

第9回 高効率エンジン燃焼技術の高度化研究会 議事録

日 時：2021年3月3日（水） 13:30~17:00

会 場：オンライン開催（WebEX）

出席者：飯島（主査），藤間（幹事），渡邊，高梨，緒方（ホンダ），川上（法政大），衛藤，鈴木，山口（やまびこ）小島（ENEOS），養祖，山川，漆原（マツダ），北畠（いすゞ中研），山下，仲田，久地楽（関東学院大），畑村（広島大），村松（スズキ），福長（日野自），青柳（新エィーシーイー社友），佐古（大阪ガス）辻村，桂，長島，武藤（SUBARU），森田，柳下，木村，古正，中村，白根，出牛，篠崎，杉山，牧瀬，真部，田中，新井(日大学生)

計 38 名〔敬称略，順不同〕

## 1. 概要

上記日時に於いて，第9回研究会を実施した。  
今回は WebEX を用いた初のオンライン開催となった。

## 2. 話題提供

### 『新型水平対向 1.8L 過給リーンバーンエンジンの燃焼技術』

SUBARU 辻村 彬人 様

- SUBARU が追求する「安心と愉しさ」と環境対応ニーズに応える「環境性能」を高次元で両立するため，新型レヴォーグに相応しい1.8L リーンバーン過給エンジン(CB18)を新開発した。
- CB18 はエンジン諸元を一新し，先代の FB16 に対して，排気量 up・ロングストローク化による環境性能向上と動力性能向上を狙った。
- 環境性能向上の取り組みとして，①リーン燃焼②熱マネジメント③フリクション低減を以下に紹介する。

#### ① リーン燃焼

・比熱比増大による理論熱効率向上の一方，着火性悪化，燃焼速度低下，三元触媒での浄化性能低下による NOx 排出量増大が課題。これら課題解決のため CB18 ではセンター噴射による最適なプラグ周り混合気形成，筒内流動強化による燃焼速度向上，NOx 吸蔵触媒を採用した。

#### ② 熱マネジメント

・SUBARUの水平対向エンジンは左右バンクにより熱容量が大きく、温まりにくく冷めにくい。最適な冷却性能実現のため、MCV(Multi Control Valve)+FSV(Flow Shutting Valve)による最適流量制御とウォータージャケットスパーサによるシリンダブロック/ヘッドの冷却強化、IEM(Integrated Exhaust Manifold)での排気ガス温度制御によるノッキング抑制や触媒早期昇温を行った。熱マネジメント技術によって燃費1%改善。

### ③ フリクション低減

・水平対向エンジンで最もフリクションの大きいピストン系に対し、オフセットシリンダやコーティング改良、軽量化を実施した。また可変容量オイルポンプによる余剰ポンプ仕事の低減、潤滑回路簡素化による圧損低減と立ち上がり急峻化、低粘度オイル採用により、最大20%フリクションを低減した。

- 動力性能向上の取り組みとして筒内流動改善やオイルジェットによるトルク向上を行った。
- 以上の取り組みによりCB18で以下を実現した。  
環境性能：max  $\lambda=2$ ，最大正味熱効率40%超，JC08で16.6km/L  
動力性能：最大トルク300Nm，出力177PS

## 『可視化エンジンを用いた自着火・圧力振動・ノッキングの現象の観察』

日本大学 飯島 晃良 委員

- ノッキングに至る自着火，圧力振動とノッキング強度について，可視化エンジンや光学計測を活用して現象解明を試みた。

### 過給可視化エンジンを用いた自着火成長過程解析

- サイドバルブの可視化エンジンを用いて行った。点火プラグが左端にあり，可視化領域(80mm)左方からの火炎伝播や自着火を疑似的な一次元上で観測でき，自着火の生成速度や火炎伝播の経路がわかる。
- エンジン回転数が高回転域の時，低回転域に対して角度ベースでは自着火時期が遅れるが，時間ベースでは短縮する(点火からの時間は1400rpm:4-5ms $\leftrightarrow$ 4000rpm:2ms)。要因として考えられるのはエンドガスの圧縮速度，高回転数化による熱損失低下，残留ガス量など。
- 可視化画像から4000rpmにおいて点火後250 $\mu$ s以降は火炎伝播速度が低下する。またHCHO分光計測において250 $\mu$ s以降は低温酸化反応(LTO)によりHCHOが増大

し、火炎伝播速度の低下と LTO 発現時期が概ね一致。(LTO によるエンドガス膨張、エンドガス組成変化、エンドガス圧力・温度変化、乱れ減衰(時間減衰 or LTO 起因の減衰)などが考えられる)

- エンジン回転数違いでの自着火生成過程を観察した。1400rpm においては自着火の膨張速度は約 80m/s で亜音速状態、圧力振動は小さい。一方 4000rpm は自着火発生と同時に高輝度領域発生し、膨張速度は 1700-1800m/s 程度。筒内環境における音速は約 620m/s (未燃ガス温度は自着火が発生する 1100K と定義)なので、超音速状態である。
- 自着火時の膨張速度をマッハ数としノッキング強度を整理すると、マッハ数 1 を超えるとノッキングは非常に強くなることがわかった。

### HCCI のノッキング

- HCCI は自着火燃焼といえども筒内で火炎分布が発生する。よってエンドガス部が存在しそこから自着火する意味でスパークノックと同じ現象が起きている。また未燃燃料量がわずかでも強いノックが起こることがあり、ノッキングの強さを理解するために圧力波の成長過程が重要。

### 高圧縮過給リーンにおけるノッキング

- ピュアリーンでも強いノッキングが発生。初期の圧力振幅が重要。EGR40% (投入熱量一定、当量比 0.5→0.75) にするとノッキングは弱くなる。

### 多点圧力計測

- 多点圧力計測と発光計測による自着火と圧力波の関係を調査した。
- 強いノッキングが発生する時は、自着火時の圧力スパイクが大きく、約 1.3 倍の昇温効果 (300K) が見積もられた。それにより、未燃部の温度上昇による自着火を誘発し、強いノッキングに至ると推察した。
- 一方で弱いノッキングでの圧力スパイクは小さく、昇温効果は 1.04 倍 (約 40K) となり、自着火の誘発を起りにくい。
- 以上より、強いノッキングに至る過程として自着火時の圧力スパイクの大きさが関係している。圧力スパイクが自着火を誘発することで場合によってはデトネーションに遷移することもあり得る。
- 自着火による熱発生と音の広がりがカップリングするときに強いノッキングが起こると SAE で報告事例があり、検証した。カップリングし強いノッキングが起きる時の局所発熱量  $q'$  は、理論式によると自着火時の圧力、音速、火炎球半径、比熱比から求められる。一方で実測  $q'$  は、筒内平均の熱発生速度データと可視化画像から推定して求めた。結果、実測  $q'$  は、理論式と比較してオーダーとしても妥当であり、強いノッキングの要因として自着火と音の広がりのカップリングが示唆された。

## 2 点点火でのノッキング

- サイドバルブ式エンジンにて左端からの 1 点点火と両端からの 2 点点火を行った結果、2 点点火のノッキング強度がより大きい傾向。可視化画像からエンドガスの圧縮速度を算出すると 2 点点火時の方がエンドガス圧縮速度が大きく、ノッキング強度に影響したと推察している。

## 燃焼室の不均一性

- 2st エンジンは残留ガス多い特徴があり、筒内ガスの不均一性が大きい。そこで筒内の点火位置を A：吸気側（新気多い，低温側），B：中央（低高温の境界付近），C：排気側（残留ガス多い，高温側）の 3 か所で試験した。
- ノッキング強度は  $B > C > A$  の序列になった。CaseB は新気側が先に燃焼し、燃え残った排気側から強烈な自着火が発生し強いノッキングに至ったことが可視化画像から分かった。

## 燃料影響

- 燃料性状のノッキング影響を調査するため、同一オクタン価 (MON82.6) における PRF と SIP レギュラーガソリンの燃焼を可視化した結果、多成分燃料であるレギュラーガソリンの方が PRF に対し、自着火発生時の高輝度領域の分散が観測され、燃料性状が自着火の成長と圧力波の形成に対し何らかの影響を及ぼしていることが示唆された。