | CD  |              |              | E            | F            |                  |
|            | SUV |              |              | G            | H            |                  |
|            | MPV |              |              |              |              | I                |
| AFS 流れ特性   | B   | A            | B            |              |              |                  |
|            | C   |              | C            | D            | E            | F                |
|            | CD  |              |              | G            | H            | I                |
|            | SUV |              |              | J            | K            | L                |
|            | MPV |              |              |              |              | M                |

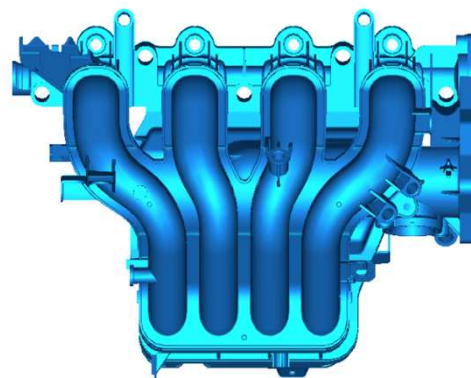
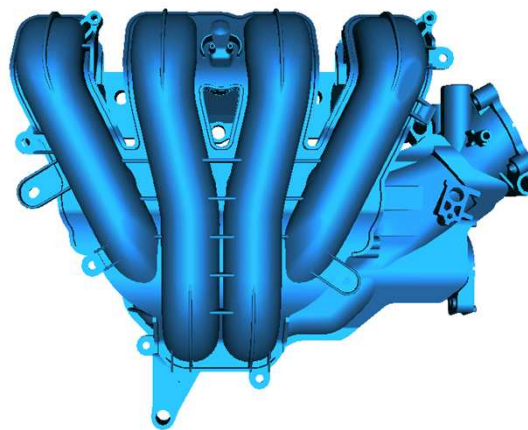


|            |     | ユニット バリエーション |              |              |              |                  |
|------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
|            |     | Sky-G (1.3L) | Sky-G (1.5L) | Sky-G (2.0L) | Sky-G (2.5L) | Sky-D (2.2L T/C) |
| 車種         | B   | A            |              |              |              |                  |
|            | C   |              |              | B            | C            |                  |
|            | CD  |              |              |              |              |                  |
|            | SUV |              |              |              |              |                  |
|            | MPV |              |              |              |              |                  |
| Air Filter | B   | A            |              |              |              |                  |
|            | C   |              |              | B            | C            |                  |
|            | CD  |              |              |              |              |                  |
|            | SUV |              |              |              |              |                  |
|            | MPV |              |              |              |              |                  |
| AFS 流れ特性   | B   | A            |              |              |              |                  |
|            | C   |              |              |              |              |                  |
|            | CD  |              |              |              |              | B                |
|            | SUV |              |              |              |              |                  |
|            | MPV |              |              |              |              |                  |



2.0L

1.3L

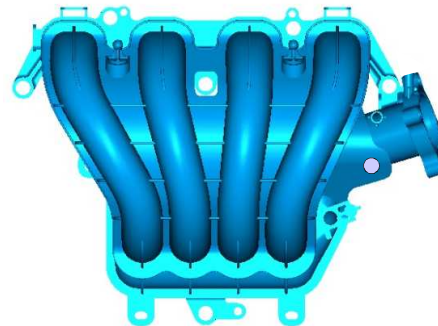


仕様A

仕様B



旧ENC



仕様C

仕様C'



SKYACTIV

## 全く新しいエンジンを出して重大な品質問題を出さないためには

- 過去の問題
- ユニット根本特性に関わる事でいつも対症療法を繰り返していたもの  
(ネックエンジニアリング)
- Warranty Top 10要因 (推定要因)



どんな機能がどういうノイズに対して弱点を見せたか

どんな機能を強化すればいいか

共通基本機能

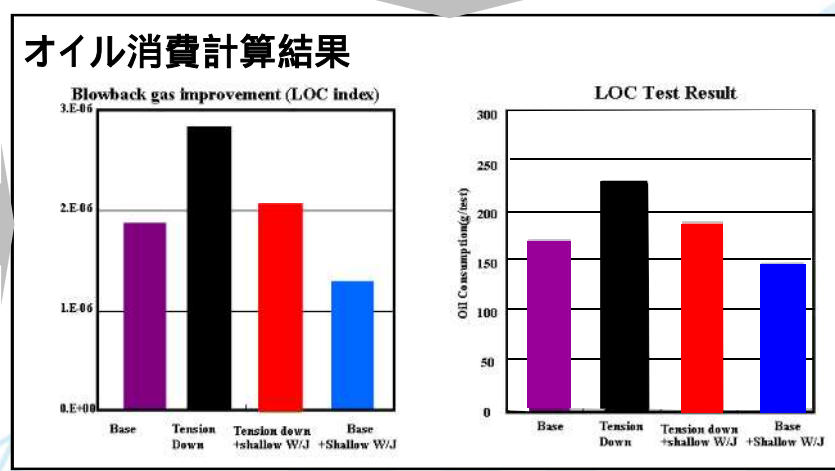
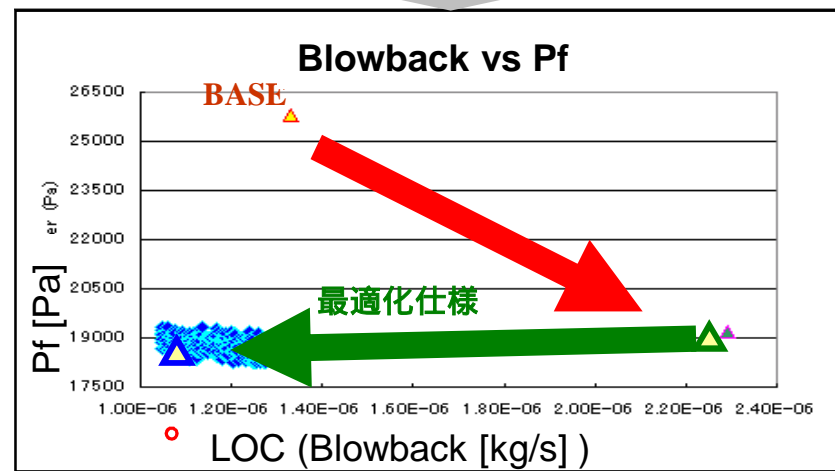
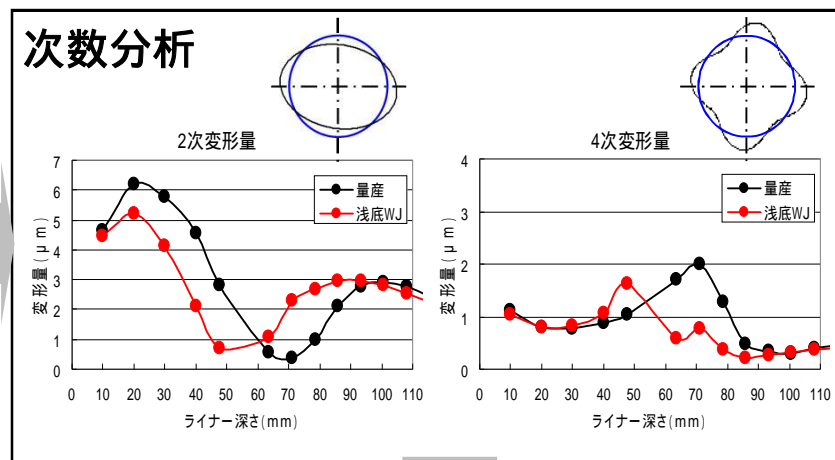
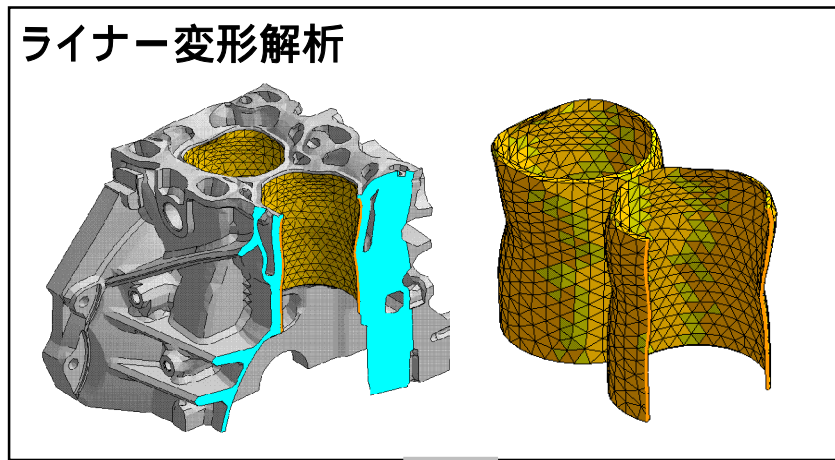
- 世界一の性能を目指すために挑戦した技術

共通に出てくる基本機能 = まだ見ぬ問題にも大きく関与

これを徹底的に強化する事が新しい技術の品質を高める事になる

# 一括企画、一括開発 やり直しをしない

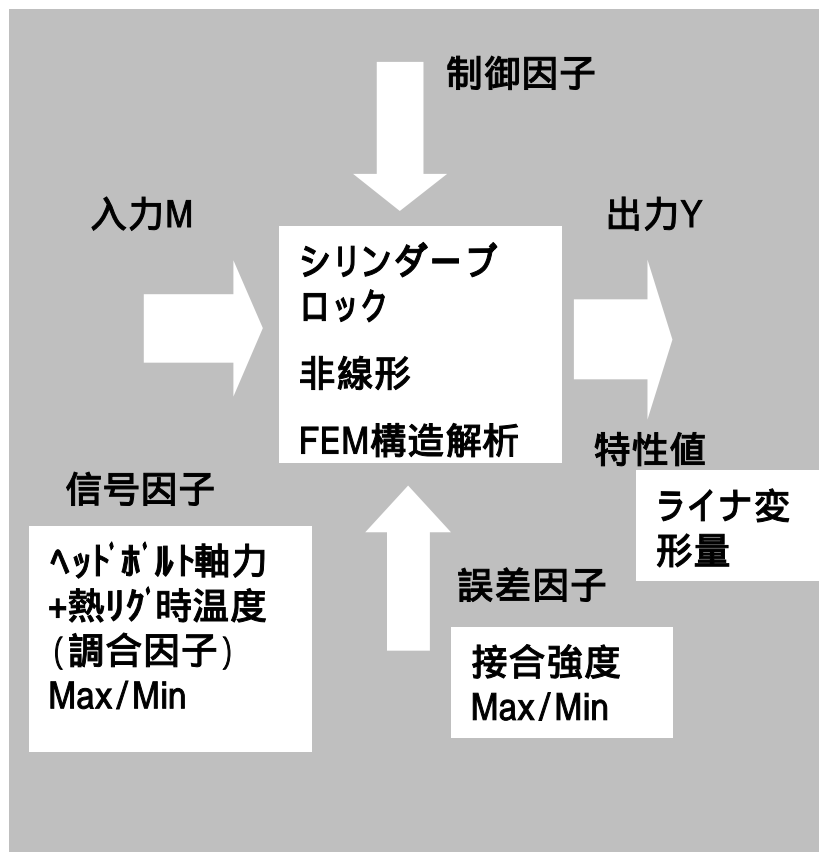
## CAE適用例 オイル消費低減



燃費改善、品質問題再発防止に大きく貢献可能なライナー保形性の検討がCAEで可能になった

## CAE適用例 オイル消費低減

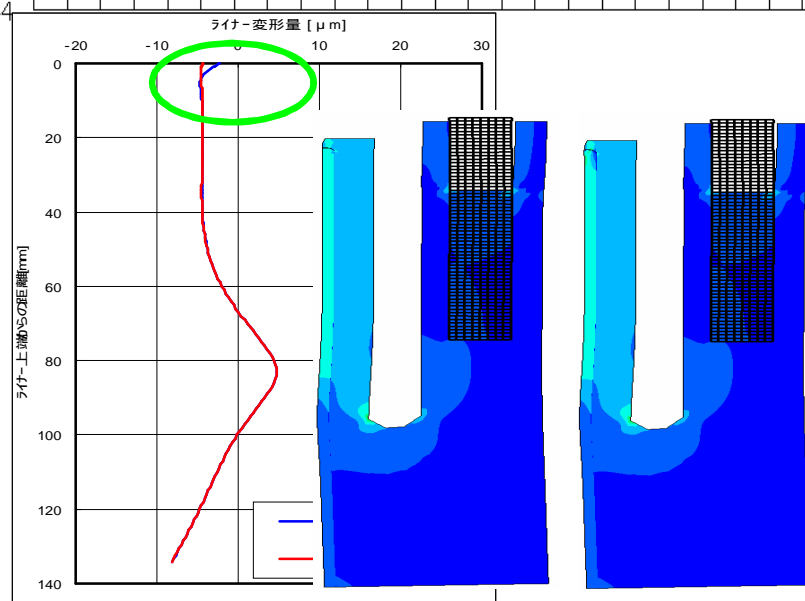
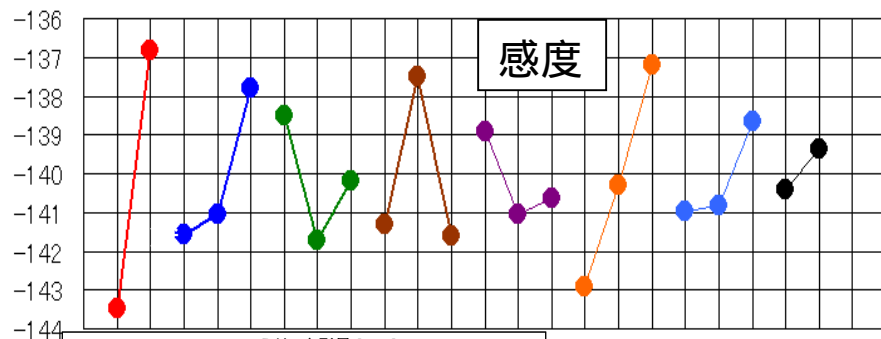
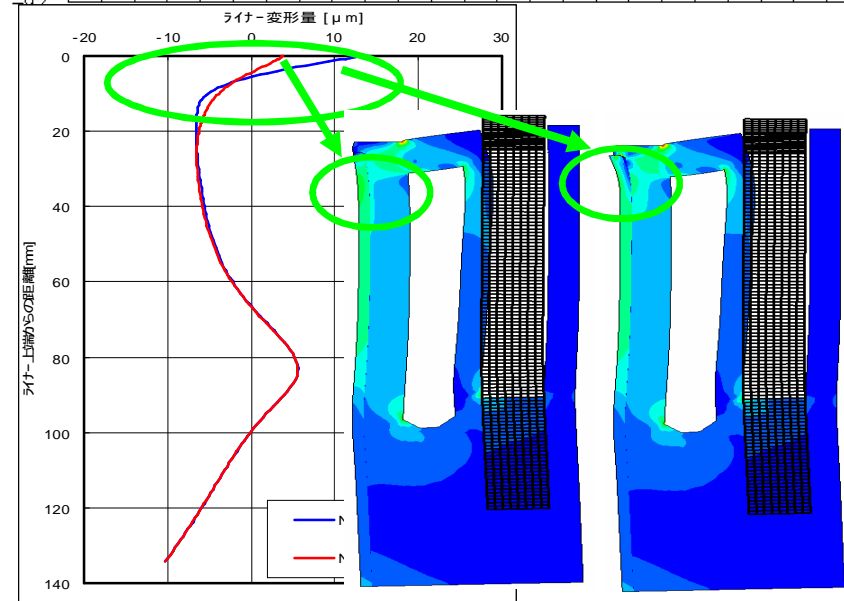
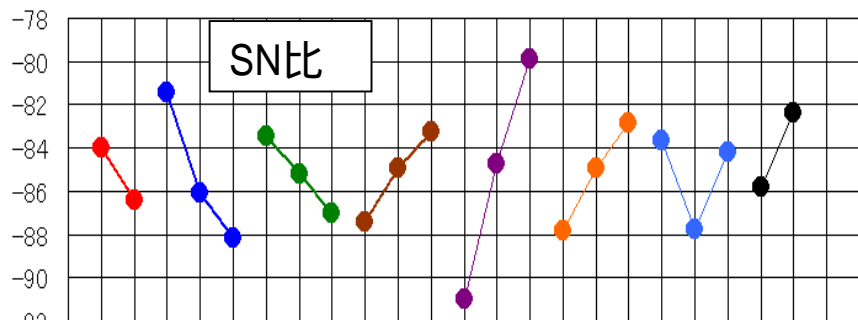
品質工学的アプローチ



|              | 水準1  | 水準2   | 水準3 |
|--------------|------|-------|-----|
| デッキ仕様        | Open | Close | -   |
| W/J深さ        | a1   | a2    | a3  |
| C/B深さ        | b1   | b2    | b3  |
| バックメタル厚さ     | c1   | c2    | c3  |
| ライナー厚さ       | d1   | d2    | d3  |
| 外壁厚さ         | e1   | e2    | e3  |
| ヘッドホルトネジ掛かり代 | f1   | f2    | f3  |
| ヘッドホルト穴径(穴幅) | 大    | 小     |     |

CAEにて田口メソッド適用（実機では不可能） CAEモデルができていると  
 こういうことまでやってみる気になれる

# CAE適用例 オイル消費低減

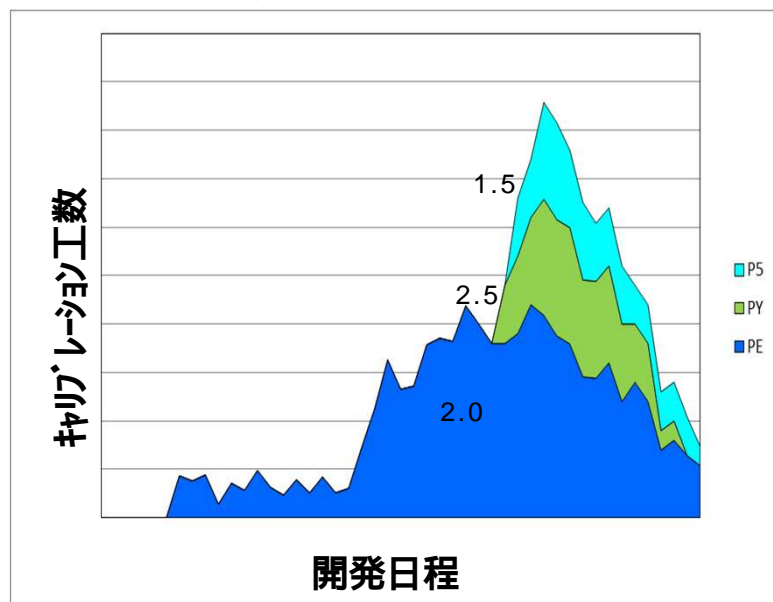


効果的な制御因子を把握し全ての機種に展開

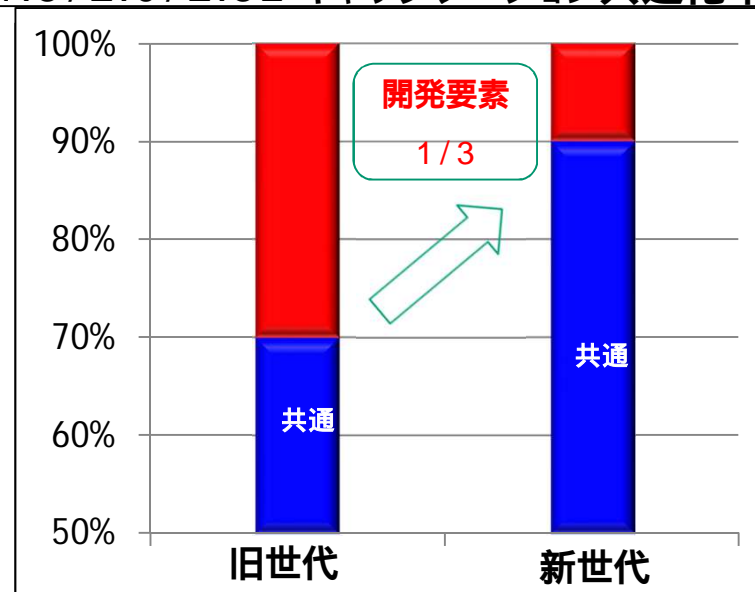
## 開発効率改善の実例

CAEを活用したコモナリティー改善効果

エンジン別 キャリブレーション工数

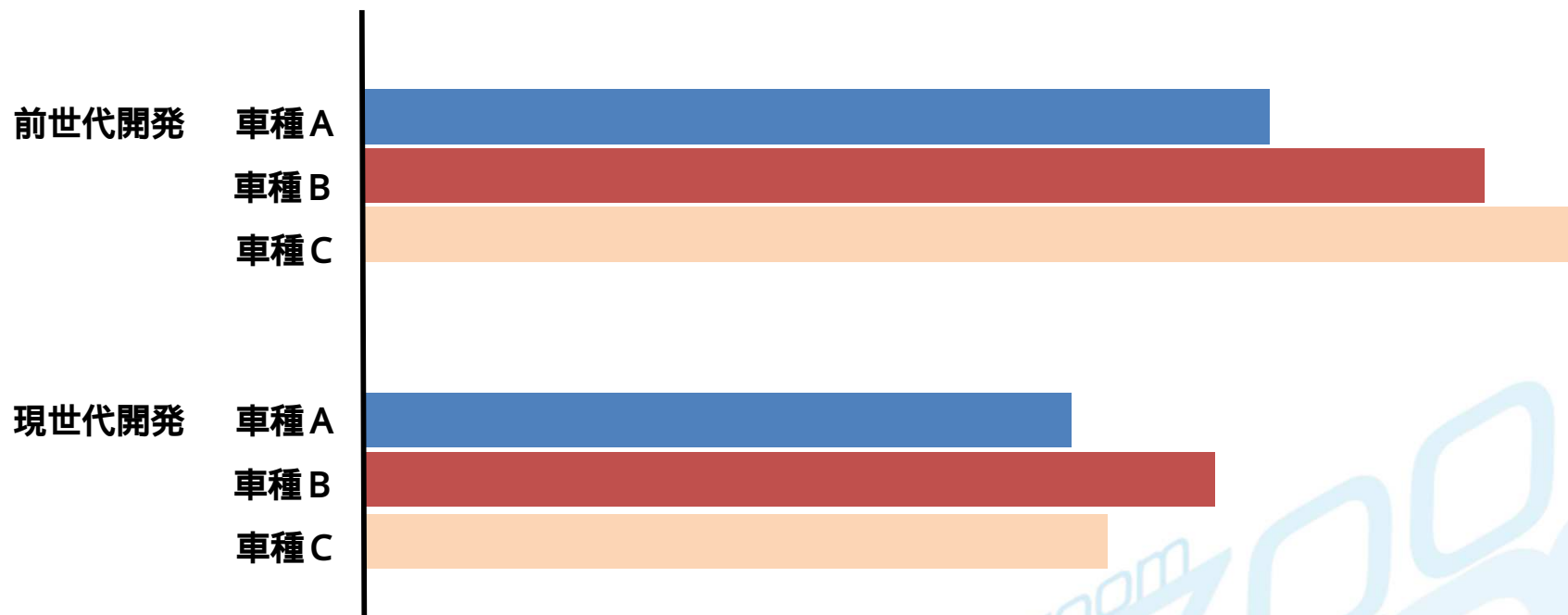


1.5/2.0/2.5L キャリブレーション共通化率



リード 開発の2.0Lエンジンに対し 排気量違いは開発期間 約1/2  
 キャリブレーション工数は MBC活用などで約1/5に圧縮  
 キャリブレーション共通化率も旧世代に比べ開発要素は 1 / 3 に減少

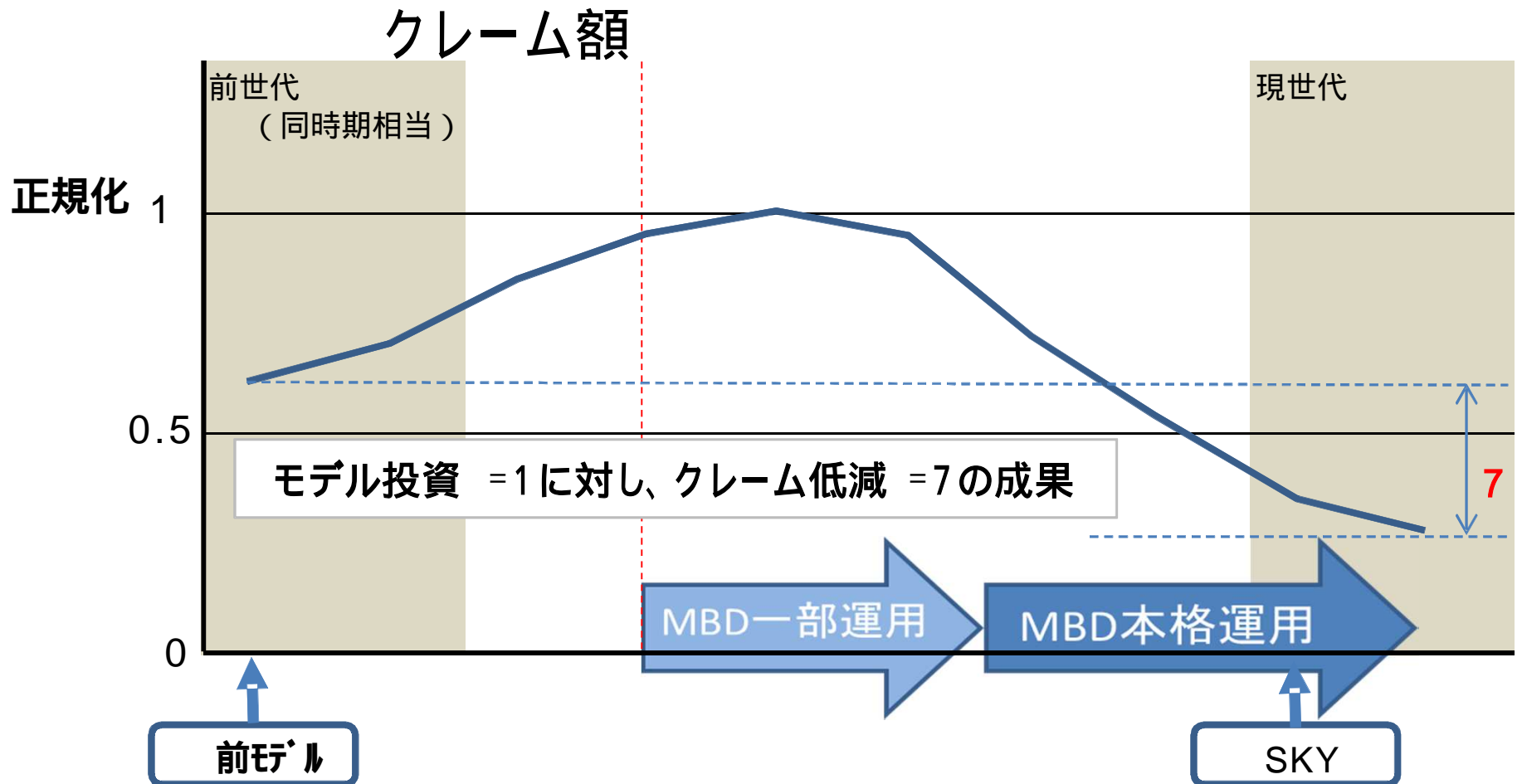
## 開発期間短縮



**20～30%の期間短縮効果**

(前世代よりはるかに技術難易度が高いS K Yなので、公正な比較できない。  
同一条件ならば効果は倍以上となるであろう)

品質改善



モデルだけの成果ではなく、総合的成果ではあるが、品質は大きく改善した。  
モデル投資は早々に回収できた。



# 燃費に対する考察

## 日米欧の年平均走行距離の比較

| 国名   | 年平均走行距離 (km) | 平均車齢 (年) |
|------|--------------|----------|
| 日本   | 9,896        | 5,84     |
| 米国   | 18,870       | 8,30     |
| 英国   | 14,720       | 6,20     |
| ドイツ  | 12,600       | 6,75     |
| フランス | 14,100       | 7,50     |

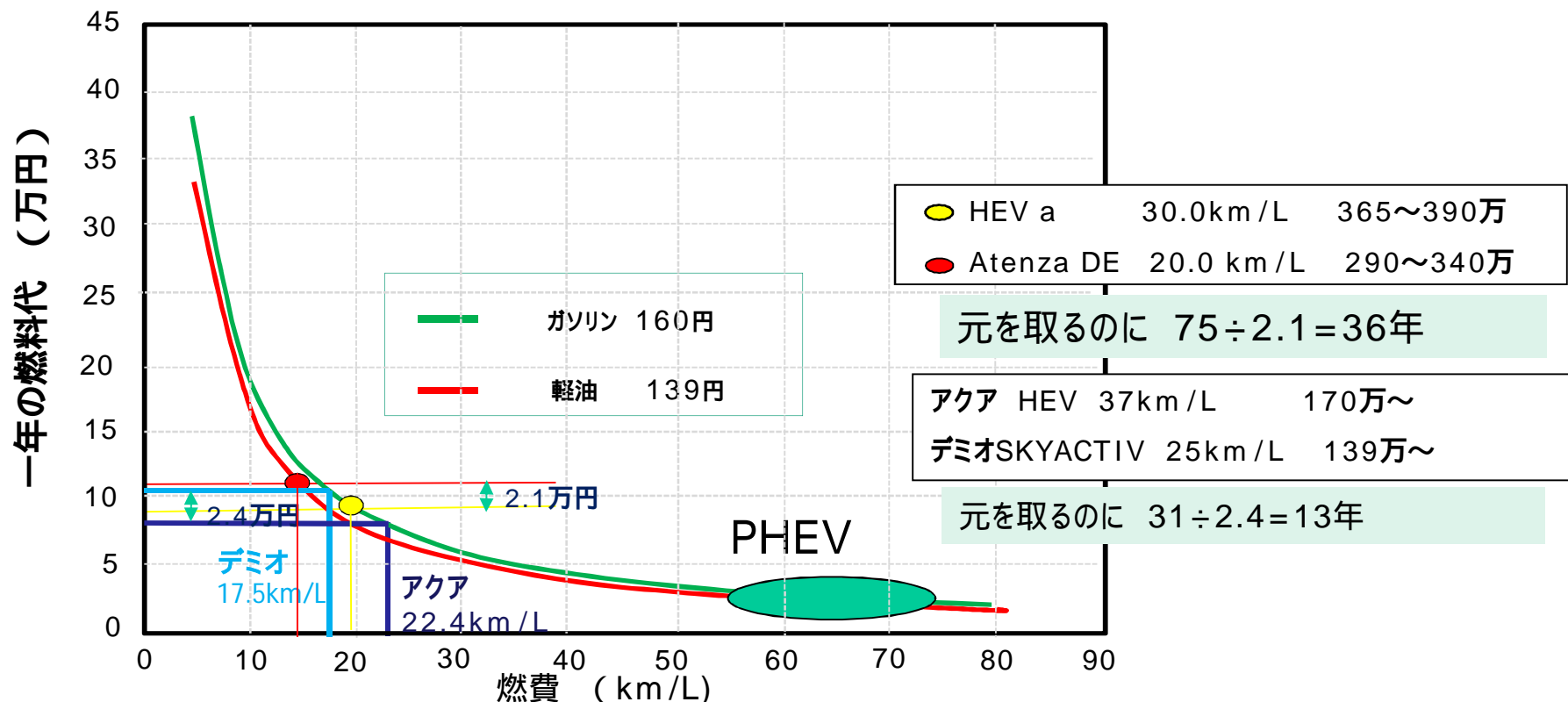
出展) クリーンディーゼル乗用車普及・将来見通しに関する検討会 報告書より

平成20年7月

米国以外は大体年平均10,000~15,000 km

# 燃費に対する考察

一年で12,000km走ると仮定したときの1年間の燃料代



非常に高価な技術を使ったエコカーは元は取れないことをそのうちみんな気づくはず

追加デバイスを多数つけている限り普及してもコストはあまり下がらない EVは電気代タダでも元は取れない

10km/Lを20km/Lにすれば10万節約 20km/Lを40km/Lにすれば5万節約

40km/Lを80km/Lにすれば2.5万節約 CO2も同じ

同じ20%改善でもCO2絶対値への効果は元の燃費値によって大きく変わる 注力すべきは燃費の絶対値が悪いところを如何に引き上げるかである

# 燃費に対する考察

**日本** : **燃費値(km/L) = 9140 / モード走行時の電費 (Wh/km)**

ガソリンの低位発熱量 (32.9MJ/L = 9140Wh/L) で換算

**発電効率、送電効率は100%で計算** アメリカはここを0.328, 0.924としている

**アメリカ: 石油等価燃費 (mpg) = PEF (Wh/gal) / 電費 (Wh/mile)**

PEF(石油等価係数) =  $E_g * 1 / 0.15 * AF * DPF$

Eg: 電力のガソリン等価エネルギー係数 (Wh/gal)

=  $(T_g * T_t * C) / T_p$

Tg: 米国平均の化石燃料発電効率 = 0.328

Tt: 米国平均の送電効率 = 0.924

C: ガソリンのエネルギー換算係数 (発熱量) = 33,705 (Wh/gal)

Tp: 石油精製・輸送効率 = 0.830

1/0.15: 燃料含有率係数

AF: 石油燃料消費アクセサリ係数

DPF: 走行パターン係数

**発電効率、送電効率などを勘案しているが  $1 / 0.15 = 6.67$  倍の優遇計算**

**欧州** : **充電器で充電した電力はCO2ゼロ km/L換算 無限大**

# 結果は？

すべてを賭けたSKYACTIVは受け入れられか？  
危機的状況を救えたか？

- 内燃機関を極めることが、環境対応に対し、最も有効であると確信して進んだ。
- マツダらしさを死守 = 走りに一切妥協しない。
- すべてのお客様が購入可能な価格になる技術

# 結果は？

- **デミオで30km / Lからスタートしたが、業界内で内燃機関を見直す動きが一気に広がった（エンジニアリング会社が大儲け）**
- **見向きもされなかった我が社に多数の会社が注目**
- **商品化後の学会ではマツダの発表はいつも大盛況**
- **メディア、ジャーナリスト等がやっと電気自動車などに疑問を呈するようになった**
- **講演依頼多数**

# 結果は？

SKYACTIVは世界各地で多くの賞を受賞

(2013/01/20時点:73の賞を受賞)

## 代表的な受賞歴

| Model      | country     | Title   |         |
|------------|-------------|---|---------|
| CX-5       | Japan       | Car of the Year Japan   | 2012/11 |
| CX-5       | Malaysia    | Best SUV of the Year : CX-5 (Malaysia COTY 2012)                              | 2012/12 |
| Mazda6     | Switzerland | 1st place: Swiss Car of the Year 2013   | 2012/11 |
| SKYACTIV-D | Japan       | Combustion Society of Japan   | 2012/12 |
| CX-5       | UK          | Green Awards 2012 - Best SUV  | 2012/11 |
| CX-5       | U.S.A.      | "2012 Compact SUV of the Year award (North West Automotive Press Association) | 2012/3  |

# 結果は？

CX-5 Car of the Year Japan受賞

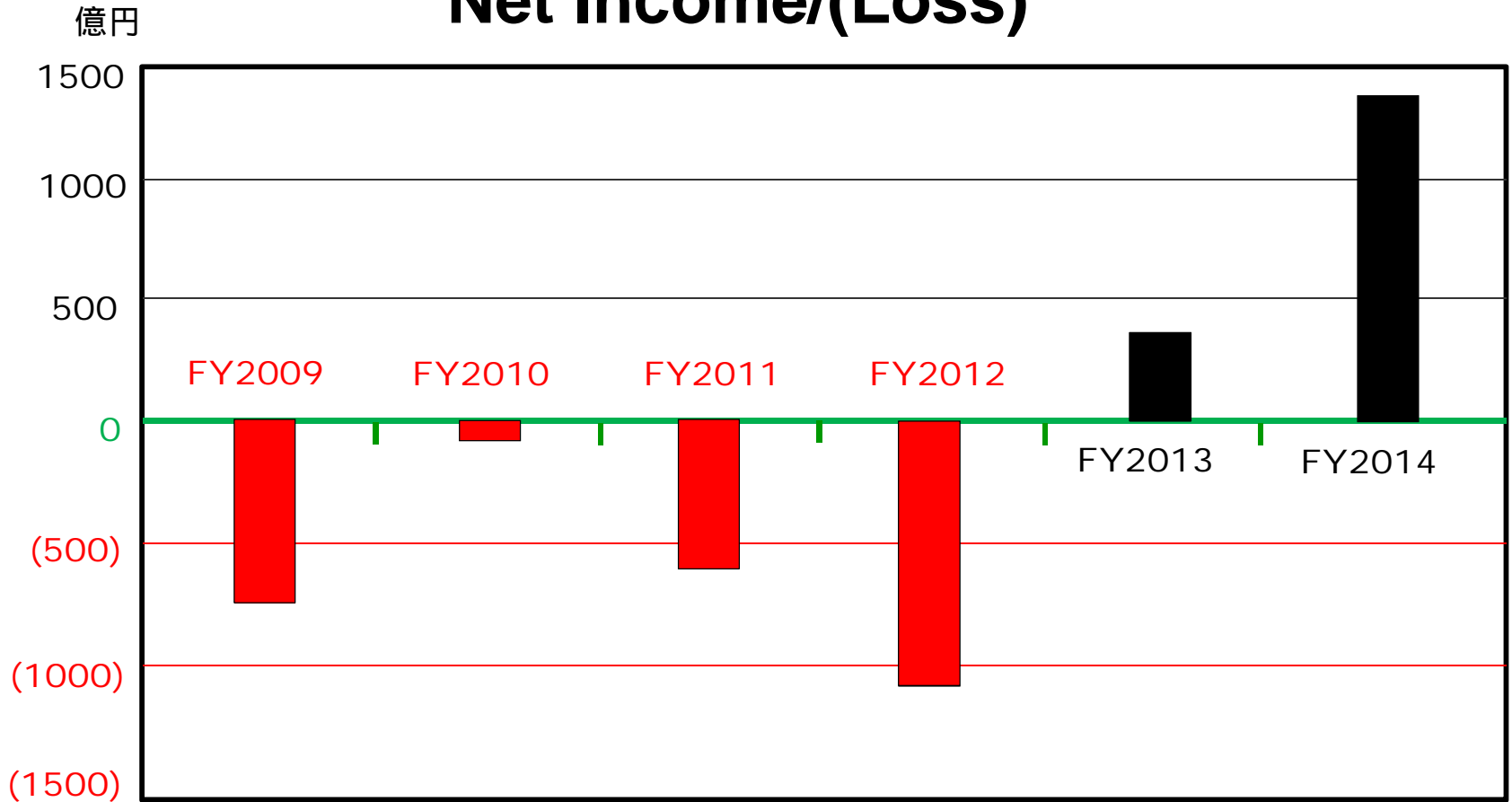
翌年アテンザがRJCカーオブザイヤー受賞



財務状況の悪い会社の  
受賞は本当に評価された  
ということ

# 結果は？

## Net Income/(Loss)



黒字達成。生き残れた。



**なぜこんな困難な道を行くのか？**

**ばかっている。**

**失敗するに決まっているからダウンサイジングを検討しておけ。**

**いくらいいものでもコストが高すぎたら意味はない。**

## SKYACTIVを開発を通じて

- *世界一でないと満足できないエンジニアが増えた*
- *負けているところがあると自主的に調査し改善計画を立てる風土が  
できつつある*
- *人の後追いをしている方が安心できる人が多かったが今は独自路  
線に自信を持つ人が増えた*
- *できないという人の数が減った*

zoom-zoom