



- 走る喜びと優れた環境性能の実現 -

新型クリーンディーゼル SKYACTIV-D 1.5Lエンジンの開発



2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム



マツダ株式会社
パワートレイン開発本部
高松 宏志

1

発表内容



- SKYACTIV エンジン開発戦略
- SKYACTIV-D クリーンディーゼルの共通価値
- SKYACTIV-D 1.5 小排気量クリーンディーゼル
 - 開発コンセプト
 - エンジン諸元とパフォーマンス
 - ブレークスルー技術
 - 着火性
 - 冷却損失低減
 - 機械抵抗低減
 - 高効率過給
 - 10パ°外パ°パッケージ
- SKYACTIV-D 1.5 まとめ

SKYACTIV エンジン開発戦略



燃費： クラストップレベルの低燃費、HEVに負けない経済合理性

環境： NOx後処理なしで排ガス規制に適合するクリーン燃焼、優れた静粛性

走り： 5000回転超までのリニアなトルク特性によるスムーズな加速

これらSKYACTIV-Dの共通価値を
コンパクトカーを通じて より幅広いユーザーに提供したい

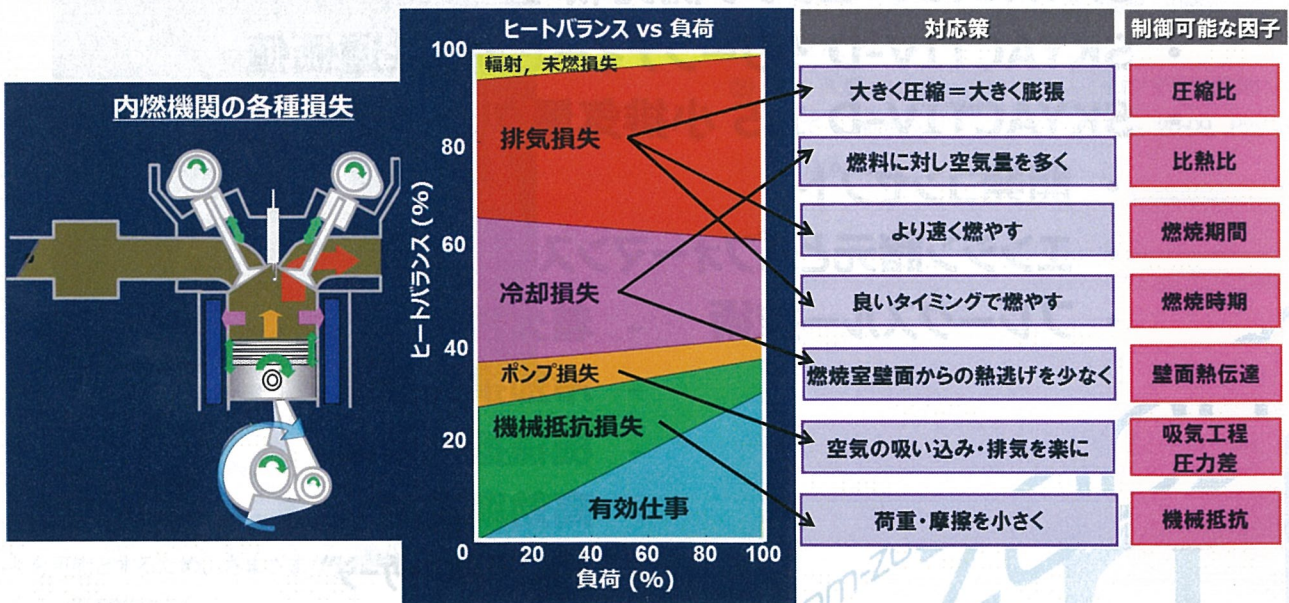


マツダらしい走り・楽しさ、そして新しい価値の提供

SKYACTIV エンジン開発戦略



内燃機関の各種損失

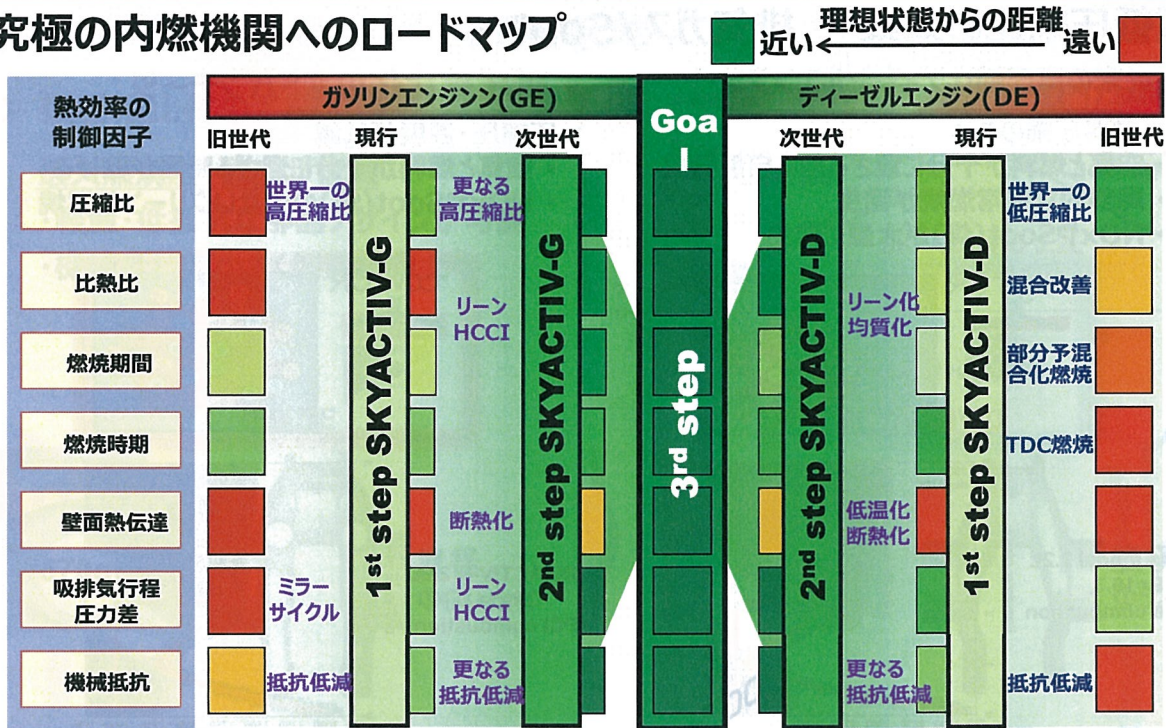


熱効率改善は各種損失の低減であり、マツダは7つの制御因子の進化に拘った内燃機関の効率化改善を目指している

SKYACTIV エンジン開発戦略



究極の内燃機関へのロードマップ



制御因子を理想状態に近づける。ディーゼル 1st stepでは、超低圧縮比による最適燃焼時期・機械抵抗低減・クリーン燃焼を実現

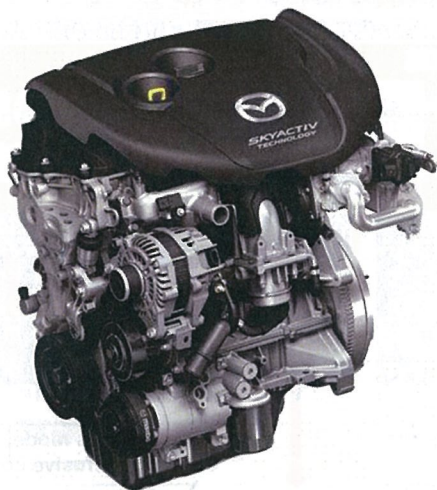
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

5

SKYACTIV-D クリーンディーゼルの共通価値



SKYACTIV-D 2.2L



Displacement (ml)	2188
Cylinder number	4
Bore x Stroke (mm)	86 x 94.2
Compression ratio	14.0

性能

- 走り：高回転5200rpm超までスムーズ&リニアな加速
- 燃費：クラストップレベルの低燃費
- 環境：高価なNOx後処理無しで日本 H21規制(=ホト新長期)/欧州 Stage6に適合するクリーン燃焼

技術

- 超低圧縮比
- 高効率過給
- 低Pmax燃焼での機械抵抗低減
- 理想の燃焼時期&燃焼期間短縮
 - 軽負荷予混合型 (PCI) 燃焼
 - エッグシェイプ燃焼室

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

PCI : Premixed Compression Ignition

6

SKYACTIV-D クリーンディーゼルの共通価値

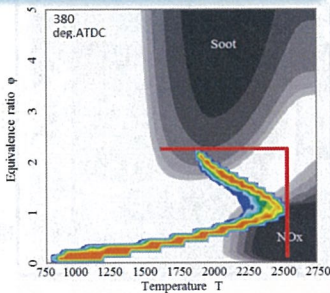
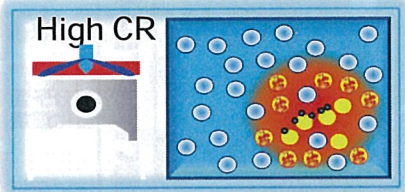


超低圧縮比の効果 - 排気ガス/Soot -

従来の高圧縮比ディーゼルエンジン

高温高圧縮のため

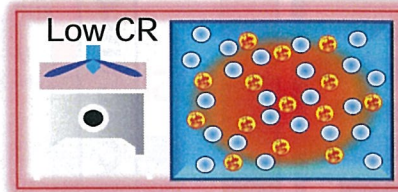
- 空気と燃料が十分に混ざる前に自然発火
- 局所的な異常燃焼が発生
- NOxやSoot(煤)が大量に発生



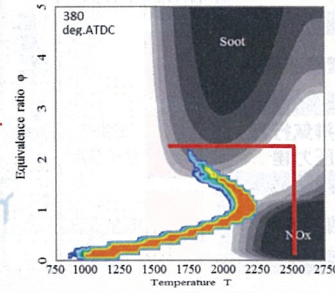
低圧縮比化のアドバンテージ

圧縮圧・温度が低減

- 空気と燃料が十分に混ざる時間が稼げる
- NOxやSoot(煤)の少ないクリーンな燃焼



SKYACTIV-D 2.2L
CR=14.0,
PCI combustion



低圧縮比化で低温燃焼・リーン燃焼が可能となり、
NOx・Soot(煤)は大幅に低減できる

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

7

SKYACTIV-D クリーンディーゼルの共通価値

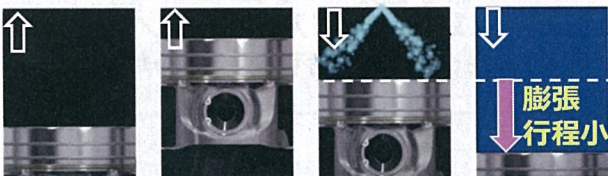


超低圧縮比の効果 - 燃焼時期・燃焼期間の最適化 -

従来の高圧縮比ディーゼルエンジン

- 高温・高圧によるNOxや煤を低減する為、シリンダ内の温度と圧力が下がるまで噴射できない
- 有効な膨張行程が得られず 圧縮比に見合った出力・燃費が得られない

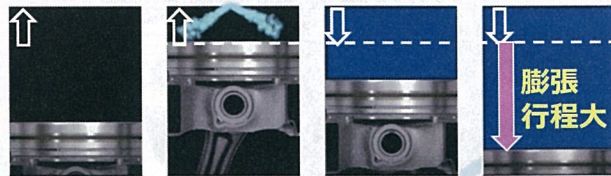
MZR-CD 2.2(一般的なクリーンディーゼル)



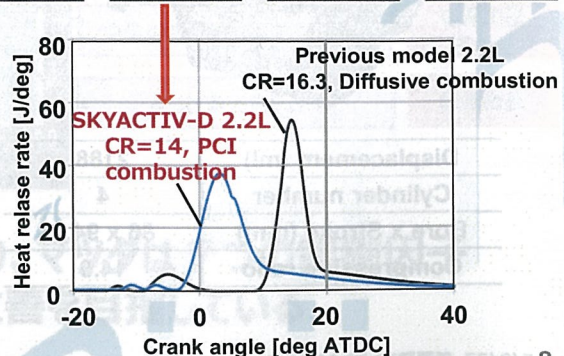
低圧縮比化のアドバンテージ

- 低圧縮比化によりピストン最上位付近で燃焼開始が可能
- 十分な膨張行程により 燃費性能が向上

SKYACTIV-D (低圧縮比)



低圧縮比で燃焼開始時期を最適化
でき、高膨張比により燃費も向上する



2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

8

SKYACTIV-D クリーンディーゼルの共通価値

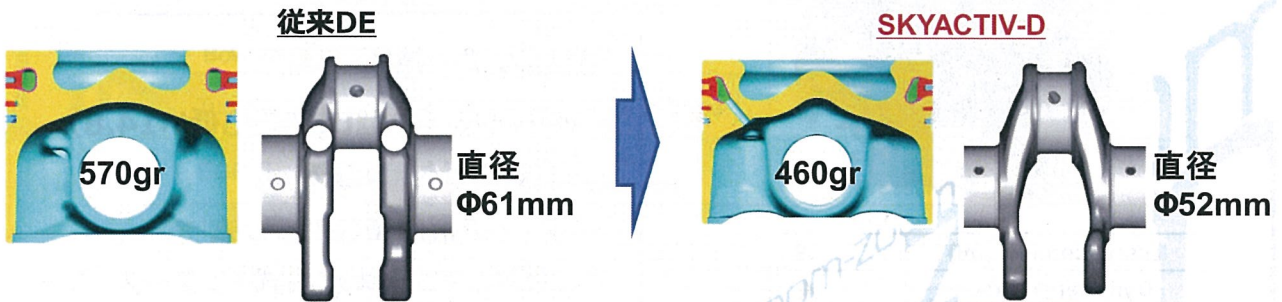
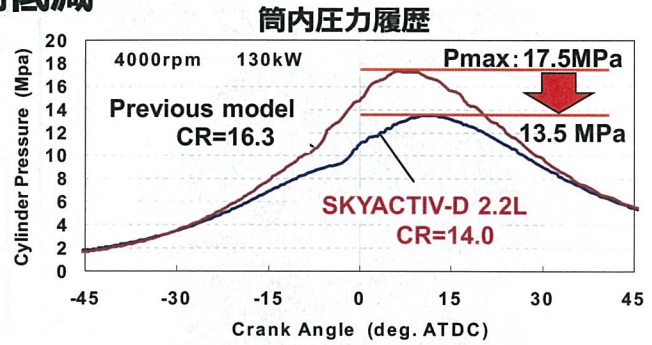


超低圧縮比の効果 - 機械抵抗低減 -

▶ 低圧縮比化のアドバンテージ

最大燃焼圧、温度が低減

- ・軽量・低抵抗な部品デザインが可能
- ・機械抵抗が小さく燃費が向上

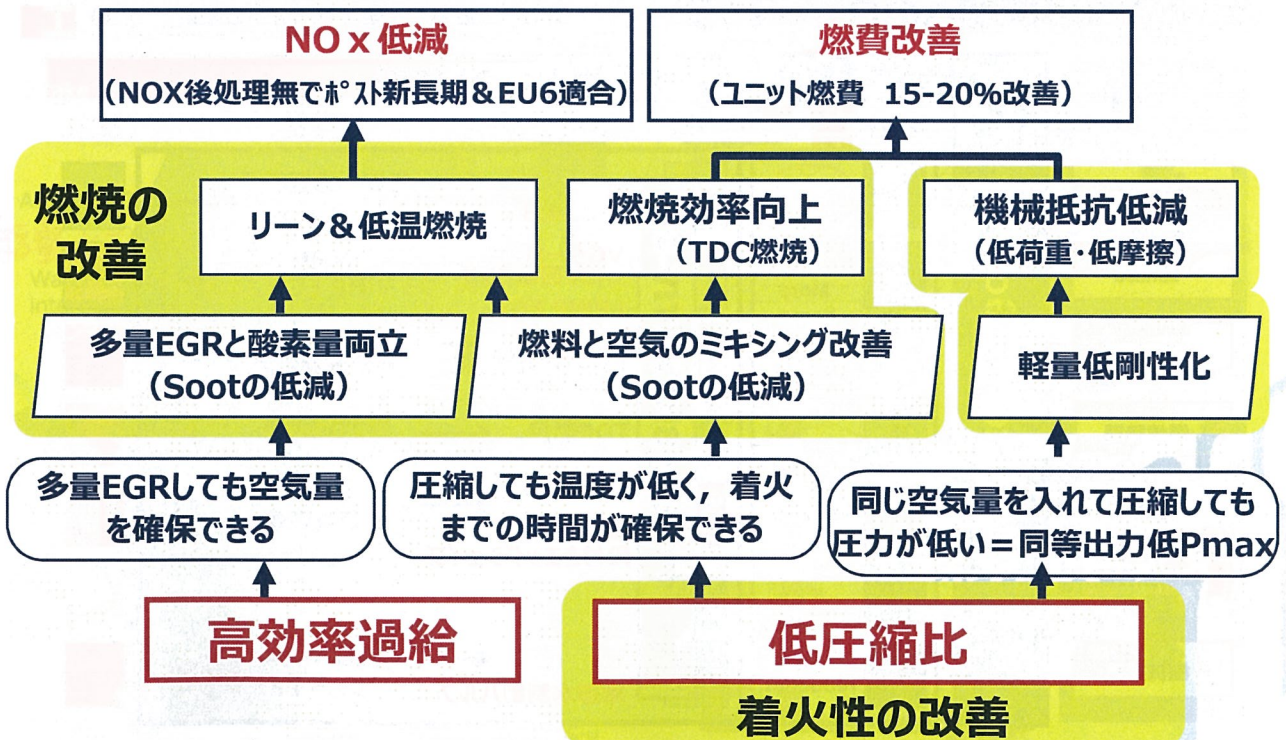


低圧縮比によって同じ出力を低Pmaxで実現。エンジン構造系部品の抵抗低減・軽量化で高回転まで軽快に吹け上がる特性を達成。

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

9

SKYACTIV-D 1.5 開発コンセプト



小排気量ディーゼル1.5LはSKYACTIV-D技術コンセプトを継承

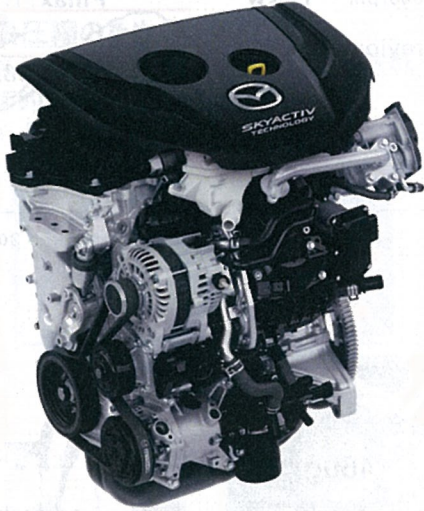
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

10

SKYACTIV-D 1.5 開発コンセプト



SKYACTIV-D 1.5L



Displacement (ml)	1498
Cylinder number	4
Bore x Stroke (mm)	76 x 82.6
Compression ratio	14.8

開発コンセプト

- 走り、燃費、環境の全ての性能において SKYACTIV-Dの共通価値を提供する

燃焼コンセプトの踏襲
= 小排気量化に伴う制約悪化の克服

熱効率制御 7 因子の更なる改善

ブレークスルー技術

- 低圧縮比 (小型DEで最も低い14.8)
- 回転センサ付 VGターボ
- LP/HP併用 EGRシステム
- 樹脂インマニー一体水冷式インタークーラー
- 短孔長ノズル&段付きエッグシェイプ燃焼室による低冷損燃焼システム
- 冷却水制御バルブ

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

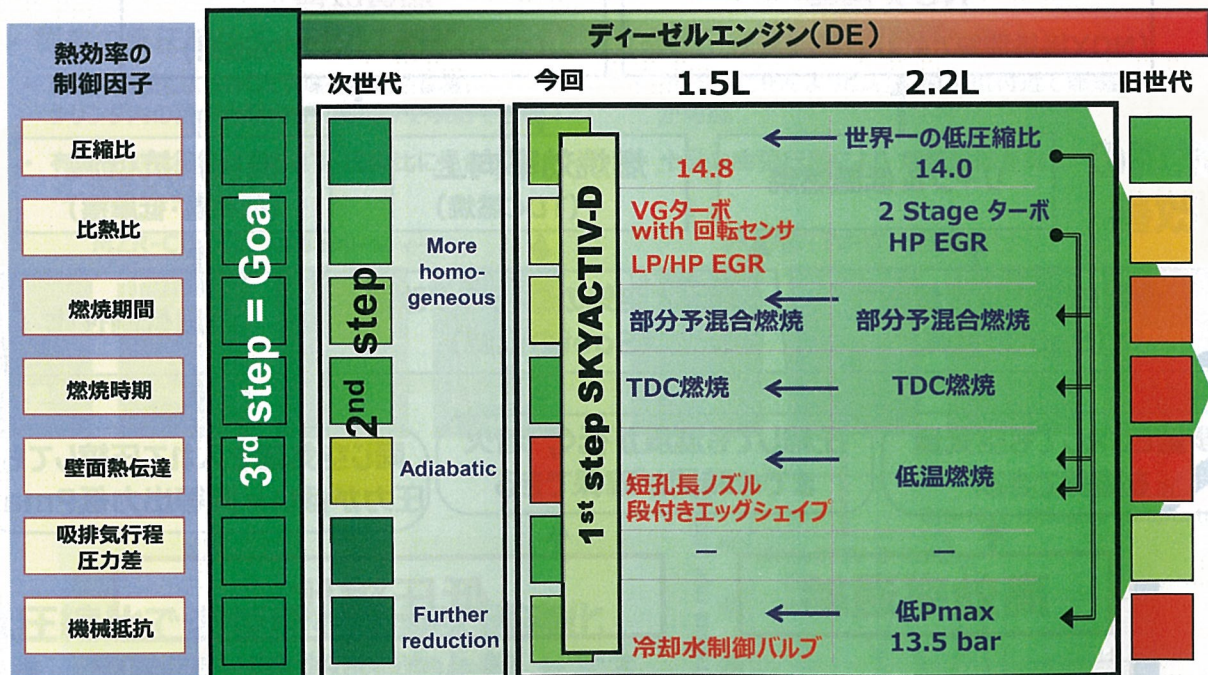
11

SKYACTIV-D 1.5 開発コンセプト



究極の内燃機関へのロードマップ

■ 近い 理想状態からの距離 遠い ■



SKYACTIV-D 2.2Lの技術を踏襲しつつ、更なる機能強化を狙う

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

12

SKYACTIV-D 1.5 エンジン諸元



エンジンスペック

Engine	SKYACTIV-D 2.2	SKYACTIV-D 1.5
Engine Type	In-line4	←
Displacement	2188 cm ³	1498 cm ³
Bore x Stroke	φ86 x 94.2	φ76 x 82.6
Compression Ratio	14	14.8
Common Rail Injection System	DENSO G3 Pizeo (Max. 200 MPa)	DENSO G4 Solenoid (Max. 200 MPa)
Nozzle Type	10 holes, 1112 cm ³ /min	10 holes, 600 cm ³ /min Short Hole Length Nozzle
Piston Combustion Bowl Shape	Conventional Egg-shape Bowl	Stepped Egg-shape Bowl
Turbocharger	Serial Sequential 2-Stage	Variable Turbine Geometry with Rev. Sensor
EGR System	High Pressure with & w/o Cooling	High Pressure w/o Cooling & Low Pressure with Cooling
After-treatment System	DOC+DPF	←
Emissions	EURO6 / JPN PNLT	←
Maximum Torque	420 Nm / 2000 rpm	220 Nm / 1400~3200 rpm 250 Nm / 1500~2500 rpm
Maximum Power	129 kw / 4500 rpm	77 kw / 4000 rpm

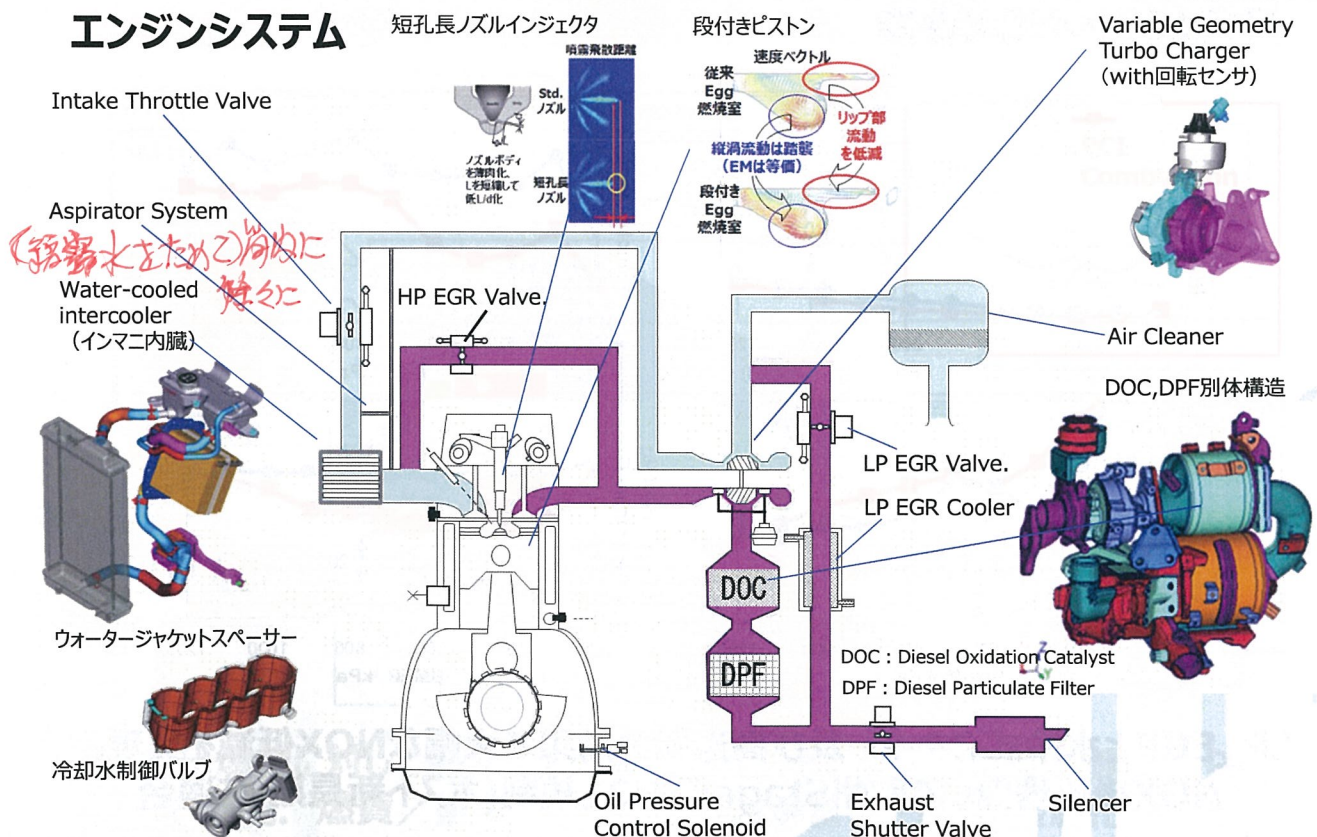
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

13

SKYACTIV-D 1.5 エンジン諸元



エンジンシステム



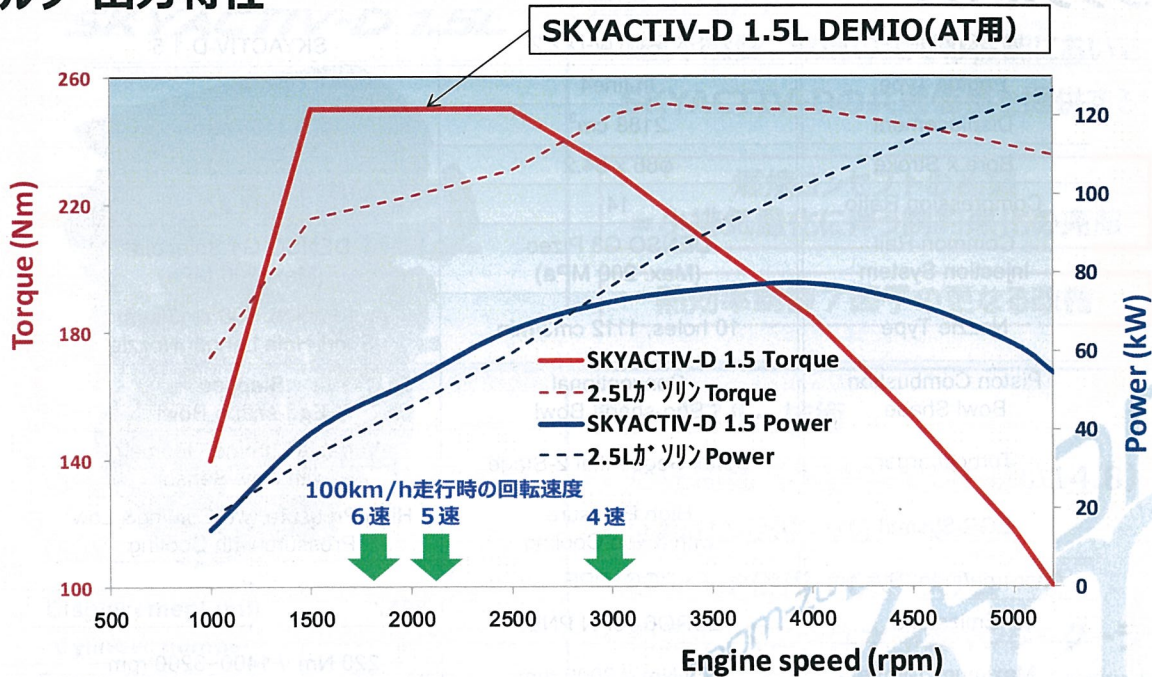
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

14

SKYACTIV-D 1.5 パフォーマンス



トルク・出力特性



実用域では2.5L ガソリンエンジンと同等以上のトルクを有し、
軽快に5000rpm超まで吹け上がる特性を実現

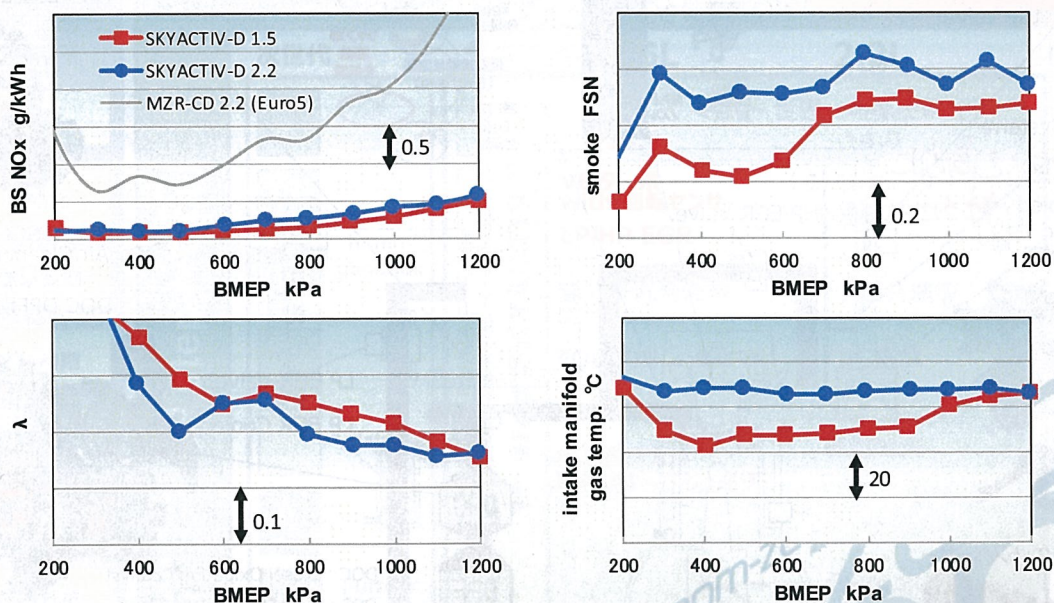
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

15

SKYACTIV-D 1.5 パフォーマンス



排気ガス ~NOX性能



LP_EGRと水冷式インタークーラー及び高過給の効果で大幅なNOX低減を実現。
NOX後処理無しで欧州Stage6・H21規制(ポスト新長期)に適合

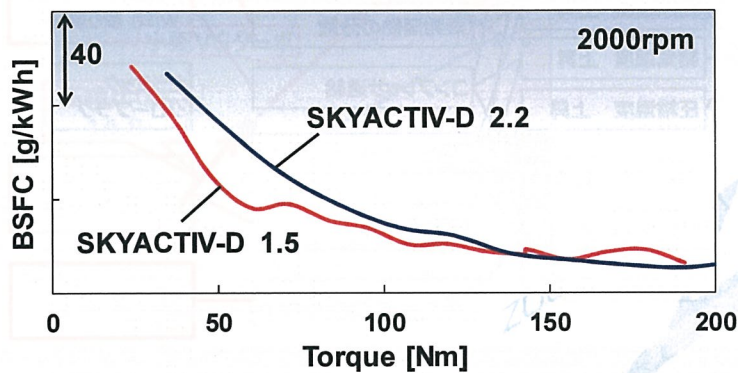
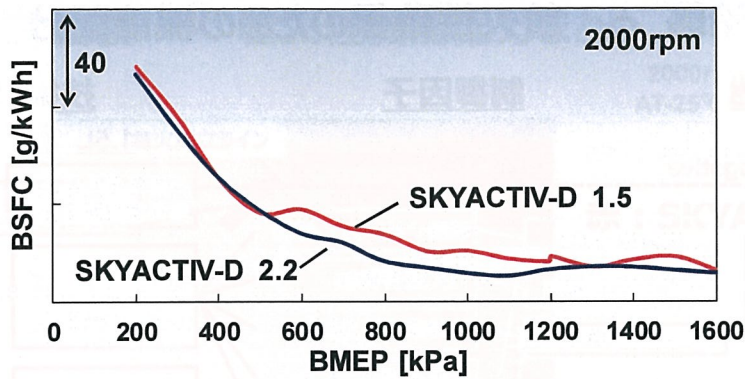
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

16

SKYACTIV-D 1.5 パフォーマンス



燃費性能



SKYACTIV-D 2.2Lから1.5Lで燃費特性を踏襲

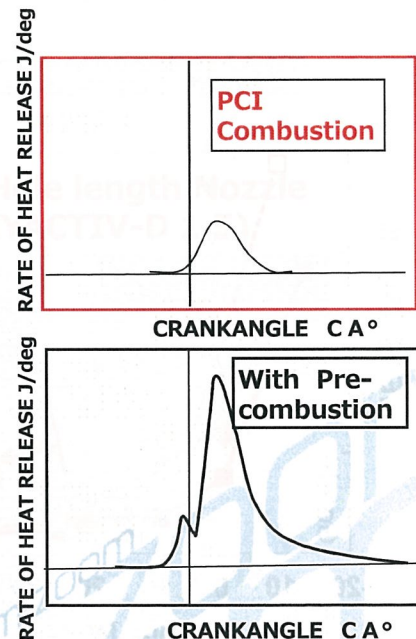
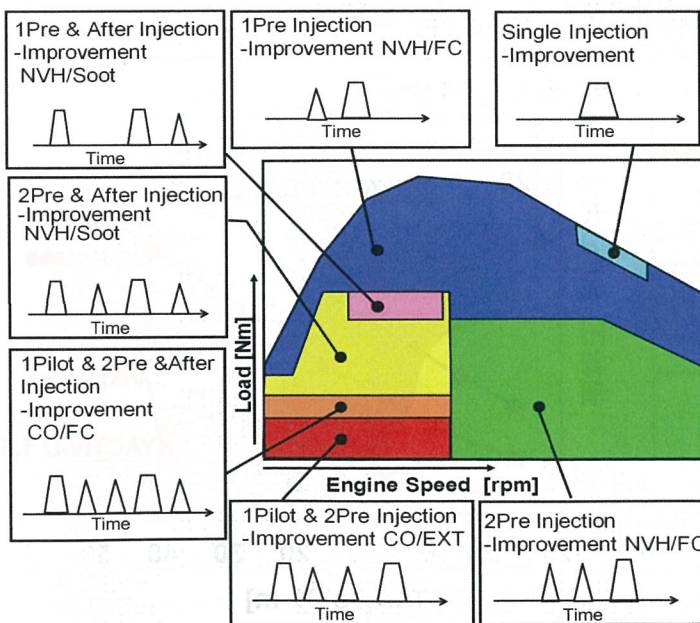
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

17

SKYACTIV-D 1.5 パフォーマンス



エンジン燃焼マップ



ありたい燃焼に対して熱発生特性を定義し、それを多段噴射制御とEGR制御で実現。燃費／排気エミッション／燃焼音をモデルで最適化。

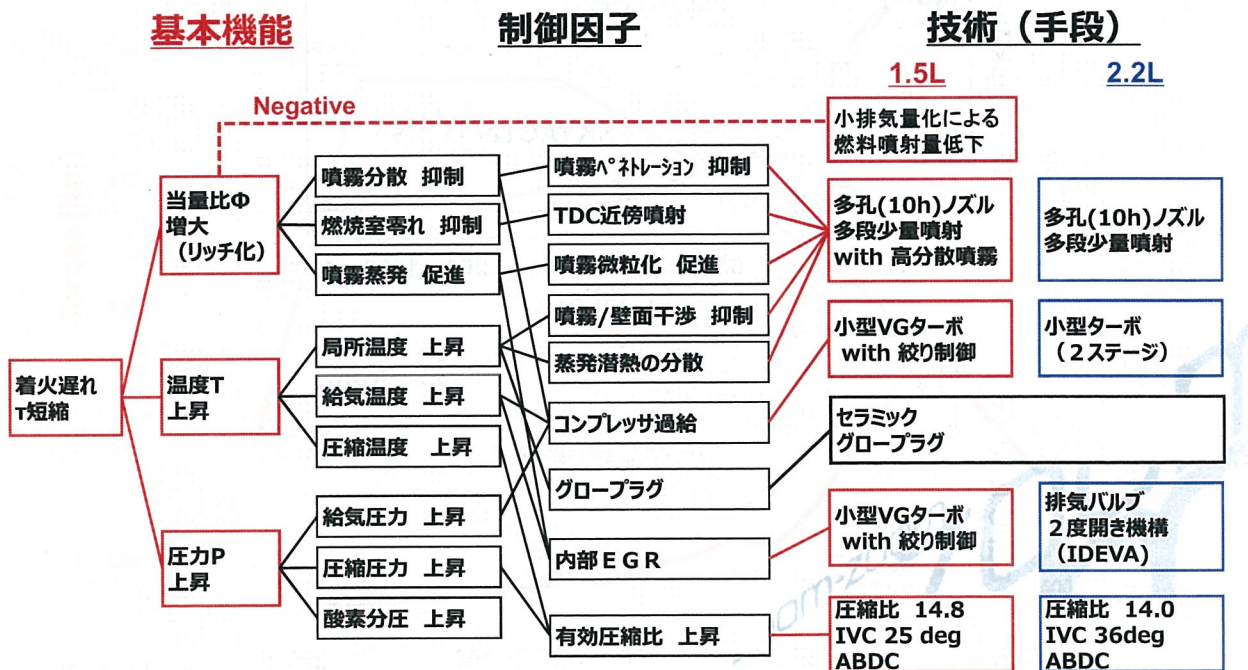
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

18

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



超低圧縮比の踏襲 ~ 着火性確保のための機能配分



IDEVA : Intake stroke EGR using Double Exhaust Valve Actuation system

2.2Lから1.5Lで手段を変更することで、等価な着火性を再現

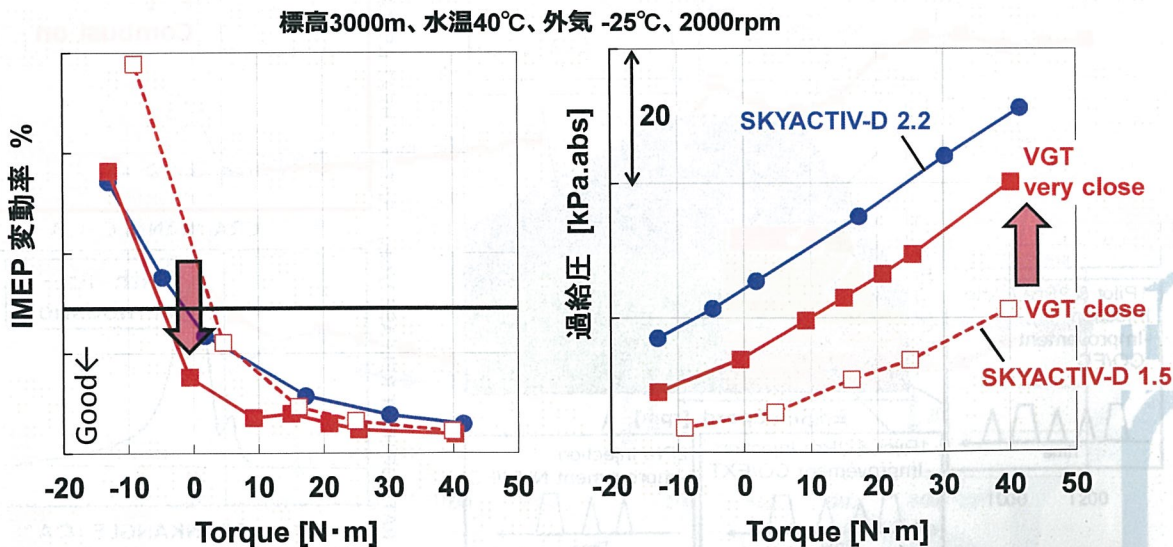
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

19

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



超低圧縮比の踏襲 ~ 着火性確保のための機能配分 検証結果 (エンジン実験)



VGTの絞り制御によって、極冷間無負荷条件での着火安定性を確保

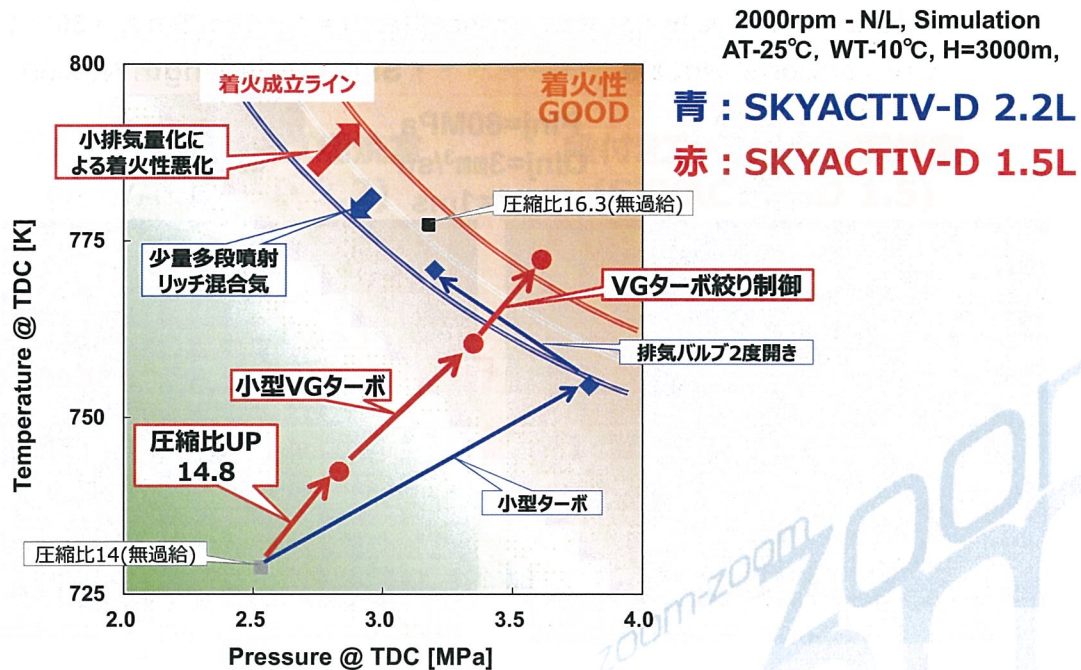
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

20

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



超低圧縮比の踏襲 ～ 着火性機能配分まとめ



着火性低下（無負荷の噴射量減少、燃料噴霧と壁面の干渉）を「小型VGTの絞り制御」と「有効圧縮比調整」により対策

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

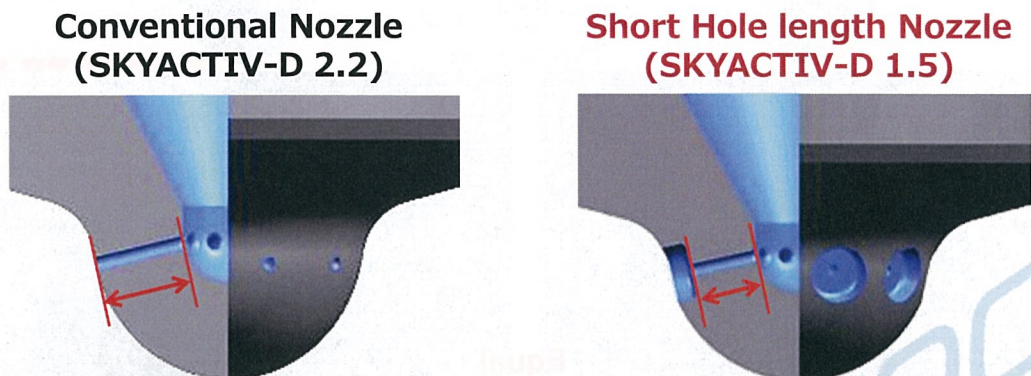
21

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



冷却損失の低減 ～ 短孔長ノズル

・燃焼室壁面への燃料付着と火炎の接触を抑制する技術



噴孔の周囲にザグリ加工を施すことによって強度を維持したまま噴孔長を短縮化

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

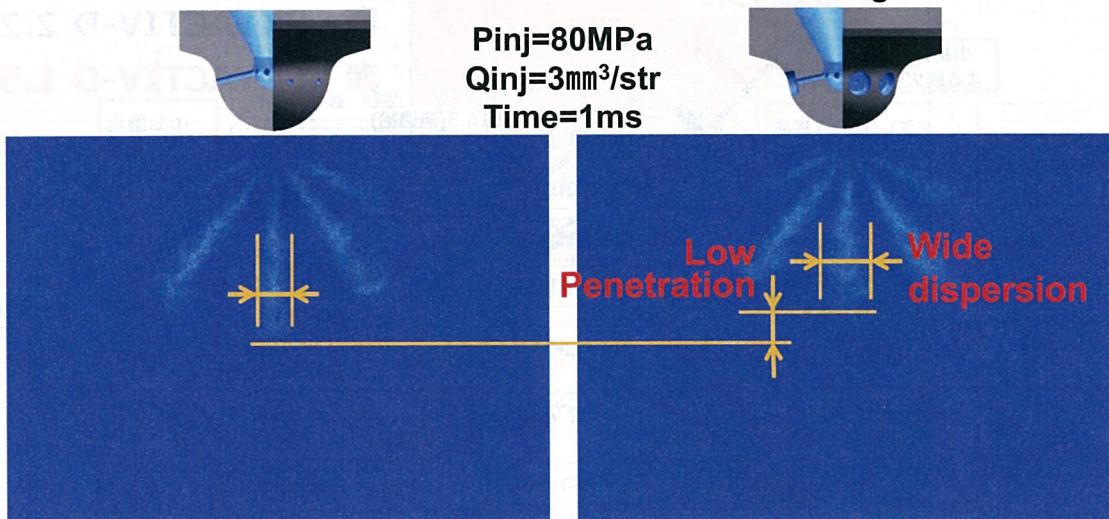
22

冷却損失の低減 ~ 短孔長ノズル 噴霧可視化結果

Mie scattering image in constant vessel ($P_{amb} = 1.5\text{MPa}$, $T_{amb} = 300\text{K}$)

Conventional Nozzle

Short Hole length Nozzle



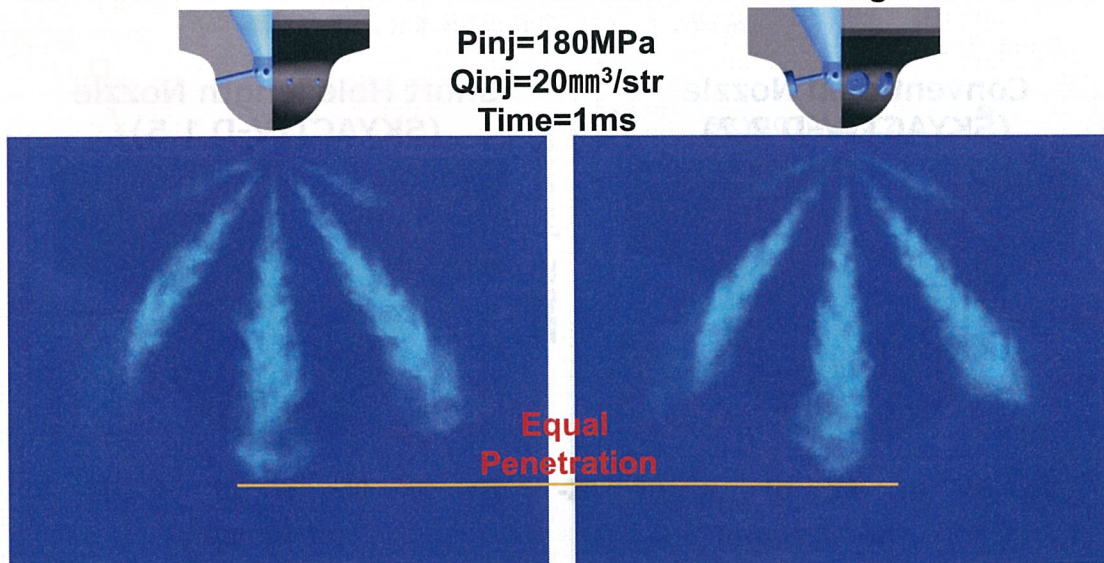
低圧少量噴射条件において、低ペネトレーション&高分散化

冷却損失の低減 ~ 短孔長ノズル 噴霧可視化結果

Mie scattering image in constant vessel ($P_{amb} = 1.5\text{MPa}$, $T_{amb} = 300\text{K}$)

Conventional Nozzle

Short Hole length Nozzle



高圧多量噴射条件において、高ペネトレーションを維持

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



冷却損失の低減 ～ 段付きエッグシェイプ°燃焼室

・リップ部での逆スキッシュ流動を抑制する技術

従来型エッグシェイプ°燃焼室
(SKYACTIV-D 2.2)



段付きエッグシェイプ°燃焼室
(SKYACTIV-D 1.5)



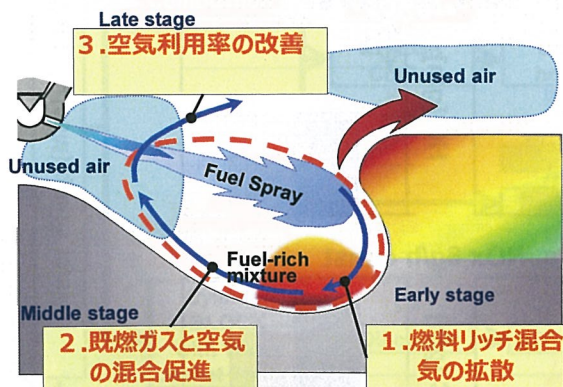
ピストンリップ°上部のスキッシュエリアに段差加工を設定

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術

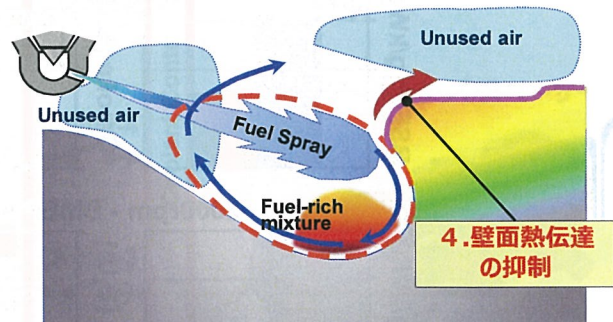


冷却損失の低減 ～ 段付きエッグシェイプ°燃焼室

従来型エッグシェイプ°燃焼室
(2.2Lから相似的に1.5L化した場合)



SKYACTIV-D 1.5L
段付きエッグシェイプ°燃焼室



縦渦流動による混合促進機能は踏襲しつつ、
逆スキッシュ流動を抑制してリップ部の熱伝達率低減を狙う

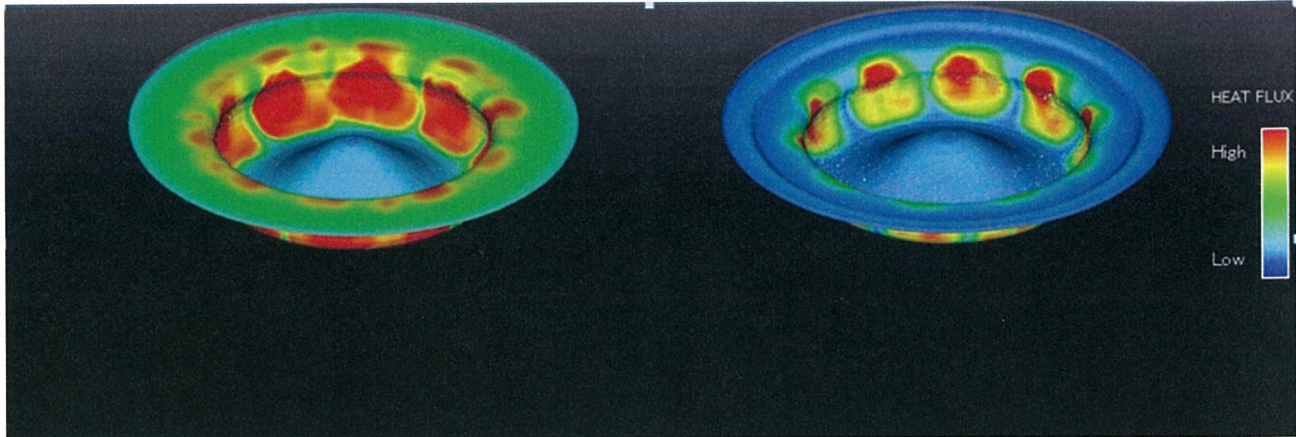
SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



冷却損失の低減 ~ CAEシミュレーション結果 (低負荷条件)

従来型エッグシェイプ[®]燃焼室コンセプト
(2.2Lから相似的に1.5L化した場合)

SKYACTIV-D 1.5L
低冷損型エッグシェイプ[®]燃焼室コンセプト
(短孔長ノズル+段付きEGG燃焼室)



小排気量化に伴い
冷却損失が悪化していた

高分散噴霧と
リップ部低流動化によって
冷却損失を低減

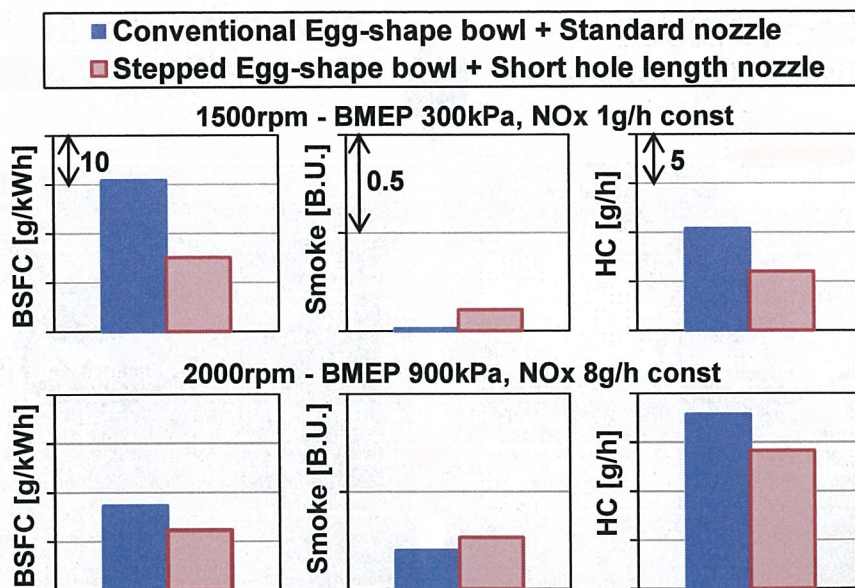
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

27

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



冷却損失の低減 ~ 短孔長ノズル+段付きエッグシェイプ[®]燃焼室 効果検証結果 (エンジン実験)



軽負荷で大幅な、また中負荷でも有意な燃費改善を確認
HCの低減・スモークの悪化が無いことも検証した

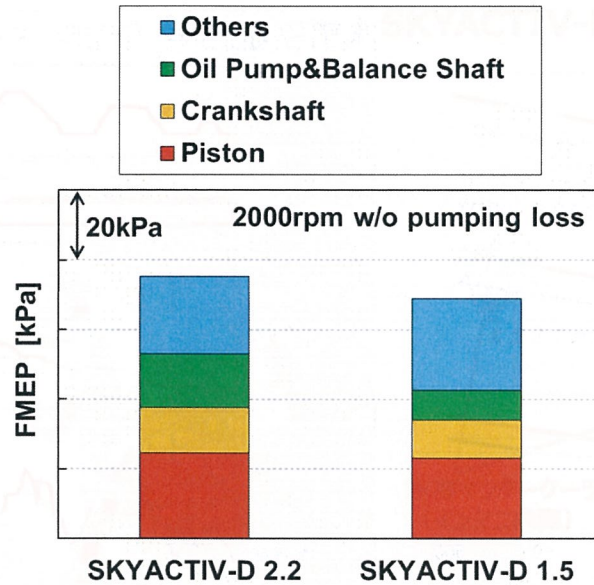
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

28

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



機械抵抗の低減



低Pmax 13.5MPa燃焼の踏襲に加えて、構造系摺動部のトライボロジ最適化により、摩擦平均有効圧の低減を達成

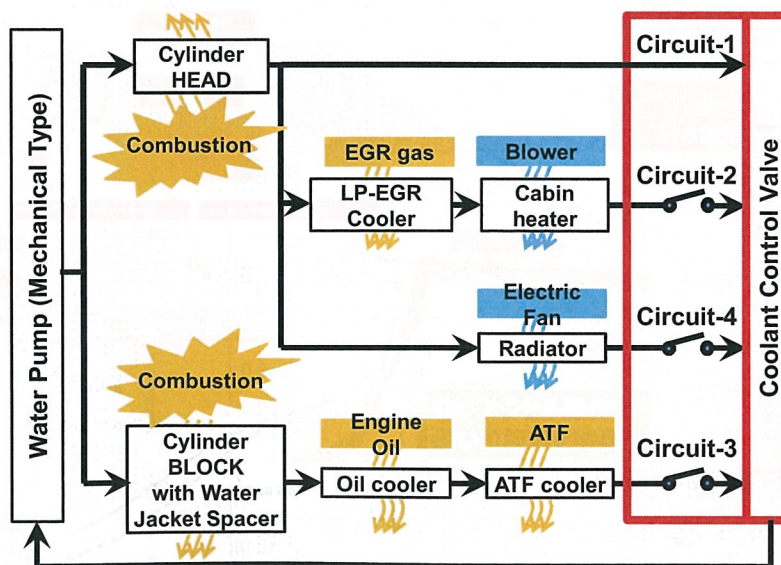
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

29

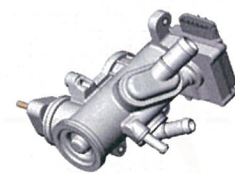
SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術



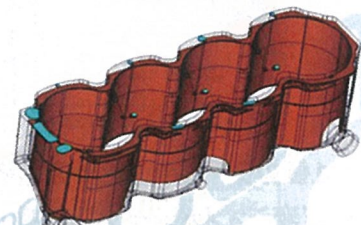
機械抵抗の低減 ~ 冷却水制御バルブ



水流水制御バルブ



ウォータージャケット Spacer



冷却水回路をモーター駆動の専用バルブで切り替えることでエンジン各部の暖機性改善を狙う

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

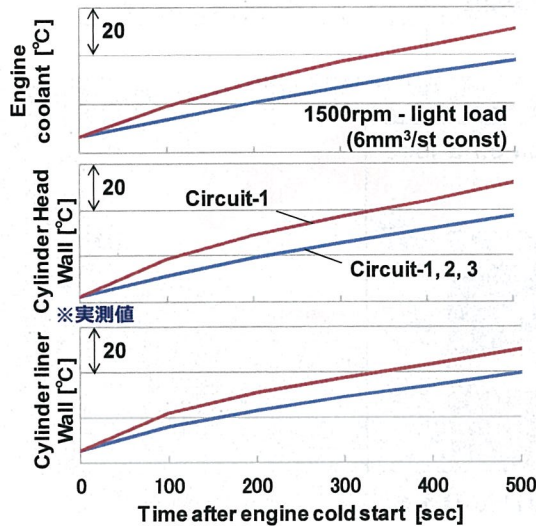
30

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術

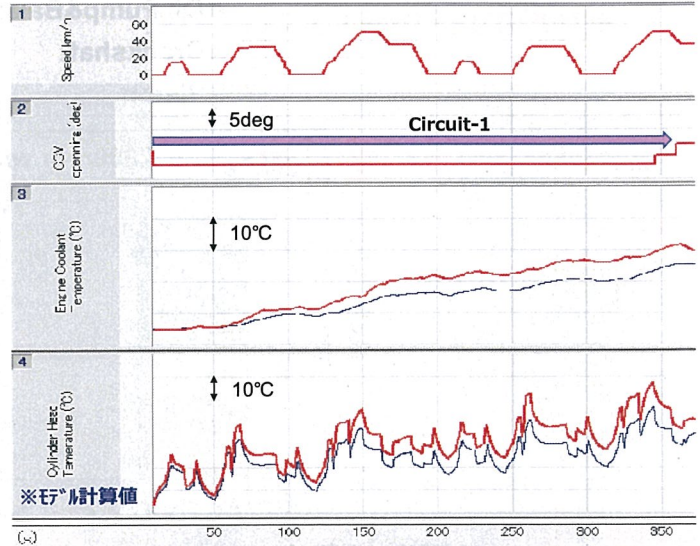


機械抵抗の低減 ~ 冷却水制御バルブの効果検証結果

台上検証結果



実車検証結果 (NEDCモード、DEMIO 6MT)



水流制御で水温&油温が上昇し、機械抵抗が低減。
また、HC低減などへも貢献している

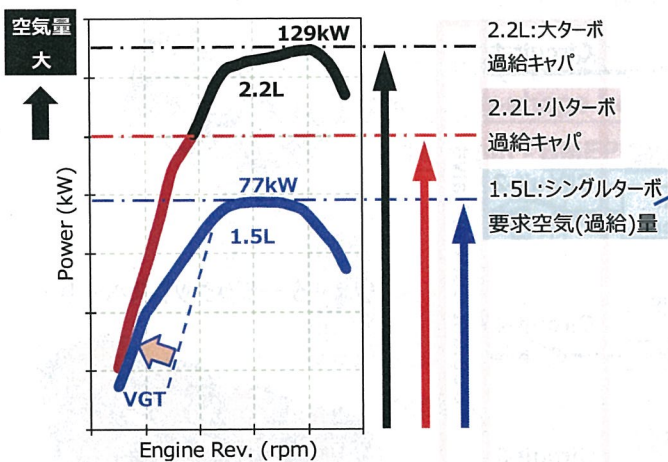
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

31

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術

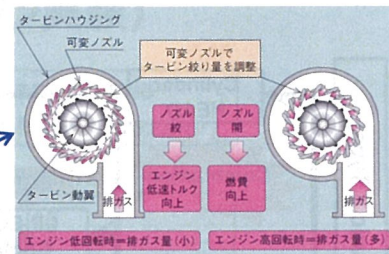


高効率過給

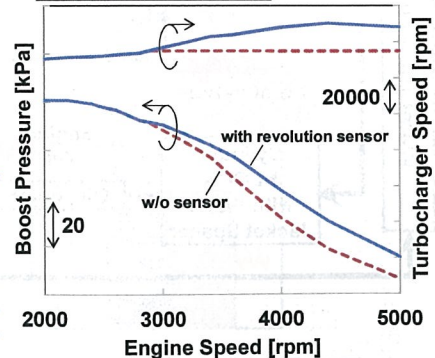


- 1個のターボで過給能力は確保可能 (回転センサ付)
- 可変ジオメトリー(VG)機構で回転レンジ拡大
- 冷間始動時 VG全閉による内部EGR導入 (2.2LのIDEVA機能を代替)

可変ジオメトリーシングルターボ



回転センサの効果



“全域で豊かなトルク特性”と“エンジン最高回転5200rpmの
伸び感のある加速性能”を実現

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

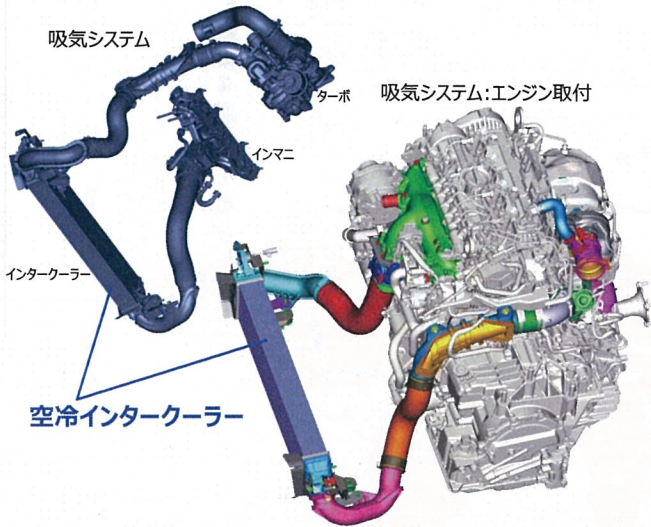
32

SKYACTIV-D 1.5 ブレークスルー技術

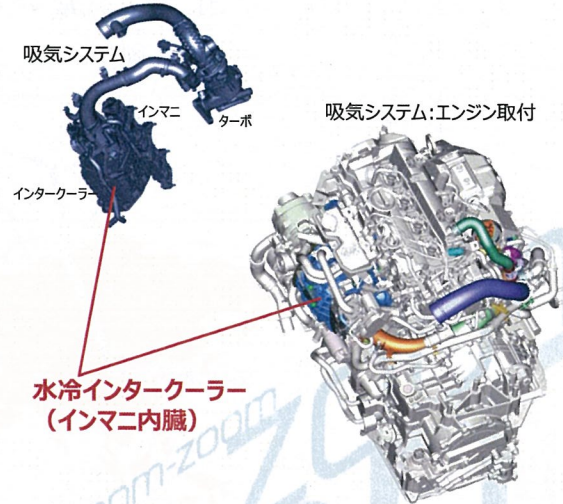


コンパクトパッケージ

SKYACTIV-D 2.2L



SKYACTIV-D 1.5L



“コンパクトパッケージ”でありながら高効率過給を実現

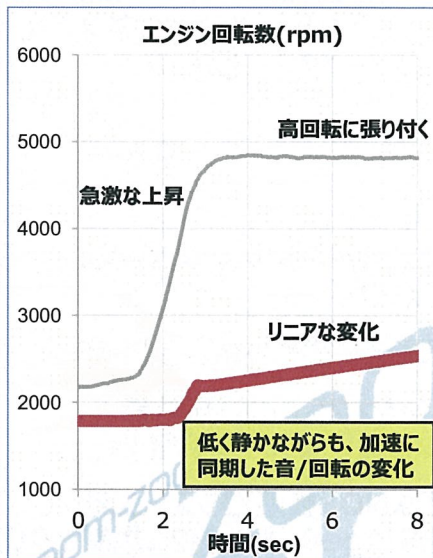
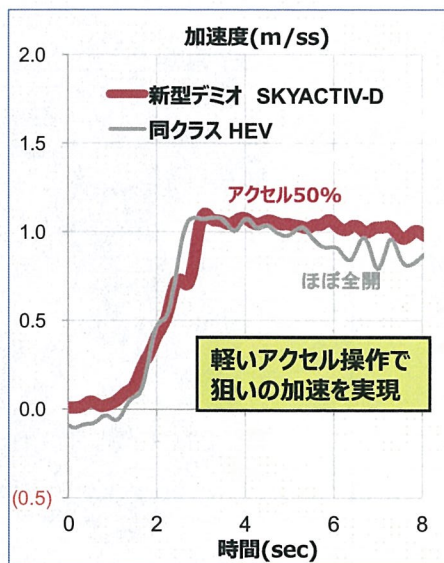
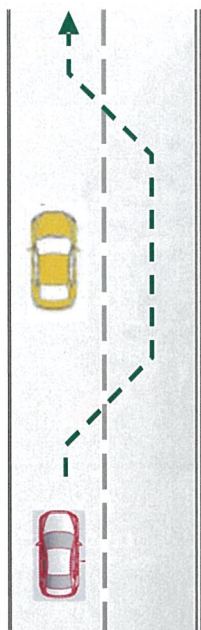
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

33

SKYACTIV-D 1.5 まとめ



高速道路での追い越し加速 (80km/h～、0.1Gの加速)



低回転で静粛性を保ちつつ、高トルクで力強い走りを実現

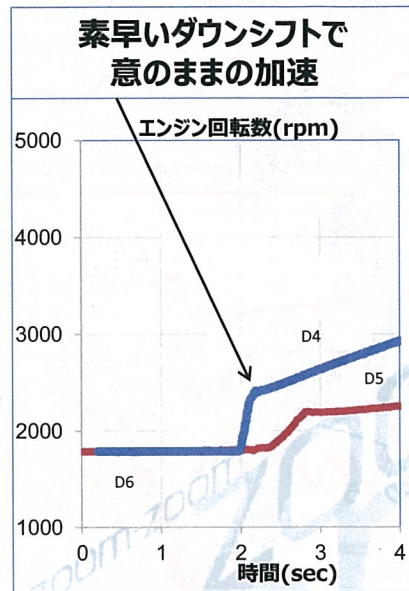
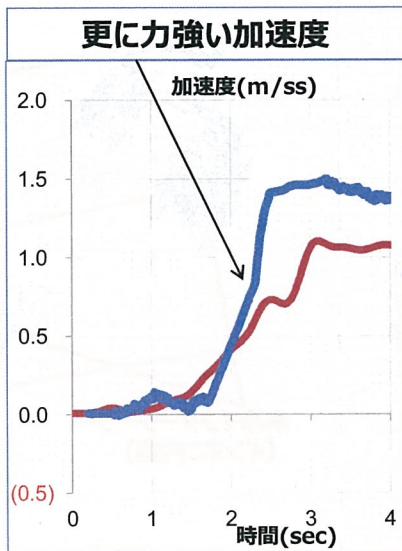
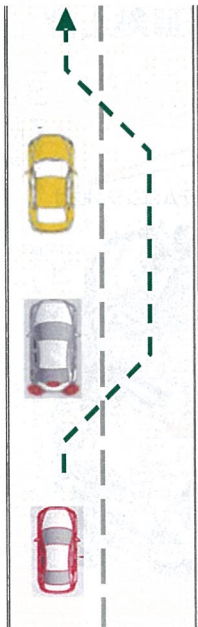
2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

34

SKYACTIV-D 1.5 まとめ



高速道路でさらに力強い加速 (80-90km/h～、0.15Gの加速)



滑らかな回転のつながりで感動と驚きの加速を実現

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

35

SKYACTIV-D 1.5 まとめ



機能まとめ

SKYACTIV-D 1.5 は小排気量&コンパクト化に伴う困難な制約の克服および、熱効率制御因子の更なる改善を革新的な技術によってブレークスルーした。

価値

- 全域で豊かなトルクとスムーズ&リニアなレスポンス
- 高回転まで軽やかな吹き上がり
- ベストインクラスの燃費性能
HEVに負けない経済合理性
- 高価なNOx後処理システム無しで
欧州Stage6、日本H21規制をクリア
- Mazda2はタイのエコカー優遇制度
(第2期)の認可取得



SKYACTIV-D 1.5L

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

36

SKYACTIV-D 1.5 まとめ



走りと燃費・環境性能を高次元でバランスしたSKYACTIV-Dの
共通価値をコンパクトカーを通じて より幅広いユーザーに提供

- DEMIO/Mazda2は 多拠点で生産同時立上げ
⇒効率的な開発/調達/物流も実現



2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

37



ご清聴ありがとうございました

魂動

KODO : SOUL of MOTION



CX-5

2012-2013
日本カー・オブ・ザ・イヤー

ATTENZA

2014年次
RJCカー・オブ・ザ・イヤー

All-NEW DEMIO

2014-2015
日本カー・オブ・ザ・イヤー

AXELA

2015/2/27 新開発エンジンシンポジウム

38