

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 5 No. 4 2015

JSAE エンジンレビュー

レポート特集：  
自動車技術会 2015 年春季大会  
Report of JSAE Annual Congress, Spring

会議センター  
CONFERENCE CENTER



公益社団法人 **自動車技術会**

コラム : ●雨垂れは石を穿つか? : 村中 重夫 / 編集委員会副委員長 1  
Constant dripping wears away a stone?

Report : 自動車技術会 2015 年 春季大会 2  
Report of JSAE Annual Congress, Spring  
遠藤 浩之, 清水 健一, 鈴木 央一,  
下田 正敏, 西村 知江子, 野口 勝三(編集委員),  
飯山 明裕(山梨大学), 伊東 明美(東京都市大), 高橋 俊輔(早稲田大学)

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長: 飯田 訓正 (慶應義塾大学)  
副委員長: 村中 重夫 (元日産自動車)  
幹事: 飯島 晃良 (日本大学)  
委員: 遠藤 浩之 (三菱重工業)  
金子 タカシ (JX 日鉱日石エネルギー)  
菊池 勉 (日産自動車)  
小池 誠 (豊田中央研究所)  
小酒 英範 (東京工業大学)  
佐藤 唯史 (ケーヒン)  
清水 健一 (元産業技術総合研究所)  
下田 正敏 (日野自動車)  
鈴木 央一 (交通安全環境研究所)  
西村 知江子 (堀場製作所)  
野口 勝三 (本田技術研究所)  
平井 洋 (日本自動車研究所)  
山崎 敏司 (編集)

発行所: 公益社団法人 自動車技術会  
発行日: 2015 年 12 月 30 日  
発行人: 竹村 純 (三菱自動車工業)  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2  
電話: 03-3262-8211

●コラム

## 雨垂れは石を穿つか？

*Constant dripping wears away a stone?*



村中 重夫  
*Sigeo MURANAKA*

JSAE エンジンレビュー編集委員会副委員長  
元・日産自動車  
*fomer*  
NISSAN MOTOR CO.,LTD

「雨垂れ石を穿つ」という言葉は二千年近く前の後漢時代に書かれた歴史書、漢書の枚乘伝に「泰山之靈穿石……」とあるのが出典であり、一定の場所に落ちる雨垂れ(霤)は、長い間に下にある石に穴をあける。小さな力でも根気よく続ければ成功することのたとえ(日本国語大辞典)とある。

この言葉を最初に見聞きした時は、軒先の雨垂れを想像して2~3mの高さから落下する水滴の衝撃力と溶解力では、ものすごく長い時間がかかるのではないかと漠然と思っただけだった。

'90年代の前半にMK燃焼の発案をきっかけに、日産の研究所で乗用車用直噴ディーゼルの先行開発をすることになり、ガソリンで複数の先行エンジン開発プロジェクト運営の経験があった筆者がリーダーとしてディーゼル部隊に異動した。

異動先で聞く言葉にディーゼル固有言語が幾つかあり、中でも初めて聞いて、なにそれと思ったのが「エクスツールドホーン加工」であった。内容を聞くと噴射ノズル内部のバリ取りと流量係数を向上させる砥粒流動加工のことだった。直径が0.1mm以下の噴孔奥のバリ取りを短時間で行うものである。

これを聞いて冒頭の雨垂れ……が頭に浮かんだ。石を穿ったのは風で舞い上がり、藁ぶき屋根にたまった土埃(石英粒子など)を砥粒とする流体研磨作用が主要因なのではないか、ということである。ダイヤモンドの研磨はダイヤモンド粉を固めたダイヤモンド砥石でやるように、石を削るのは石ではないかと。

さらに雨垂れから川に対象を拡大すると、理科で習う河川の浸食作用といわれるものも大雨時の土石流という砥粒流動加工であり、位置エネルギーが運動エネルギーとなって岩石が岩石を削り谷を深くする。氷河の作用も氷に巻きこまれた岩石が山肌を削るというように、水や雪氷が山を削るという中身は水、氷が直接というより、それらから運動エネルギーをもらった岩石が自身も削られながら山肌を削ると解釈される。

雨垂れから氷河まで、すべて“エクスツールドホーン加工”が占める割合が支配的ではないか？ と脳内でドミノ倒しが起きた一瞬だった。



# 自動車技術会 2015 年 春季大会

Report of JSAE Annual Congress, Spring

日時：2015 年 5 月 20 日（水）～5 月 22 日（金）

会場：パシフィコ横浜 会議センター

主催：公益社団法人 自動車技術会

遠藤 浩之，清水 健一，鈴木 央一，下田 正敏，西村 知江子，野口 勝三（編集委員）  
飯山 明裕（山梨大学），伊東 明美（東京都市大），高橋 俊輔（早稲田大学）

Hiroyuki ENDO, Ken-ichi SHIMIZU, Hisakazu ENDO, Masatoshi SHIMODA,  
Chieko NISHIMURA, Katsumi NOGUCHI (JSAE ER Editorial Committee)  
Akihiro IYAMA (University of Yamanashi), Akemi ITO (TOKYO CITY UNIVERSITY),  
Shunsuke TAKAHASHI (Waseda University)

## 1 フォーラム

### Post 2025 年の乗用車用パワートレインの主流は？

#### —低 CO<sub>2</sub> 時代に内燃機関は、生き残れるのか？—

本フォーラムには、産学官から講演者が 8 名招かれ「Post 2025 年の乗用車用パワートレインの主流は？」をテーマに講演を行い、その後モデレータが加わり 9 名でパネルディスカッションが実施された。1000 名収容のメインホール会場には、多くの参加者が集まり、本フォーラムの注目度の高さが感じられた。本稿では、そのフォーラムの概要を報告する。

最初の講演では、千田二郎(同志社大学)により「これからの低炭素社会における自動車のあり方」と題して、環境・エネルギー問題、パワートレインの動向、エンジン燃焼研究の方向性、ホロニックエネルギーパスから見た自動車社会等について説明が行われた。次いで田中 宗介(経済産業省)は、「自動車産業政策の今後 規制と振興の狭間で」と題して講演し、自動車産業は我が国の産業をけん引するフロントランナー等、政府の想いについて言及した。その後産業界からは、友利 晃利(トヨタ自動車)が「将来自動車用パワートレイン技術開発の方向性」について講演、2025 年においてもエンジンがパワートレインの主流である。過給リーンバーン + 燃焼制御、可変圧縮比、燃料改質等により、高熱効率化 + 多燃料対応を行い今後もエンジンの進化は続くと説明した(図 1-1)。平工 良三(日産自動車)からは「あと 100 年、内燃機関が戦うために今やるべきこと」と題し、10 年先を生き残るのではなく、次の 100 年を切り開く意志が必要だ。冷却損失を大きく削減しながら高圧縮比化を進めることで、熱効率向上の余地はあると報告した(図 1-2)。大津 啓司(松尾 歩講演、本田技術研究所)は、「内燃機関技術開発の現状」と題し、予混合圧縮着火と直噴スパーク点火と合わせた、低 NO<sub>x</sub> リーンバーン(HLSI)燃焼(図 1-3)について説明、今後電動化の技術開発も重要であるが、2040 年ごろまで内燃機関を搭載する自動車は増加し続け、内燃機関の進化が CO<sub>2</sub> 低減の key となると述べた。山本 寿英(マツダ)は、「乗用車用内燃機関の進化構想について」と題して講演を行い、今後も内燃機関と EV/HV の共存が続くと予測した。内燃機関の進化 1<sup>st</sup>・2<sup>nd</sup>・3<sup>rd</sup> Step(図 1-4)について説明し、高圧縮比化 + リーン化 + 冷却損失低減により、燃費改善を目指すと報告した。Gunter Fraidl(AVL List GmbH)からは「Future Passenger Car Powertrains-Trends beyond 2020」について講演があり、モジュール化された内燃機関とトランスミッションと電動化のマッチングが低 CO<sub>2</sub> 化におけるコスト効率の key となるとした。Wolfgang Siemel(ETAS)は、「Efficiency in development of automotive electronics as key for mastering the powertrain of the future」について講演し、低 CO<sub>2</sub> 時代に内燃機関は生き残る事はできる。ただし多様化するパワートレインの適合開発に新しい開発手法が必要であると述べた。

これらの講演の後モデレータ村瀬英一(九州大学)と上述 8 名の講演者が参加したパネルディスカッションが行われた。ディスカッションでの主な意見は、「内燃機関を備えたハイブリッド車

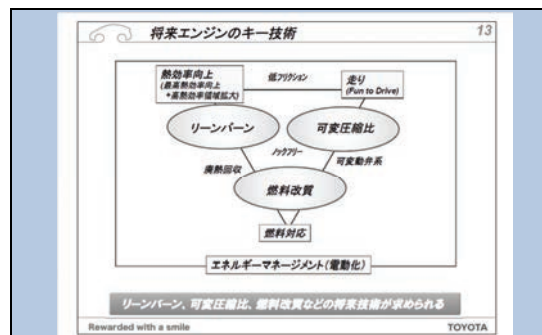


figure 1-1 将来エンジンのキー技術

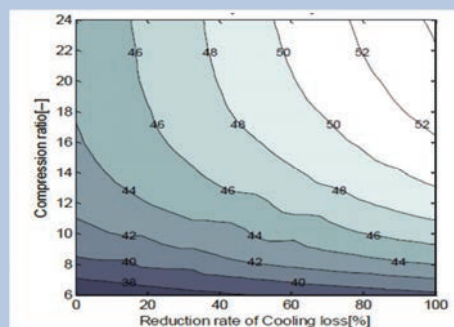


Figure 1-2 図示熱効率マップ(λ=2)

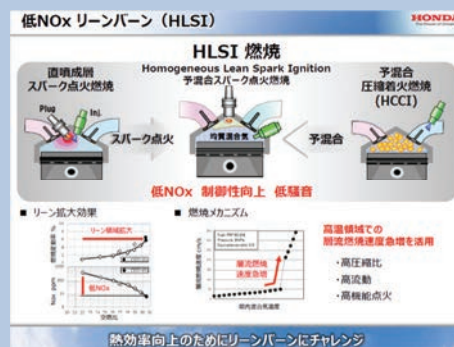


Figure 1-3 低 NO<sub>x</sub> リーンバーン(HLSI)燃焼

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 5 No. 4 2015

は、増えている”2025年ガソリンエンジンが主流”“部分最適されたパワートレーンが適材適所に配置され、EV・HV・ガソリンエンジン等、各々すべてが生き残る。例えば電気自動車は、ガソリンスタンドが無く走行距離が短い離島で有効である。”“FCVは、2025年より先か？”“ハイブリッド車は今後も広がる、ただし愛車と言われるように運転して楽しい車になれるかが課題である”“エネルギーを何で貯めるか？水素は貯められる、電気は多くは貯められない。電気自動車は、短距離は良いが長距離が課題”“インフラを考え内燃機関にこだわっている。楽しいトルクのコントロール性が大切”“ヨーロッパでは規制などにより、ハイブリッドは2025年までの間に大きく変わる、電圧は48Vが主流となるだろう”“自動車を買う判断基準は、コスト・利便性・ドライビングパターンである”等である。CO<sub>2</sub>削減対策の切り札は？との質問に対し、多くの企業がリーンによる燃焼と述べた。また冷却損失を大胆に低減する技術、排気損失低減、システム全体の最適化等の提案があり、具体的なものとしては、過給・圧縮比・EGR等の意見が上がった。

フォーラム全体を通して活発な討論が行われ、将来の認識・課題・対応の共有と、各講演者の将来パワートレーンに対する想いやビジョンを対比でき、非常に興味深いものであった。

最後に“内燃機関は電動化も含めたパワートレーンとして、100年後も生き残りを確信する”と結ばれ終了した。(野口)

## 【参考文献】

1-1) 自動車技術会 2015年春季大会フォーラムテキスト /15FORUM-8, Post2025年の乗用車用パワートレーンの主流は？

## 2 先進ガソリン機関技術

先進ガソリン機関技術では、グローバル環境の改善に寄与できる高性能・先進ガソリン機関の開発に資する基礎的研究及び技術開発に関する講演が、三つのセッションで17講演が行われた。本セッションの注目度は高く、満席の講演が多く見受けられた。今回はその中から3論文を紹介する。

日本大学の飯島ら<sup>2-1)</sup>は「過給とEGRを用いたガソリンHCCI機関の研究(第1報)ー過給と外部EGRによる高負荷時の燃焼緩慢化ー」を発表した。本研究では、単気筒機関を用いたHCCI燃焼実験により、過給と外部EGRが高負荷側の燃焼に及ぼす影響を調べている。図2-1に示すように、各吸気圧条件とも、負荷(IMEP)が増加することで、やがて急激にノック強度および最大圧力上昇率が增大している。EGRを与えていない白抜きのプロットに着目すると、吸気圧が高いほど、より高負荷側まで運転限界が広がっていることが分かる。またEGRを与える(色塗りプロット)ことで更に運転限界が拡大している。よって、過給とEGRによりノッキング発生条件をより高負荷まで伸ばし、高負荷側運転領域を拡大することが可能となると説明した。なお200kPaEGRより180kPaEGRの方が高負荷側の限界が広い結果になっているのは、着火時期、投入熱量、当量比等の条件の違いによるものと考えられるとのこと。吸気圧が高い条件においては、冷炎による熱発生がより顕著に観察されるという。つまり低温酸化反応が活発化すると述べている。

トヨタ自動車の高橋ら<sup>2-2)</sup>は「HV車用エンジンの熱効率40%実現に向けた燃焼開発」と題し講演を行った。熱効率40%を実現するため、排気量1.5Lの試作エンジン(Test Engine1)と市販1.8L 2ZR-FXEの改良エンジン(Test Engine2)の二つのエンジン(表2-1)にて検討を行っている。最高熱効率向上にクールドEGRは、重要な技術だと考えており、そのEGR限界拡大のため高速燃焼検討を行っている。そして燃焼速度向上には、タンブル比を高め筒内乱れを促進することが、効果的であるとしている。EGR率を0%から25%に増加することで冷却損失が13%低下したという。これはEGRを導入することで熱容量が大きくなり筒内ガス温度を低減出来たためと推察している。同時にクールドEGR増量によりノッキング改善も図られる。しかしながら高タンブル化による強い気流は、放電の吹き消えを生じさせてしまう。それにより着火不良や燃焼変動が引き起こされる。その対応として点火エネルギーを35mJから100mJに増加することで、サイクル変動を低減するとともに、失火サイクルの改善も可能となったと説明している。さらに燃焼室形状やエンジンブロック水流れの改善、機械損失低減等により、図2-2に示すように、目標の熱効率40%を実現できることが確認できたと報告した。

豊田中央研究所の大友ら<sup>2-3)</sup>は「過給火花点火機関における低速プレイグニッション発生メカ

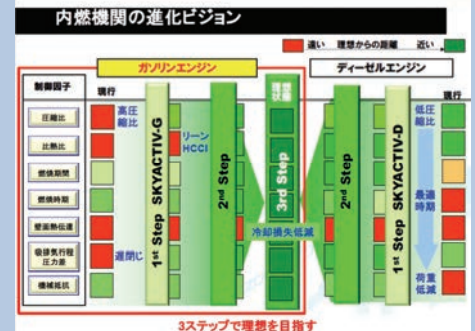


Figure 1-4 内燃機関の進化ビジョン

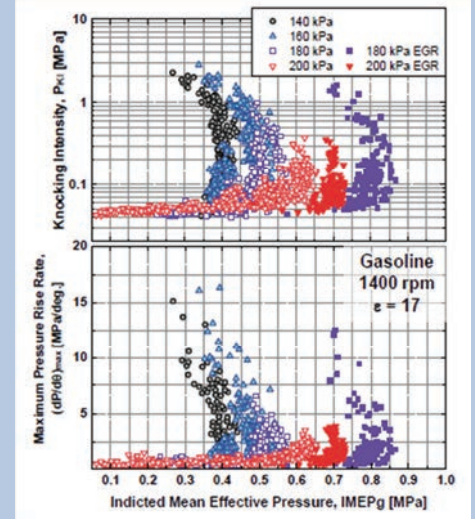


Figure 2-1 測定波形から求めた燃焼特性

Table 2-1 テストエンジン諸元

Engine	Test Engine1	Test Engine2	2ZR-FXE
Bore(mm)	72.5	80.5	—
Stroke(mm)	90.5	88.3	—
Cylinder Number	4	4	—
Displacement(cc)	1494.4	1797.6	—
Compression Ratio	13	13	—
Tumble Ratio	3.5	2.8	0.8
Fuel type	Gasoline	—	—
Valvetrain System	DOHC 4valve	—	—
EGR System	Cooled EGR	—	—
Injector position	Port	—	—
Boost	NA	—	—

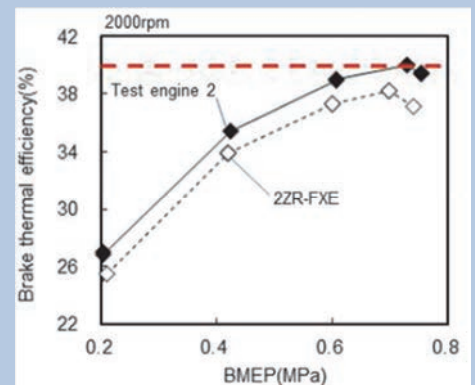


Figure 2-2 負荷に対する熱効率の特性



ニズム」の発表を行った。本研究では、オイル液滴の自着火が燃料-空気混合気の燃焼を誘発する条件を明らかにし、自着火実験から考えられる LSPI 発生メカニズムを実証することを目的としている。単一オイル液滴の自着火実験より、圧縮時間が非常に長い場合を除いて、オイル液滴が自着火によりガソリン-空気混合気の燃焼を誘発するのは、オイル液滴温度が高い場合に限られると考えている。圧縮時間をエンジン回転数として表した関係を図 2-3 に示す。乗用車用ガソリンエンジンに当てはめると、シリンダライナの温度は 150°C 程度であり、ここから飛散したオイル液滴が直後に圧縮を受けても、LSPI は誘発されないと推測している。オイル液滴が一度既燃ガス中にさらされ温度上昇し、次サイクルまで筒内に残存した場合に LSPI を誘発する可能性があるとして述べている。この仮説を検証するため、単気筒エンジンを用いて LSPI 発生メカニズム実証実験を行っている。新気の吹き抜けが無く残留ガス量が多い条件 I、および掃気により残留ガスを大幅に低減した条件 II で IMEP を変化した場合の LSPI の発生頻度を図 2-4 に示す。条件 II では、IMEP を増加させても LSPI が発生しない。すなわちエンジン筒内の残存物を除去することで LSPI を抑制することができたという。仮説通りオイル液滴は、飛散したそのサイクルで LSPI を誘発せず、次のサイクルで LSPI を引き起こすと考えられると報告した。近年過給ダウンサイジングの課題として LSPI の話題が注目されており、着火源や発生メカニズム等が活発に議論されている。Ca を含んだ小さな液滴が多数飛散しても、そのサイクルでの着火が起こらないのか？ 更なる解明が進むことを期待したい。(野口)

### 【参考文献】

- 2-1) 飯島晃良, 松石宗大, 阿部泰英, 石澤雄馬, 庄司秀夫, 三沢一仁, 小島啓, 中間健二郎: 過給と EGR を用いたガソリン HCCI 機関の研究 (第 1 報) 過給と外部 EGR による高負荷時の燃焼緩慢化, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155001
- 2-2) 高橋大志, 中田浩一, 葭原泰司, 太田行紀, 西浦博之: HV 車用エンジンの熱効率 40% 実現に向けた燃焼解析, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155004
- 2-3) 大友光彰, 鈴置哲典, 宮川浩, 小池誠, 横尾望, 中田浩一: 過給火花点火機関における低速ブレイグニッション発生メカニズム, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155009

### 3 先進ディーゼル燃焼・後処理技術

マツダの金らは、「新型 1.5L 低圧縮比クリーンディーゼルエンジンの開発 (第 2 報) 燃焼室形状および混合気形成最適化による熱効率の改善」<sup>3-1)</sup>と題して講演を行った。1.5L ディーゼルエンジンにおいて、混合気の均質化と冷却損失の低減を狙った燃焼コンセプトについての紹介である。図 3-1 に沿って燃焼コンセプトを説明する。まず燃焼室形状に卵型楕円カーブを採用し、燃焼室内の縦渦強化と噴霧間の干渉抑制を行うことで、混合気の均質化と燃焼後半における空気利用率の向上を図っている。低負荷においては噴霧火炎が壁面に衝突することによる冷却損失や未燃損失が大きいため、小径多孔ノズルによる噴霧の高分散化と少量多段噴射による噴霧貫徹力の低減を図っている。さらに 1.5L ディーゼルではスキッシュエリア部に段差を設け、逆スキッシュ流を弱めることで、噴霧火炎のリップ部への集中を低減し、冷却損失の低減を図っている。

続いて試験エンジンによる結果を説明する。試験エンジンの諸元は表 3-1 に示す。試験エンジンには、噴霧到達距離を抑える短孔長ノズル(図 3-2)と段付き Egg シェイプピストン(図 3-3)を適用している。試験結果を図 3-4 に示す。図 3-4 上段の低負荷においては、燃費率と HC の大幅な改善を確認した。図 3-4 下段の中高負荷においても燃費率と HC の改善を得ている。以上の結果から、Egg シェイプによる混合気の均質化、短孔長の小径多孔ノズルによる噴霧の壁面衝突の抑制、段付き Egg シェイプによるリップ部への噴霧火炎衝突の抑制などが実現できている。

本報告は、燃焼コンセプトの組み立て、数値シミュレーションと噴霧観察によるコンセプトの確認、最後にエンジンでの試験と分かりやすく解説されており、小型ディーゼルの低公害高効率化において、その燃焼コンセプトはもとより、研究開発の進め方と言う点でも大変参考となる報告であり、当日の会場は聴講者が入りきれないほど盛況であった。(遠藤)

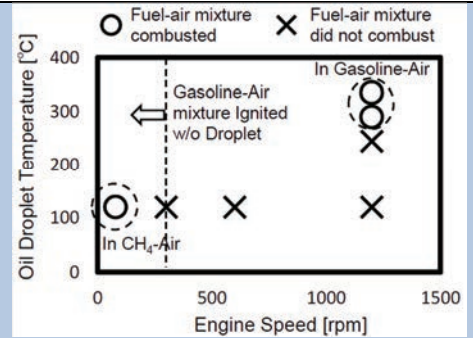


Figure 2-3 オイル液滴より燃焼が誘発される条件 (液滴径  $d_0 > 100 \mu m$ )

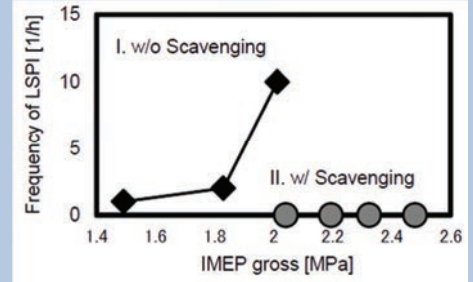


Figure 2-4 LSPI 発生頻度

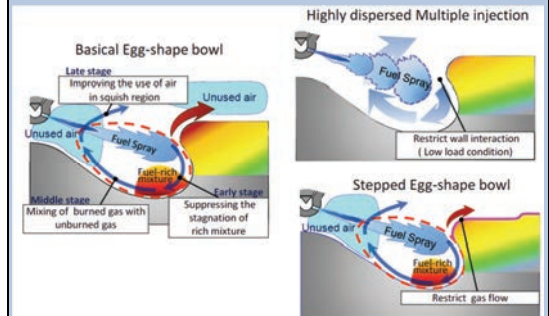


Figure 3-1 Egg シェイプ燃焼室の燃焼コンセプト

Table 3-1 試験エンジンの主要諸元

Engine type	In-line 4	
Displacement	1498 cm <sup>3</sup>	
Bore × Stroke	76 mm × 82.6 mm	
Compression ratio	14.8	
Nozzle type	φ 0.101 mm × 10 holes	
Engine speed	1500 rpm	2000 rpm
Load	300 kPa	900 kPa
EGR ratio	52 %	36 %
Injection pressure	73 MPa	160 MPa

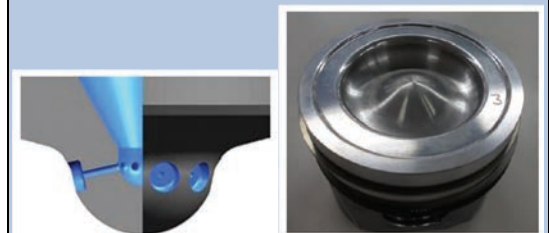


figure 3-2 短孔長ノズル



Figure 3-3 段付き Egg シェイプ燃焼室ピストン

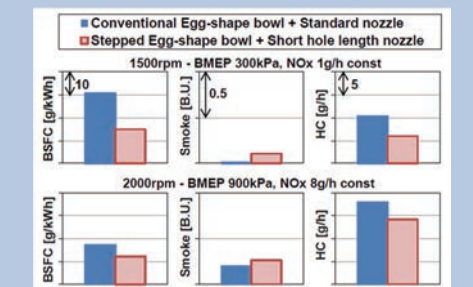


Figure 3-4 燃費率と排ガスのエンジン試験結果

エミテック野原らは「新世代後処理システムを搭載したトラックアプリケーション向けターボ前直列超小型触媒の可能性」と題して講演を行った<sup>3-2)</sup>。触媒を活性温度以上に維持することはエミッション浄化の基本であり、なるべくエンジン直下に配置したいところであるが、エンジン直近のタービン前は著しいスペース的制約があるうえに、圧力損失は過給機性能に大きなデメリットをもたらすため、これまでそのような形はあまり議論に上らなかった。しかし、空隙率と形状の自由度が高いメタル担体を使用することで、それらの欠点をカバーし、より温度の高い状態で浄化性能を高めることを狙っている。浄化性能の例として図 3-5 に、従来型触媒を含めた NEDC モードにおける CO、HC の浄化率比較を示す。図中の PTC-T とはタービン直前のマニホールドの集合後に配置されたもので、これとは別にごく小さい触媒を集合前に配置した PTC-C が提案されている(PTC-C と従来触媒の比較はない)。PCT-T であっても、図より従来型触媒よりも圧倒的に小さい容量で、とくに CO については同等以上の浄化性能を示す。HC については反応速度が遅いことから、やや浄化性能が低下するとしている。浄化性能が得られた原因の解析について、通過ガス流量から乱流や層流といった視点で考察をして結果を説明していたが、講演後の質問で「とりわけターボ前では排気脈動などがあって平均的なガス量で単純に層流などと結論付けるのは乱暴ではないか、」といった疑問が呈された。質問者の指摘に妥当性を感じる面もあり、興味深い結果が得られているだけに現象解析にはさらなる深化が望まれる。(鈴木)

豊田中研・水田らは「小ボア径ディーゼルエンジンの噴霧設計に関する理論的研究(第1報)ー噴霧燃焼系の幾何学的相似性とストロークに関する実験的考察ー」<sup>3-3)</sup>と題して講演を行った。ボア径が幾何学的に相似な燃焼室形状をもつ二つのエンジンに対し、熱発生率だけでなく、エミッション性能も同等にするための必要条件を明らかにすることを目的としている。本研究では、図 3-6 に示すようなボア径が異なる二つのエンジンを対象にして、大ボアエンジン(ボア径:  $D_L$ )の方をベースに、小ボア化(ボア径:  $D_S$ )する時の燃焼相似性を議論する。本研究では以下の式が相似条件となる。

- ・ボア径 :  $D_S/D_L = r$  (相似比)
- ・ストローク長 :  $S_S/S_L = r$
- ・排気量 :  $V_{0,S}/V_{0,L} = r^3$
- ・噴口数 :  $n_s/n_l = 1$
- ・噴口径 :  $d_{n,S}/d_{n,L} = r$
- ・噴口長 :  $l_n/d_n = \text{const}$
- ・スワール :  $SR_S/SL_S = 1$
- ・噴射量 :  $m_{f,S}/m_{f,L} = r^3$
- ・噴射圧力差 :  $\Delta P_{OR,S}/\Delta P_{OR,L} = r^2$

この時、小ボア化に対し相似比  $r$  に応じて噴霧速度は低下し、結果的にペネトレーションは相似比で小さくなるので、ボア径によらず噴霧-燃焼室壁間の干渉は相似になると考えられる。同時にスワール流やスキッシュ流の速度も相似比に応じて低下するので、噴霧-気流間の干渉も相似になると考えられる。

上記相似条件を考慮して、表 3-1 に示すような大ボア径 86.0φ、ノズル噴口径 0.098×9、小ボア径 73.0φ、ノズル噴口径 0.083×9 の単筒エンジンを準備し冷間軽負荷、中・高負荷における燃焼相似性をエンジン実験により確認した。両エンジンの冷間軽負荷の熱発生率を総噴射量で規格化し図 3-7 に示すが、両者はよく一致している。噴射時期に対する THC の傾向を図 3-8 に示すが、これも両者の傾向はよく一致している。次にエンジン中負荷における総噴射量で規格化した熱発生率と NOx-Smoke のトレードオフを図 3-9、3-10 に示す。同様にエンジン高負荷の場合を図 3-11、3-12 に示す。どちらの場合も、熱発生率は一致するが NOx-Smoke のトレードオフは小ボア径エンジンが劣っている。以上から、幾何学相似条件によって熱発生率はボア径によらず同等にできるが、中・高負荷での NOx-Smoke 特性までは同じにならない。

この NOx-Smoke 特性の悪化の理由が、噴霧特性に差があると推測し、解析のため図 3-13 に非蒸発場の噴霧写真を示す。右側の S 型ノズルの噴霧は左側の L 型ノズルに対して、ペネトレーションは小さくなるため相似比  $r$  の逆数倍で拡大して形状を比較した。図 3-17 から S 型ノズルの噴霧は L 型よりも尖って噴霧形状が細いことが分かる。図 3-17 の右側に示すように、噴霧長の半分の位置での噴霧幅と噴口出口からできる角度を噴霧角  $2\theta$  と定義し、両者を比較した

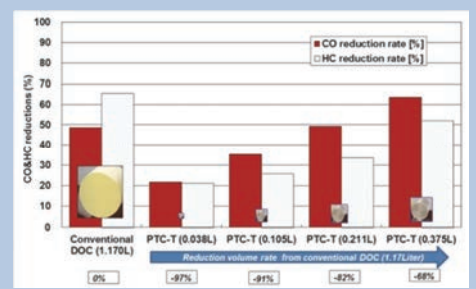


Figure 3-5 CO、HC の浄化率の比較

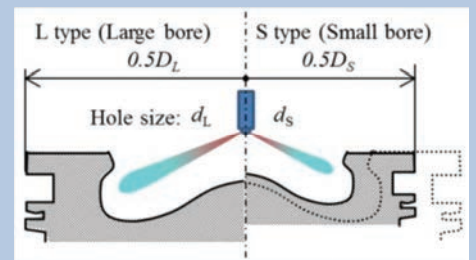


Figure 3-6 噴霧-燃焼システムの幾何学的相似

Table 3-1 S-type と L-type のエンジン諸元

	S type / L type	Ratio (S/L)
Bore [mm]	73.0/86.0	$r (=0.85)$
Stroke [mm]	81.5/96.0	$r$
Top clearance [mm]	0.65/0.71	0.92
Compression ratio	15.8/15.8	1
Nozzle orifice diameter [mm]	0.083/0.098	$r$
Nozzle orifice length [mm]	0.68/0.80	$r$
Nozzle hole number	9/9	1
Swirl ratio	1.8/1.8	1

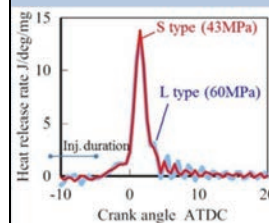


Figure 3-7 総噴射量で規格化した S-type と L-type エンジンの熱発生率の比較 (Targeted IMEP 0.26 MPa, EGR 0%, Inj. timing -12°ATDC)

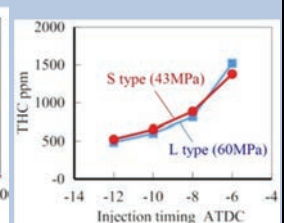


Figure 3-8 噴射時期に対する THC の傾向

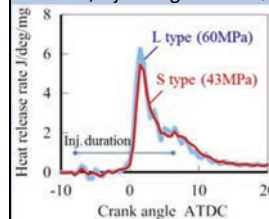


Figure 3-9 総噴射量で規格化した S-type と L-type エンジンの熱発生率の比較 (Medium load: Targeted IMEP 0.65MPa)

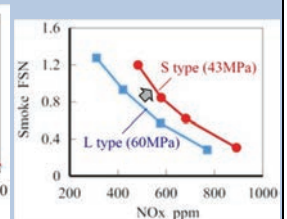


Figure 3-10 S-type と L-type エンジンにおける NOx-smoke のトレードオフ (Medium load: Targeted IMEP 0.65MPa)

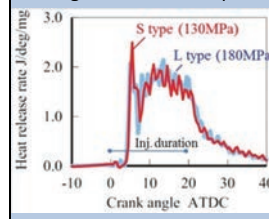


Figure 3-11 総噴射量で規格化した S-type と L-type エンジンの熱発生率の比較 (High load: Targeted IMEP 1.6MPa)

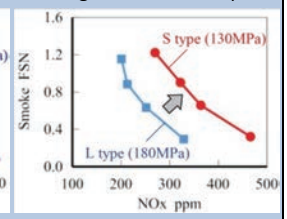


Figure 3-12 S-type と L-type エンジンにおける NOx-smoke のトレードオフ (High load: Targeted IMEP 1.6MPa)



のが図 3-14 であり、S 型の方が約7%小さくなった。図 3-15 に上段に規格化した相対ペネトレーションを、下段に L 型に対する S 型の相対ペネトレーションの増加割合を示す。S 型は約 3% 増加した。以上から S 型ノズルの方が噴霧への空気エントレインが小さく結果として噴霧角は小さく遠くへ飛ぶようになったと推察する。高温定容燃焼器での両者の噴霧火炎を図 3-16 に示す。非蒸発場と同様に S 型ノズルの方が噴霧が細く、相対的ペネトレーションが大きくなった。両者の輝炎出現時期は同じであるが、L 型ノズルは輝炎が噴霧根元から広い範囲に分布するのにに対し、S 型ノズルでは噴霧根本に輝炎は見られず先端のみに集中している。これは、S 型ノズルでは噴射期間中の噴霧内への空気エントレインが全体的に少なく、結果的に混合気形成が L 型ノズルに比べて遅れることが要因と推察している。

以上の非蒸発場と燃焼場での噴霧単体の可視化結果から、小ボア化で NOx-Smoke 特性が悪化したのは、幾何学相似条件では噴霧内への空気エントレインが小さくなり混合気形成が遅れたことが原因であると結論づけている。

これに対して筆者は、大型商用車ディーゼルの燃焼マッチングの経験から小噴口径ノズルに対して、これとは別の概念を持っている。これはあくまでも幾何学相似条件ではなく、同一ボアに対しての小噴口径ノズルを用いた経験であるが、大型商用車ディーゼルでは小噴口径ノズルを高圧噴射と組み合わせ、噴射期間を同一若しくは短縮する状態で使用し、結果として NOx-Smoke 特性の改善をしてきた。この考え方は SANDIA 研究所の提唱している  $\sigma$  (リフトオフの位置における空気エントレインの代表値であり、噴射された燃料に対する理論空気必要量に対する割合) の傾向とよく符号していた。SANDIA 研究所の提唱している  $\sigma$  は高温高压容器での単一噴霧の値であるが、同一噴射圧でも、噴口径が小さいほど高く空気エントレインが活発であり、噴射圧よりも影響度が高い。本論文の結果は場の設定がかなり違うが、小噴口径に対する概念が大型商用車ディーゼルの経験とは異なるような感じを受ける。この原因がボア径(本論文では 73-86  $\phi$ 、大型では 104-137  $\phi$ )、ノズル噴口径(本論文では 0.083-0.098、大型では 0.12-0.20)などに基ずくものか、まったく同じ現象を見ているのか、それとも全く違う新しい現象を見ているのか、ノズルの加工法などによるものなのか今後の更なる追求に期待したい。

豊田中研・脇坂らは「壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減(第2報)-単筒エンジンによる遮熱効果の先行検討-」<sup>3-4)</sup>と題して講演を行った。従来、熱伝導率が低くかつ耐熱温度が高いセラミックスを使って燃焼室を断熱したエンジンが研究されてきたが、この方法はセラミックスの熱容量が大きいので、壁温度が定常的に上昇し、吸気工程中のガス温度が上昇し、充填効率の悪化や NOx の増加を招く問題があった。これに対し、壁温スイング遮熱法では、熱伝導率と体積比熱がセラミックスよりもさらに低い材料を燃焼室壁面に形成することにより、膜表面温度をガス温度に追従するように変化させる。この様子を図 3-17 に示す。膜表面温度は、燃焼時急速に上昇することにより燃焼ガスと膜表面の温度差が減少して熱損失が低減する。一方で膜表面温度は排気時に急速に低下することにより吸気加熱を発生させることが少ない。遮熱膜の候補材料を表 3-2 に示す。

単筒エンジンを用い、上記遮熱膜の熱流束低減効果を確認したのが図 3-18 であり遮熱膜の効果が確認された。この Insulation C の遮熱効果を検証するため、膜表面温度を計測し、遮熱膜の有無によるサイクル中の表面温度の履歴を計測した結果を図 3-19 に示す。噴霧火炎が衝突する領域の表面温度を計測しており、Insulation C は燃焼が行われる TDC 近傍で約 140K のスイング幅を示しており、図 3-18 で得られた遮熱効果は壁温度が定常的に上昇したためではなく、サイクル中の温度スイングによりガス温度と膜温度の温度差が減少したためと考えられる。

図 3-20 に、Insulation C をピストン頂面に 100  $\mu$ m の膜厚で形成し遮熱膜無と比較したエネルギーバランスを示す。タイミング A は熱発生率を積分し 50%の熱発生時期が約 1° ATDC であり、タイミング B はそれより 4° 遅角している。両者のタイミングにおいて Insulation C が熱損失が低減し、図示仕事と排気エネルギーが増加している。

以上から、壁温スイング遮熱法の熱損失低減のコンセプトが実証されたと結論している。

筆者は、未だナチュラルエンジンが全盛のころ、黒煙低減策としてスキッシュリップ燃焼室の実用化を図っていた。最大の問題点がピストンリップ部の温度低減と亀裂防止であった。目的は違ったが、本コンセプトと同様に、ピストンリップ部に陽極酸化膜処理をして熱の流入の低減を図り、結果としてピストンリップ部の亀裂防止を図る研究を当時の泉自動車工業と共同で進

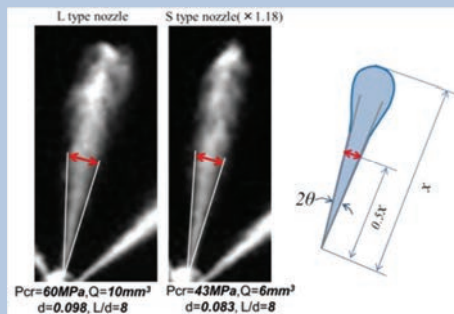


Figure 3-13 定圧容器内の噴霧写真 (左側:L-type ノズル, 右側:S-type ノズル)

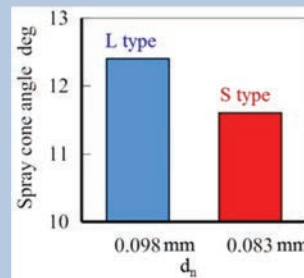


Figure 3-14 L-type と S-type ノズルにおける噴霧角の比較

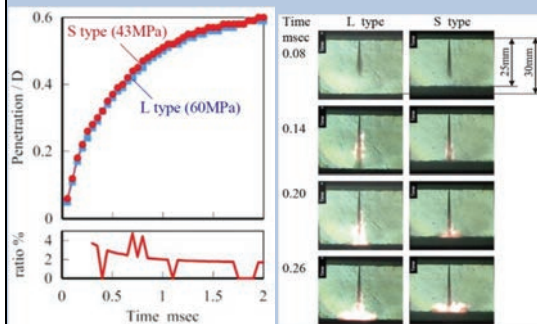


Figure 3-15 定圧容器内の L-type と S-type ノズルにおける噴霧先端ペネトレーションの比較

Figure 3-16 高温定容容器内噴霧燃焼のシャドウグラフの比較

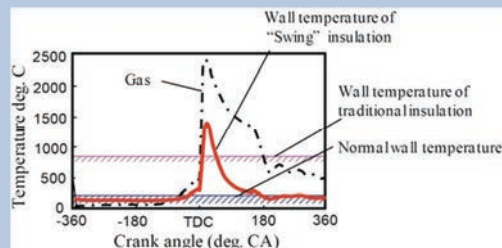

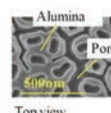
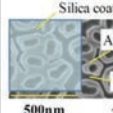


Figure 3-17 遮熱時の壁温

Table 3-2 本研究の遮熱膜候補材料

Insulation A	Insulation B	Insulation C
Glass Balloon + Ceramics Bond	Porous Anodized aluminum	Porous Anodized aluminum with silica coat
 Side view	 Top view	 Top view



めていた。亀裂防止にある程度の効果はあったが、NO<sub>x</sub>が増加し亀裂も完全に防止できず、研究を中断したことを思い出した。その時はピストンの測温だけで、エネルギーバランスまでは計測していなかったことを今となって反省する。そこまで解析していれば、次の重要な研究課題を見つけていたはずである。研究を中断する敗戦処理の仕方の重要性を今更ながら痛感する。当時 Mahle でも同様な研究をしており、意見交換をしたことがあり彼らの狙いは、陽極酸化膜により与張力を与え亀裂防止を図ろうとしていた。当時の研究陣がまだいるなら、この研究テーマを議題に討議をしたいものである。(下田)

### 【参考文献】

- 3-1) 金尚奎, 平林千典, 難波真, 宮崎正浩, 大西毅, 志茂大輔: 新型 1.5L 低圧縮比クリーンディーゼルエンジンの開発(第2報) 燃焼室形状および混合気形成最適化による熱効率の改善, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155030
- 3-2) 野原徹雄, 小松一也, 前川弘吉, 中村圭介, 藤野竜介, 大角和生, 島崎直基: 新世代後処理システムを搭載したトラックアプリケーション向けターボ前直列超小型触媒の可能性, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155253
- 3-3) 水田準一, 稲垣和久, 川村清美, 井戸田芳典, 橋詰剛: 小ボア径ディーゼルエンジンの噴霧設計に関する理論的研究(第1報)-噴霧燃焼系の幾何学的相似性とスートに関する実験的考察-, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155021
- 3-4) 脇坂佳史, 稲吉三七二, 福井健二, 小坂英雅, 堀田義博, 川口暁生: 壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減(第2報)-単筒エンジンによる遮熱効果の先行検討-自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155027

## 4 先進ディーゼル制御技術

トヨタ自動車の金子らは、「MBD によるディーゼルシステム開発」<sup>(4-1)</sup>と題して講演を行った。V 字プロセス右側の評価プロセスに MBC(Model Based Calibration)を活用することで、適合業務のボトルネックを解消し、評価プロセスの効率化は達成していたが、設計プロセスにフィードバックする際の、ハード変更、再評価の手戻りが解消できない問題があった。そこで、V 字プロセス左側の設計プロセスに「燃焼設計」と「物理状態指標」を適用することで効率化を図っている。新旧プロセスを図 4-1 に示す。

排気対応を例とした設計プロセスは次の通りである。まず車両シミュレーション(図 4-2)によってエンジンの使用域を把握し、この使用域に各排気目標を割り付ける。排気性能を実現するための物理状態指標としては、「ガス系」と「噴射系」に分ける。NO<sub>x</sub> に対して説明すると、ガス系の物理状態指標として吸気酸素濃度を用い、図 4-3 のような関係から各使用域で必要な酸素濃度を明らかとする。次に図 4-4 に示す VDE(Virtual Diesel Engine)を用いて、物理状態指標を実現できる操作量および各ハードの要求性能を算出する。噴射系の物理状態指標の検討は VDE に含まれている燃焼モデル UniDES(図 4-5)を用いて行う。さらにこの設計プロセスにおける物理状態指標 V 字開発においても MBC を適用し効率化最適化を図っている。

本手法で使っている個々のシミュレーション技術は既存のものであるが、V 字開発プロセスに設計プロセスとして統合され、さらに MBC を設計プロセス側にも使用している点が開発品質および効率の向上に大変有効と考えられる。(遠藤)

### 【参考文献】

- 4-1) 金子広孝, 笈川直彦, 富永浩之, 加藤千詞: MBD によるディーゼルシステム開発, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155289

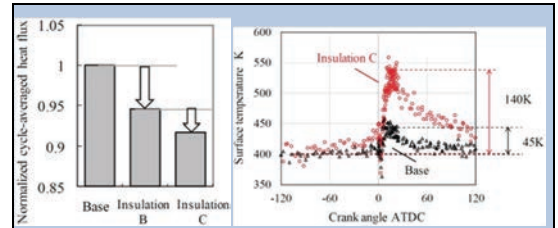


Figure 3-18 遮熱膜材料 B と C におけるサイクル平均熱流束の比較

Figure 3-19 遮熱膜材料 C の有無による表面温度

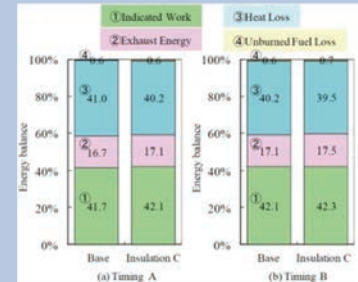
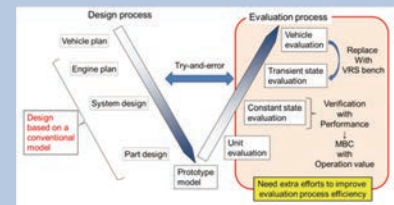


Figure 3-20 遮熱膜材料 C の有無によるエネルギーバランス



旧 V 字プロセス  
新 V 字プロセス

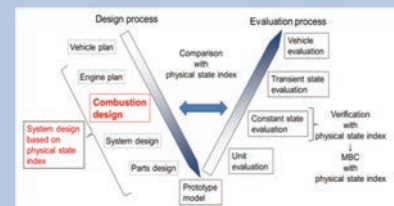


Figure 4-1 新旧の V 字プロセス

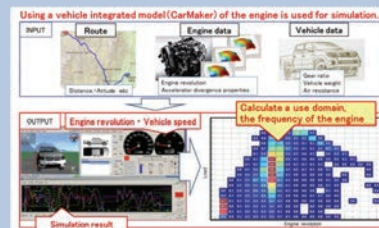


Figure 4-2 車両シミュレーションツール

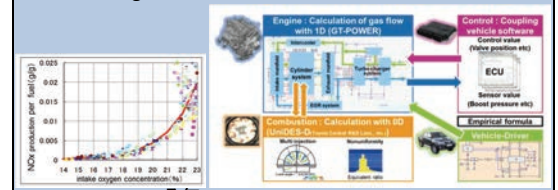


Figure 4-3 吸気酸素濃度と NO<sub>x</sub> の関係

Figure 4-4 Virtual Diesel Engine

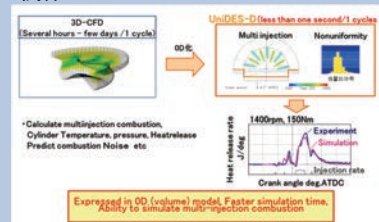


Figure 4-5 燃焼解析ツール UniDES

## 5 EV, HEV, FC

今大会の電動車両関連発表は、一つのフォーラムと12セッションに及んだが、車両そのものでなく構成要素や評価法に関するものが多かったのが特徴であった。特にワイヤレス給電/走行中給電は3セッションに加えて現状を紹介するフォーラムがあり、この分野の全容を把握できる機会であった。モータと蓄電デバイスも各々の研究のトレンドを網羅するようなOSが企画され、活発な質問がみられた。特にモータのOSでは駆動用モータの使用全域で高効率を確保するためにモータの特性を変化する手法の研究について、現状を網羅する発表があった(現状では変速機と組み合わせてモータを効率の良い範囲で使用する例が多いが、将来的な課題として興味深い)。

電動車両の駆動モータとしては効率的に有利な、ロータ内部に永久磁石を配置した同期モータ(IPMSM)が採用される例が多いが、磁束密度の高い希土類磁石が必須であるため、広範なEV化への対応には資源的に課題がある希土類磁石を必要としない高効率モータが期待されている。

鄧らは図5-1(a)に示す自励式巻き線界磁モータ(インバータからのステータ電流に含まれる二次高調波電流によってロータに誘起される電流でロータに磁界を作る)を高効率化する提案(同図(b), 極と極の間に補極のコイルを設け誘導起電力を発生する)をしてきたが、試作機を作成しこの案の妥当性を確認した<sup>5-1)</sup>。原理検証用モータは、図5-2に示す三相18スロットの集中巻き固定子と12極の突極を持つロータで構成され、ロータにはロータ励磁コイルE-coilと、これと位相が180°ずれた誘導コイルI-coilがロータ鉄心とは磁気的に分離されたロータ周に近い位置に設けられ、固定子の磁路が短絡する様なロータの位相ではI-coilにこの磁束変化に応じた電流が誘起される。これらはダイオードを介して図5-3の様に接続されているので、E-coilはインバータによって生じる三次高調波によって図5-4に示す様に励磁される。誘起される電流は固定子の励磁電流に依存するため、図5-5のように励磁電流の周波数すなわちモータの回転数に依存する。そのためモータの効率は力行時も回生時も図5-6のように低回転域で悪化する欠点があり、今後、制御方法の検討等で実用効率の改善を図りたいとしている。

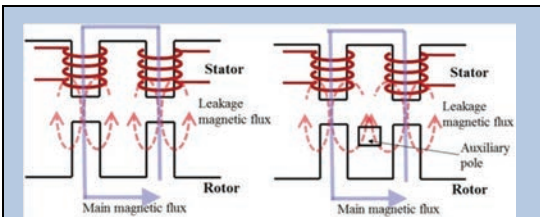
中島らは、円盤状のロータの両面を使用することによって、2倍の誘起電流を得ることで、この欠点を改善することを試みた<sup>5-2)</sup>。構造は図5-7に示すとおりで、先のものと同様、18スロットの集中巻き固定子と12極の突極をもつロータで構成される。

フルハイブリッド車は、大容量の高圧蓄電システム(Liイオン電池等)が必要でコストが課題であるが、60V以上のDC電力の使用にISO規格等で課せられている感電防止対策もコスト要因の一つになっている。この対策が不要なDC48Vシステム(過去の電装品の42V化に相当する表現では56Vに相当する)を採用したマイルドHEVが独自動車メーカーを中心に検討されているが、独AVLグループからこれに関する2件の発表があった。

Michael WeiBbackらは、CO<sub>2</sub>削減の効果が高いディーゼルエンジンをベースにして、48V電池システムを採用したHEVの構想と、この最適化を図るロードマップについて紹介した<sup>5-3)</sup>。Dセグメントのセダンを対象とすると、銅損の影響が少ない200A以下に納まる電力は48V系では12kW程度で、これはNEDCモードの回生電力の約8割に対応出来、無駄の少ないコスト対効果に優れた容量であるとしている。ハイブリッドの基本構成は図5-8に示すようにエンジンプーリにベルト掛けでモータジェネレータ(図ではSG, スタータジェネレータと表記)を設けた平行ハイブリッドで、将来的にはクラッチハウジング内や変速機内への組み込みなどを想定している(後述の各モードとの整合性には課題あり)。現在一般的なアイドルストップと減速時優先発電による高効率化車両をベースに、MGによるエンジン始動の速度と質の確保を図った上で、図5-9のように、加速初期のブースト、MGによる負荷準化、減速時の回生に加えて、惰行時時のエンジン切り離し、惰行終了時のエンジン再始動(走行中を含む)、ごく低速でのEV走行を実現している。走行中のエンジン停止があるので、図5-10に示す様に、走行に必要な要素の電動化も図っている。これに加えて電動スーパーチャージャの採用によってエンジン低回転域でのトルクを確保することで高効率化とfun to driveの両立を図っている(図5-11参照)。

このシステムによるNEDCモードでのCO<sub>2</sub>削減効果はシミュレーションから8~10%としている。さらにエンジンハードウェアの最適化、減速比の最適化その他によって改善率を約15%まで向上可能としている(図5-12参照)。

長距離走行用の大型トラックのハイブリッド化は大容量の高圧蓄電システムを要するためコ



(a) Benchmark model. (b) Proposed model. Figure 5-1 主磁路と漏れ磁路

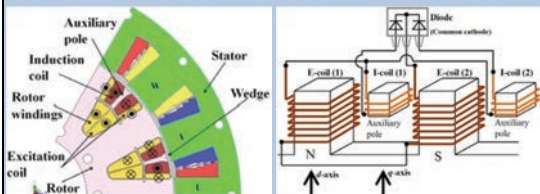


Figure 5-2 ロータと固定子の断面図(全体の1/6)

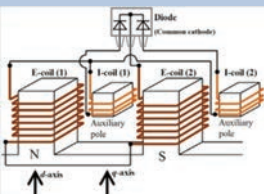
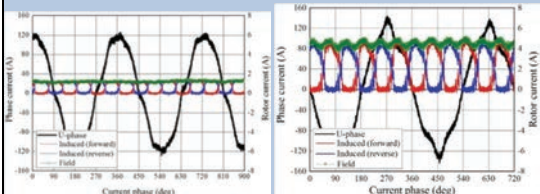


Figure 5-3 ロータ巻線線の接続方法(全波整流)



(a) 500 r/min under 414 A<sub>rms</sub> T, current phase 60 deg. (b) 2000 r/min under 414 A<sub>rms</sub> T, current phase 60 deg. Figure 5-4 固定子とロータの励磁電流波形

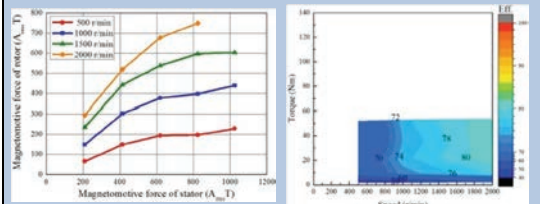
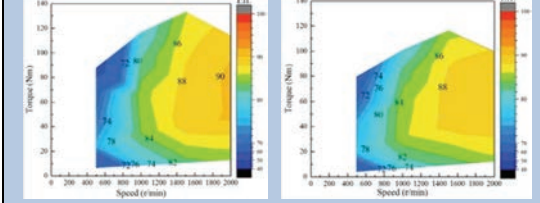
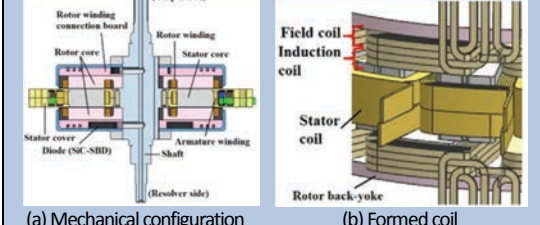


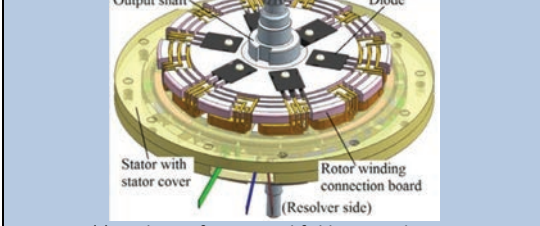
Figure 5-5 固定子とロータの起磁力の関係 (a) Reluctance motor (proposed motor with open rotor windings)



(b) Proposed motor in motoring (c) Proposed motor in regenerating Figure 5-6 モータの効率



(a) Mechanical configuration (b) Formed coil



(c) Diode-rectifying wound-field rotor and stator Figure 5-7 パンケーキ形モータの構造



スト上の難点がある。Gregor Wagnerらは、長距離走行大型トラック用に700Wh弱の小容量電池による同様構成のマイルドHEVを提案し、図5-13に示すCRUSEを含むシミュレーションモデルでACEA長距離走行サイクル(図5-14参照;±200m弱の高低差を連続高速走行するもの)走行時の評価を行い、このシステムの妥当性を確認した<sup>5-4)</sup>。構成は図5-15に示す様に48V系のMGをベルト掛けでエンジンに接続したものの(BMEP)で、主回路は図5-16に示すように48VのLiイオン電池からDC/DCで電装品用の24V電池に充電する型式である。発電の制御はエンジントルクの正負とLiイオン電池のSOCによって図5-17に示すアルゴリズムでSOCが30~80%の範囲に収まるように制御される。一般のHEVのように、MGによる積極的なエンジンアシストで効率改善を図るのではなく、電池SOCの余裕分を動力に変換するに留め、48V系での補機類の電動化による効率改善や、エンジン・駆動系の改善によって効率を改善している。通常の油圧パワーステアリングを修正して電動化したことで約0.8%、冷却の電動化で約0.5%、エアコンプレッサのスマート化で約0.4%改善している。改善のメインは駆動部で、最終段ギヤ比を下げて、使用時のエンジン回転を下げ、低燃費化を図っている。減速比変更によって急な出力上昇時の応答が悪化するため、図5-18に示す電動のスーパーチャージャで応答の改善を図っている。48V電源の使用分担は表5-1のとおりで、システム全体の効率改善度は約5%である。(清水)

EVへのワイヤレス給電に関しては二つのセッションとフォーラムで取り上げられ、大きく分けると安全性、走行中給電、規格化の発表が行われた。

EVへのワイヤレス給電中に送受電コイル間に存在する金属異物の発熱に対する異物検知システムについては今回も2編発表されたが、これまであまり論じられなかった電磁波による人体への安全性について、それも従来から行われているマウスを使つての動物レベルではなく、原点に立ち帰って細胞レベルでの影響度合いについて外村らが発表した<sup>5-5)</sup>。彼らが電力伝送に用いる5.8GHzのマイクロ波を走行中給電に適用しようとする必要パワーと人体防護のガイドライン値に大きな乖離がある。そこでガイドラインが人体への熱作用を基に時間的に任意の6分間における単位面積当たりの連続入力エネルギー量で定義されていることから、パルス入力の場合でもそのエネルギーが等しければ、温度上昇は等しいという仮定を立ててパルス幅と出力を決定、このパルス照射時に人体を検知したら6分間は自動復帰しないことを設計条件とした(図5-19)。このパルスをヒト角膜由来上皮細胞に曝露時間24時間で照射し、遺伝毒性評価(発がん性評価)で最も代表的な小核形成試験を6回実施した結果、曝露した細胞に小核が有意に発生しないことを確認している(図5-20)。

走行中給電に関しては前記を含め5編発表されたが、電車への走行中給電システムの開発と試験結果について柏木が発表した<sup>5-6)</sup>。EVへの走行中給電に比較して電車へのその特徴としては、レールがあることにより位置ズレについてはそれほどの制約はないが、レール間寸法により給電コイル寸法に制限があると共に漏れ磁束がレールに鎖交することによる損失も大きい。そこで8の字型のコイル構成(図5-21)とすることにより、コイル幅を大きくしても損失が少なく集電電力が増加することを見だし、10kHz以下の周波数で300kWの送電ができるシステムの設計を行っている。50kWシステムを製作し、2両編成の電車に搭載、構内試験線で10km/hの速度で送電試験を行い、38kWを72.5%の効率で送電できることを確認している(図5-22)。

標準化、規格化の現状について南方、佐々木から報告された<sup>5-7),5-8)</sup>。IEC61980-1の国際規格最終案(FSIS)への投票が2015年7月締め切りで進められ、電力伝送周波数はIECだけでなく、SAEや日本のBWFにおいて85kHz帯とすることが確認されつつあり、磁束形状については円形コイルからのものが提唱されている。ITU-Rに対して日本案が提案され、技術レポートが発行、2015年6月に周波数の勧告が出る予定である。

その他に従来とは異なった応用としてEV用インホイールモータにワイヤレスで電力伝送をする研究が郡司から報告された<sup>5-9)</sup>。車載モータ方式に比べ制御性や車両デザインの自由度の面で優れているインホイールモータであるが、車体とモータを繋ぐ電力線と信号線は外界に露出し、走行時に路面の凹凸により配線と接続部に繰り返し応力が加えられるため、信頼性・安全性の課題を抱える。そこで電力をワイヤレスで給電する方法を開発した。インホイールモータは定電力負荷であるため、バッテリーなどの定電圧負荷に比べ高度な制御が必要である。定電力負荷の安定性解析シミュレーションを行い負荷電圧が不安定になることから、負荷電圧制御

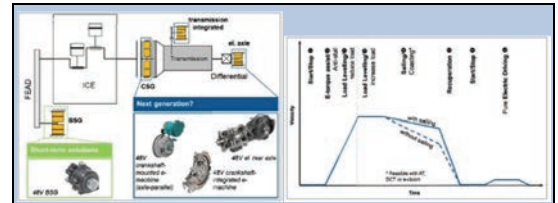


Figure 5-8 提案するHEVの構成

Figure 5-9 マイルドハイブリッドシステムの機能

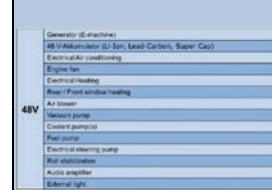


Figure 5-10 48V 負荷への変更候補

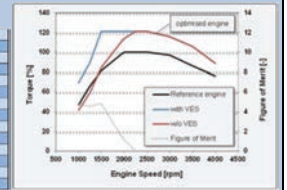


Figure 5-11 電動スーパーチャージャの有無と最大トルク特性



Figure 5-12 マイルドハイブリッドシステムの機能



Figure 5-13 使用したハイブリッドシステムのシミュレーションプラットフォーム

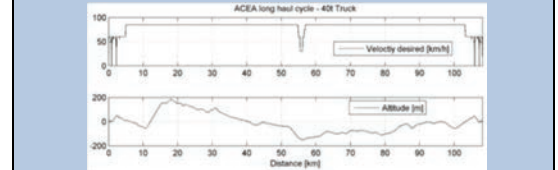


Figure 5-14 ACEA 長距離トラック用ドライビングサイクル

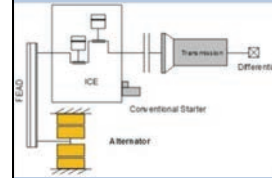


Figure 5-15 マイルドハイブリッドシステムの構成

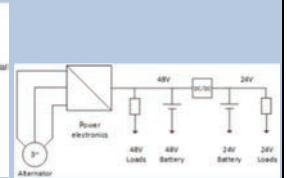


Figure 5-16 マイルドHEVの主回路の構成



Figure 5-17 エネルギー回収の制御方法

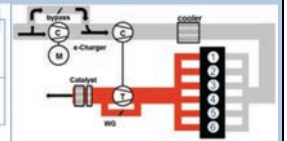


Figure 5-18 電動スーパーチャージャの挿入方法

Table 5-1 48V系負荷の大きささと消費電力

	DC/DC conv.	EHPS	ECP	E-charger	Sum
Installed electric power	3kW	2.8kW	3.5kW	11kW	ca. 20kW
Average consumed electric power	1.6kW	160W	300W	220W	ca. 2.3kW
Utilization	100%	100%	100%	2.3%	

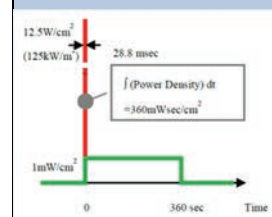


Figure 5-19 連続入力と同等のパルス入力熱効果

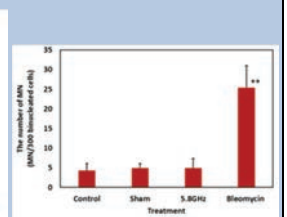


Figure 5-20 ヒト角膜由来上皮細胞内の小核形成数



が必要であり、それも通信の遅延や欠落による影響が発生しないように二次側コンバータ制御で完結させる手法を見いだした。また EV では制動時にモータで電力回生するため、双方向の電力伝送ができる回路構成と制御方法についても求められる。本報では一次側/二次側を対称とするため Series-Series 方式の磁界共振結合無線電力伝送とし、二次側の AC/DC 電力変換回路を制御可能なフルブリッジコンバータで構成した。また、論文発表当日の朝の NHK ニュースが取り上げたワイヤレスインホイールモータを搭載した1号車の映像をタイミング良く流し、良く理解することができた(図 5-23)。(高橋)

宇佐美らは「新型 FCV 用燃料電池スタックの開発」<sup>5-10)</sup>と題して講演を行った。高性能化のために、セル流路構造は金属プレートに微細な凹凸と切れ込みを設けた『3D ファインメッシュ』と呼ぶ構造とし(図 5-24)、空気をセル全面で一方向に流す溝の無い流路構造として、生成する水による酸素拡散の阻害と溝通路閉塞の問題の解決を図った。電解質膜厚さを従来比 1/3 としてプロトン導電性を 3 倍高め、触媒を Pt と Co の合金とし活性を従来の Pt 触媒比 1.8 倍に高め、さらに、ガス拡散層を低密度で薄くして拡散性を 2 倍高めた。これらにより、従来比 2.4 倍の高電流密度化ができ、3.1kW/L の世界トップレベルのスタック出力密度を得た(図 5-25)。加湿器の廃止のため、空気極上流の乾燥抑制、空気下流の水を反対側の水素極に移動させる逆拡散の促進(図 5-26)、水素極側の流れを空気極側上流へ水分を循環する対向流構成の採用、乾燥時にも性能を維持する電解質や触媒担体材料の改良により、低湿度時にもセル面内で均一な発電を実現し、世界で初めて加湿器を廃止した。

加藤らは「燃料電池電極触媒の劣化機構の液中電圧印加その場 TEM 観察(第1報)」<sup>5-11)</sup>と題して講演を行った。高倍率の透過電子顕微鏡を用いて燃料電池の白金触媒微粒子の劣化の状況(図 5-27)をリアルタイムで直接観察するため、透過電子顕微鏡ホルダに挿入するチップを密閉空間構造とし、その内部に電気化学試験が可能な電極を設け、電極周囲の密閉空間内の隙間に電解液が流れる構造とする(図 5-28)ことで、電子顕微鏡内の高真空下でも電解液の循環による模擬的な燃料電池の動作を実現する。市販の米国 Protochips 社のチップを用いて、二つの白金粒子が触媒担体カーボン上を移動して凝集一つの粒子となる様子(図 5-29)や、二つの白金粒子が白金の酸化過程で溶解し消滅する様子(図 5-30)が捉えられた。この市販チップでみられた電気化学的なノイズを低減させるとともに、観察する空間分解能をより高めて定量的な白金微粒子の挙動計測を可能とするため、電極の触媒塗布領域を増加して動作電流を増大させるとともに、チップの厚みを限界まで薄くして電解液や透過窓による電子線の散乱を極力抑制する改造を行った。その結果、液中で白金微粒子の結晶格子縞が観察できる分解能 0.2 ナノメートルを実現した(図 5-31)。

戸井田らは「新型 FCV の氷点下始動制御技術の開発」<sup>5-12)</sup>と題して講演を行った。氷点下始動するためには、始動時の空気極側触媒層の残存水(初期含水量  $W_{ini}$ )と酸素供給が阻害されるまでの生成水量との和で定義される水量(許容含水量  $W_{wsc}$ )、および、氷点下からスタック温度が上昇して 0°C 以上になるまでに生成する水量( $W_{gen}$ )とすると、 $W_{ini} + W_{gen} < W_{wsc}$  の関係が必要となる。 $W_{ini}$  と  $W_{gen}$  の低減を狙い、電極層の担体カーボンの構造を変更し、ガス拡散層の基材の薄層化と撥水層の透水性の低減による排水性向上により、酸素拡散性を従来の 2 倍に向上させた。また、 $W_{gen}$  の低減のため、熱容量の小さいチタン製のセパレータ採用、3D ファインメッシュによる薄層化、触媒層の改良によるセル面積の低減、締結構造の簡素化などで、スタック熱容量を従来の約 2/3 に低減した(図 5-32)。さらに、3D ファインメッシュ表面の親水処理、流路構造や触媒層およびガス拡散層の改良により、 $W_{wsc}$  が従来の約 2 倍に増加した(図 5-33)。これらにより、従来必要とされた停止時の含水量・排気制御による乾燥処理を廃止し、-30°C の氷点下環境下で実用レベルの車両性能が確保できた(図 5-34)。

日置らは「新型 FCV 用高圧水素タンクの開発」<sup>5-13)</sup>と題して講演を行った。高圧水素タンクの重量に対する水素貯蔵重量の割合(質量効率(%))の向上のため、円筒部を強化するフープ巻き、ドーム部を強化する低角度ヘリカル巻き、両者の境界部を強化する高角度ヘリカル巻きを組み合わせて積層している炭素繊維強化プラスチック層(図 5-35)を薄肉化した。フープ巻きは組み合わせ積層の内層側に集中させて削減した。高角度ヘリカル巻きの削減のため、境界部のプラスチックライナ形状を従来の連続的な形状から円筒部から不連続にドーム部曲線につなぐ従来にはない形状とし、フープ巻き部を強化部まで延長した。各フープの折り返し位置を徐変させることで等張力曲面を形成し、低角度ヘリカル巻きへの影響をなくした(図 5-36)。低

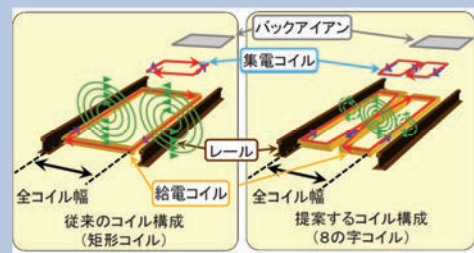


Figure 5-21 8の字型のコイル構成



Figure 5-22 構内試験線での試験状況



Figure 5-23 ワイヤレスインホイールモータ搭載 EV

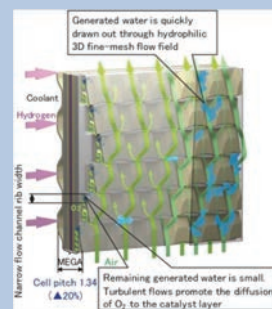


Figure 5-24 3D ファインメッシュ構造

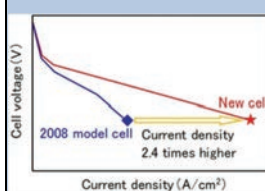


Figure 5-25 新型セルの電圧—電流特性

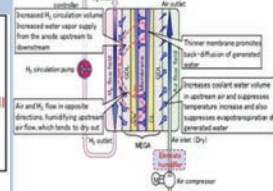


Figure 5-26 生成水の内部循環の仕組み

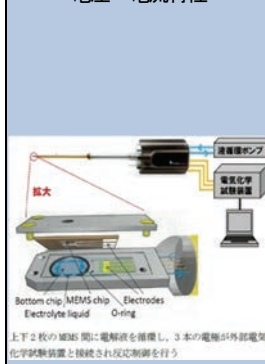


Figure 5-27 透過電子顕微鏡ホルダーと液循環システムの詳細

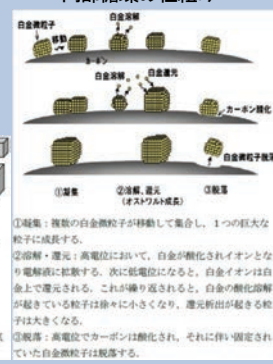


Figure 5-28 考えられる白金微粒子の主な耐久劣化モード



角度ヘリカル巻きの削減のため、バルブを附属する開口部を小径化しフランジ部を大径化して要求される面圧を低減した(図 5-37)。これらの結果、炭素繊維強化プラスチックの使用量を従来比約40%削減し(図 5-38)、世界トップレベルの質量効率率5.7wt%を実現した。また、国際技術規則 gtr13 の局所火災試験に適合するため、タンクのドーム部の落下衝撃プロテクタの周辺を膨張黒鉛で覆い(図 5-39)、耐落下性と耐火性能を両立した。(飯山)

### 【参考文献】

- 5-1) 鄧家寧, 青山真大, 田村卓也(スズキ(株)), 野口季彦(静岡大学): 空間高調波を利用した補極付ラジアルエアギャップ形磁石フリーモータの実機運転特性, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155162
- 5-2) 中島一清, 青山真大, 鄧家寧(スズキ(株)), 野口季彦(静岡大学): 両面空間高調波を利用したパンケーキエアキシャルエアギャップ形磁石フリーモータの提案, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155163
- 5-3) Michael Weißbäck, Bernhard Enzi (AVL List GmbH), Carsten Kaup (AVL Schrick GmbH): 48V Diesel Hybrid, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155263
- 5-4) Gregor Wagner, Helmut Kastler (AVL Commercial Driveline & Tractor Engineering GmbH), Gernot Hasenbichler, Arno Huss, Herwig Ofner, Heimo Schreier, HelmutTheissl (AVL List GmbH): Mild Hybrid Systems for Long Haul Truck Applications, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155261
- 5-5) 外村博史(ボルボテクノロジー・ジャパン), 宮越順二, 篠原真毅(京都大学): マイクロ波を用いる走行中ワイヤレス給電, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155157
- 5-6) 柏木隆行(鉄道総合技術研究所): 鉄道車両向け非接触給電の取組み, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会フォーラム, No.20154310
- 5-7) 南方真人(日本自動車研究所/トヨタ自動車): EV/PHEV 用ワイヤレス給電国際標準化の取組と動向, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会フォーラム, No.20154308
- 5-8) 佐々木邦彦(デンソー): ワイヤレス電力伝送の制度化, 標準化の取組み, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会フォーラム, No.20154309
- 5-9) 郡司大輔(日本精工/東京大学), 居村岳広, 藤本博志(東京大学): 無線電力伝送の回路解析とワイヤレスインホイールモータの制御への応用, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155160
- 5-10) 宇佐美祥, 濱田成孝, 塩澤方浩, 水野誠司: 新型 FCV 用燃料電池スタックの開発, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155165
- 5-11) 加藤久雄, 長島真也, 木下圭介, 吉田健太: 燃料電池電極触媒の劣化機構の液中電圧印加その場 TEM 観察(第 1 報), 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155166
- 5-12) 戸井田政史, 小川朋宏, 長沼良明, 野々部康宏: 新型 FCV の氷点下始動制御技術の開発, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155167
- 5-13) 日置健太郎, 近藤政彰, 山下顕, 大神敦幸: 新型 FCV 用高圧水素タンクの開発, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155171

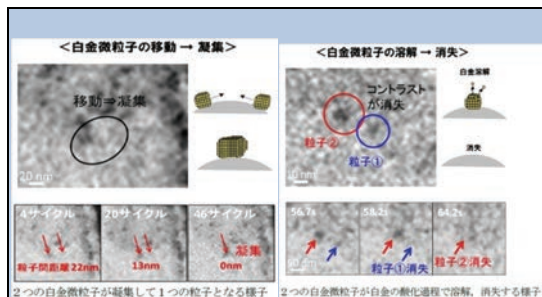


Figure 5-29 Protechips 社 MEMS による観察結果①

Figure 5-30 Protechips 社 MEMS による観察結果②

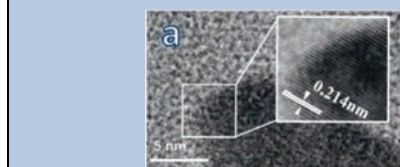


Figure 5-31 高分解 MEMS チップによる観察結果



Figure 5-32 新モデルと旧モデルのスタックの熱容量



Figure 5-33 新モデルと旧モデルのスタックの許容含水量

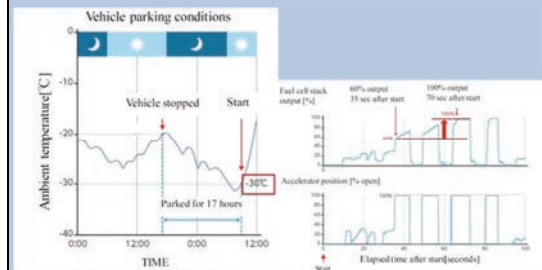


Figure 5-34 外気-30°Cでの低温始動性能

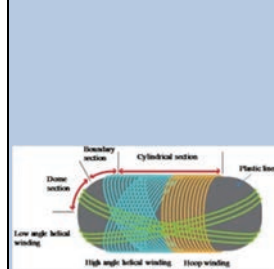


Figure 5-35 Filament winding 法の巻きつけパターン

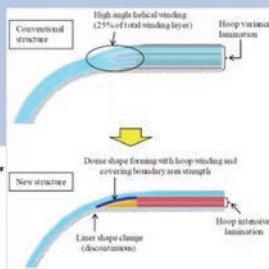


Figure 5-36 境界部の新型構造

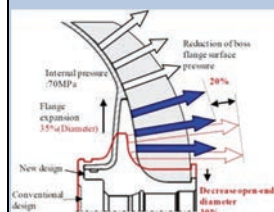


Figure 5-37 フランジ部に加わる面圧力の低減

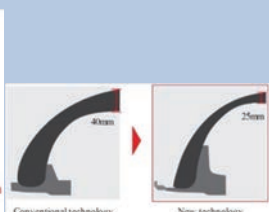


Figure 5-38 炭素繊維強化プラスチック使用量の低減結果

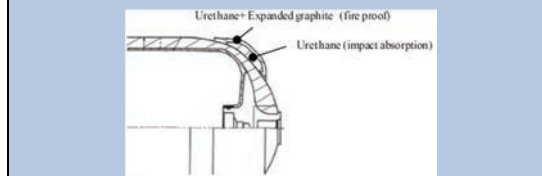


Figure 5-39 耐火性プロテクタ

## 6 潤滑油、潤滑技術およびパワートレイントライボロジー

このセッションは、燃料潤滑油部門委員会により企画されたオーガナイズドセッションである。潤滑油、潤滑技術のほか今回はトライボロジーの分野からも発表を募った。前半のセッションでは潤滑油や潤滑技術について海外からの参加2件を含む3件が、後半のセッションでは、現在、エンジンの摺動部で重要な課題となっている軸受摩擦、オイル消費、ピストン摩擦低減等について5件の発表があった。

エンジンが年々高出力化し、ピストンのクーリングジェットを採用する機種も増えている今日、潤滑油の酸化安定性向上は重要な課題である。これに関しドイツのWalterら<sup>6-1)</sup>より、燃料に添加された酸化防止剤(Antioxidant 以後 AO)が潤滑油の熱安定性に及ぼす影響について紹介があった。ガソリンエンジンでは燃料が潤滑油に混入することが多いが、このことを利用し、燃料中に添加されたAOを潤滑油に混入させ、その熱安定性を向上させる技術である。表6-1はその効果を示す。実機試験により、燃料中に添加されたAOは潤滑油の熱安定性の指標OTを向上させていることが分かる。表6-2により、添加したAOがデポジットの生成を防ぐ添加剤DCAの作用(IVD)を妨げないことも示されている。

近年のエンジンは燃費向上のため、高出力化、低回転化の傾向にある。さらにアイドリングストップが多くの機種で取り入れられている。これによりエンジンの主軸受は油膜が薄い状態で使われる頻度が高くなるため、軸受の摩擦は大きな課題である。貞富ら<sup>6-2)</sup>は実験により求めた主軸受の油膜厚さと、それに影響を及ぼす可能性のある因子との関係を多変量解析により求め、実験結果に基づく油膜厚さ予測手法を紹介した。軸受の油膜厚さは図6-1に示すように、軸受側に取り付けられたギャップセンサにより測定されている。ギャップセンサの出力は温度の影響を強く受けるため、通常ゼロ点の特定が難しいが、事前の温度検定により良い精度で測定が行われている。この測定結果と、エンジン回転数、エンジントルク、燃料噴射時期、燃料噴射量、油温、軸受背面温度など油膜厚さに影響を及ぼす可能性のある因子との関係を多変量解析で求めている。これにより、良い精度で油膜厚さの予測が可能なのが図6-2に示されている。油膜の計算はいまだあたるも八卦、あたらずも八卦、といった感があるため、現時点では、実用的にはこのような手法の活用も有用であると思われる。なお、この手法で因子を設定する際に、油膜計算に使われるパラメータを意識すればさらに汎用性が向上するのではなかろうか。

エンジンのオイル消費は摩擦と並び永遠の課題である一方、ブレイグニション防止の観点からは喫緊の課題でもある。林ら<sup>6-3)</sup>はシリンダ部を可視化した単気筒エンジンにより、オイルリング周りの油上がりを観察し、その低減手法を提案した。オイルリングに限らずピストンリングの張力を上げれば定性的にオイル消費は減少する。しかし張力を上げれば摩擦損失が増加し、燃費を悪化させる。そのため低張力下におけるオイル消費低減策が希求されている。図6-3に撮影されたオイルリング周りの油膜の様子が示されている。図はオイルリングの上のサイドランドに大量のオイルが存在していることを示している。このことから、オイルリングの油掻き作用をさらに向上させる必要があることが分かる。そのため図6-4に示すような、油掻き作用を向上させるような摺動面形状を有するオイルリングが提案されている。これによるオイル消費低減効果が図6-5に示されている。張力を上げることなく、大幅なオイル消費低減に成功していることが分かる。この研究ではオイルリングの摺動面のほか側面を通過するオイルの流れについても言及されているが、これについては今後の研究に期待したい。

燃費低減はディーゼルエンジンにおいても重要な課題である。ここでガソリンエンジンでは多く採用されているクランクシャフトオフセットは、商用ディーゼルエンジンではほとんど採用されていない。この理由がうかがわれる結果が中鉢ら<sup>6-4)</sup>より紹介された。クランクシャフトをスラスト側にオフセットすれば、幾何学的な条件から等容度が向上するため燃焼の改善が期待されることはよく知られるとおりである。しかしこの効果は低回転時には期待できないことが図6-6のオフセット時の図示平均有効圧により示されている。一方でスラスト側オフセットでは、筒内圧がピストンを押す力を図6-7に示すFすなわちクランクを回す力に変換する際の効率が悪くなり軸受方向の力Frが増加することが予測される。図6-8にFr計算結果を示す。スラスト側へのオフセットではこの荷重は増加し、一方、反スラスト側へのオフセットでこれが減少していることが分かる。これらのことより、高回転を多用するエンジンではスラスト側オフセットが、低回転を多用するエンジンでは逆に反スラスト側にオフセットさせるほうが燃費に優れる場合もあることが図6-9により示されている。(伊東)

Table 6-1 酸化防止剤が潤滑油の熱安定性に及ぼす影響

Engine	Oil grade	Additive dosage DCA/AO (mg/kg)	OT (°C)
MB M102E	10W-40	0.0	235.7
MB M102E	10W-40	360.0	212
MB M102E	10W-40	360.100	221
MB M111	10W-40	0.0	235.7
MB M111	10W-40	360.0	211
MB M111	10W-40	360.100	222
MB M102E	5W-30	0.0	240.7
MB M102E	5W-30	360.0	219
MB M102E	5W-30	360.100	226

Table 6-2 酸化防止剤がIVD(Intake Valve Deposits)に及ぼす影響

Engine	Oil grade	Additive dosage DCA/AO (mg/kg)	IVD (mg/Valve)
MB M102E	10W-40	0.0	155
MB M102E	10W-40	360.0	2
MB M102E	10W-40	360.100	8
MB M111	10W-40	0.0	140
MB M111	10W-40	360.0	49
MB M111	10W-40	360.100	21
MB M102E	5W-30	0.0	not available
MB M102E	5W-30	360.0	14
MB M102E	5W-30	360.100	7

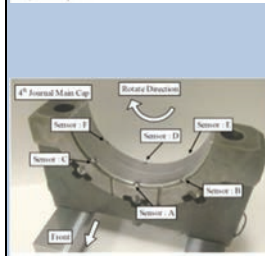


Figure 6-1 オイル油膜厚さの計測デバイス写真

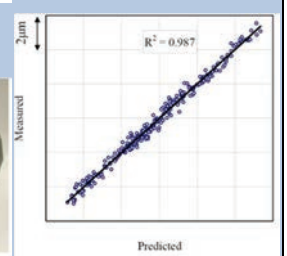


Figure 6-2 オイル油膜厚さの予測値と実測値の比較

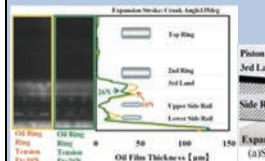


Figure 6-3 オイル油膜厚さへのオイルリング張力の影響

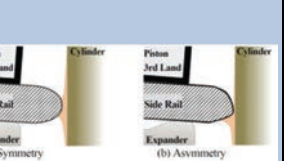


Figure 6-4 提案されるサイドレール外周の形状

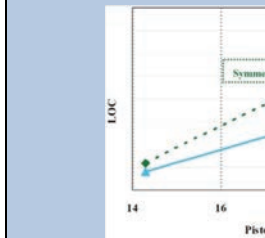


Figure 6-5 サイドレール外周の形状改善によるオイル消費量の低減効果

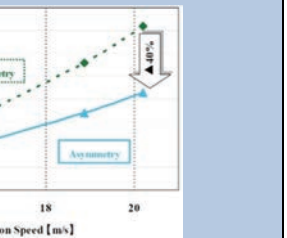


Figure 6-6 クランクシャフトオフセットのIMEPへの回転数別の影響

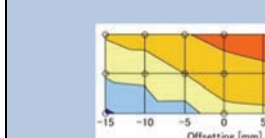


Figure 6-7 筒内圧がピストンを押す力のクランクを回す力への変換図

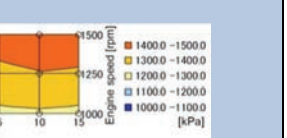


Figure 6-8 Frの計算結果



【参考文献】

- 6-1) Dr. Marc Walter, Dr. Wolfgang Grabarse, Yusuke Murai, Gabriel Ho: Thermostability Improvement of Lubricants in Spark-Ignition Engines through Accumulation of Fuel-Borne Additives, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155318
- 6-2) 貞富雅詞, 伊藤広明: 多気筒ディーゼルエンジン主軸受の信頼性評価に関する研究, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155319
- 6-3) 林昌樹, 大黒隆, 酒井俊行, 小澤喬, 川合清行, 山本匡吾: ピストンリング回りにおけるオイル消費メカニズムの解析, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155321
- 6-4) 中鉢祐介, 伊東明美, 中村正明, 下川清広: ディーゼルエンジンにおけるクランクシャフトオフセットの燃費向上効果に関する研究, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20155322

7 エミッション計測関係

今回の講演会では、実使用に即した計測が目立った。そのうち、「新しい計測診断技術」および「自動車の大気環境影響と対策技術」のセッションから車載による排ガス計測に関する発表 2 件、「新しい計測診断技術」セッションから部品評価のための振動試験に関する発表 1 件について紹介する。

交通安全環境研究所の山本ら<sup>7-1)</sup>は、デジタル式運行記録計(デジタコ)と排気管挿入型 NO<sub>x</sub> センサを組み合わせた計測器(SEMS)を用いて、ディーゼル重量貨物車の NO<sub>x</sub> 排出量の評価を試みた。まず、SEMS に搭載している NO<sub>x</sub> センサの O<sub>2</sub> 濃度出力より排ガス中の CO<sub>2</sub> 濃度が推定できること(図 7-1)、および、NO<sub>x</sub> センサの O<sub>2</sub> 濃度出力は車載型排ガス計測器(PEMS)で得られる CO<sub>2</sub> 濃度測定値と相関があることを示した(図 7-2)。次に、SEMS および PEMS を用いて、欧州で提案されている重量車の実路走行排ガス評価法「Moving Average Window 法」により、CO<sub>2</sub> 排出量 1 kg あたりの NO<sub>x</sub> 排出量「NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>(g/kg)」とエンジン仕事あたりの NO<sub>x</sub> 排出量「NO<sub>x</sub>(g/kWh)」との比較を行った。試験室内でのサイクル試験、および路上走行試験の結果より、「NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>(g/kg)」と「NO<sub>x</sub>(g/kWh)」とは強い相関関係があることを示した(図 7-3)。これより、「NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>(g/kg)」は、路上走行時における NO<sub>x</sub> 排出量の評価に有効な指標となりうる、と報告している。

EU における小型車の型式認証では、実路走行による排ガス試験の導入が予定されている。堀場製作所の青木ら<sup>7-2)</sup>は、この新しい要求を満たした車載型排ガス計測システム(PEMS)を開発し、実路試験時の CO<sub>2</sub>・CO・NO<sub>x</sub> 排出質量として、CVS 法基準で±10%以内の値が得られたと報告している(表 7-1)。また、リアルタイムの排ガス濃度値を定置型ダイレクト分析計のものと比較し、よい相関が得られていることを示した(図 7-4)。加えて、NO と NO<sub>2</sub> の同時計測により、実路走行中、テールパイプ温度の上昇にともない、NO<sub>x</sub> に占める NO<sub>2</sub> 比率が変化することが観察できたとしている(図 7-5、図 7-6)。EU では、従来の NO<sub>x</sub> に加えて NO<sub>2</sub> 単体の排出量も規制対象とする動きがあり、NO<sub>2</sub> の挙動解析の可能性を示している点が興味深い。

最後に、「新しい計測診断技術」のセッションでの 3 軸同時振動試験機の技術の発表を紹介する。3 軸同時振動試験機の技術は、自動車に搭載している製品や部品の剛性・耐久性をより実使用条件に近い条件で評価するために重要である。米国の MIL 規格には 3 軸同時振動試験が導入されており、米国以外の自動車メーカーもこの規格を取り入れようとしている。

国際計測機器の深田<sup>7-3)</sup>は、MIL 規格にて規定されている、貨物車による米国フリーウェイでの 3 軸ランダムプロファイルを 3 軸同時振動試験装置にて加振させ、実波形 PSD ランダム振動データを示している。各軸の実行加速度のトレランスは全て±3dB 以内に収まり、良好な振動特性を得られたと報告している(図 7-7)。この技術により実路走行時の振動が再現可能になれば、耐久試験時間の短縮や製品品質の向上に貢献することが期待できる。(西村)

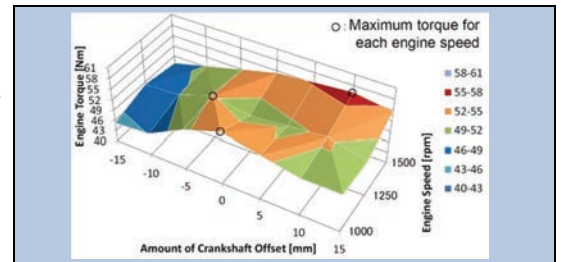


Figure 6-9 クランクシャフトオフセットと回転数別によるエンジントルクの実験値

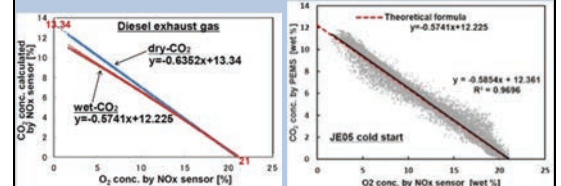
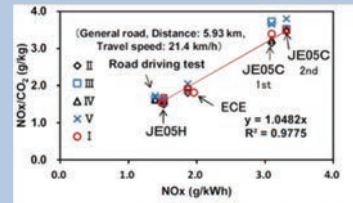


Figure 7-1 NO<sub>x</sub> センサの O<sub>2</sub> 濃度出力を用いた CO<sub>2</sub> 濃度の算出

Figure 7-2 NO<sub>x</sub> センサの O<sub>2</sub> 濃度出力と PEMS による CO<sub>2</sub> 濃度の関係



Acquirement methods of NO <sub>x</sub> conc., CO <sub>2</sub> conc. and exhaust gas flow	
I	Bag analysis by CVS-method using stationary exhaust gas analyzer
II	NO <sub>x</sub> sensor + Intake air flow (CAN), NO <sub>x</sub> sensor A/F
III	NO <sub>x</sub> sensor + Pitot-tube exhaust gas flow
IV	PEMS + Intake air flow (CAN), NO <sub>x</sub> sensor A/F
V	PEMS + Pitot-tube exhaust gas flow

Figure 7-3 サイクル試験、路上走行試験における NO<sub>x</sub>(g/kWh)と NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>(g/kg)の相関関係

Table 7-1 CVS 法を基準とした PEMS の排出質量

Test cycle	CO <sub>2</sub> error		CO error		NO <sub>x</sub> error	
	(%)	[g/km]	(%)	[mg/km]	(%)	[mg/km]
WLTC	3.4	4.23	-7.6	-7	-19.4	-6
NEDC	0.8	1.02	3.9	6	-16.7	-2
Criteria (WLTC)	Within 10% or 5 g/km whichever is larger		Within 150 mg/km		Within 15 mg/km	

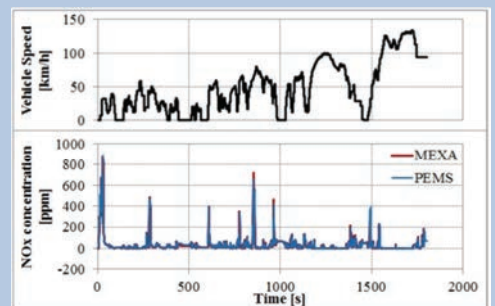


Figure 7-4 WLTC モードでのリアルタイム NO<sub>x</sub> 濃度

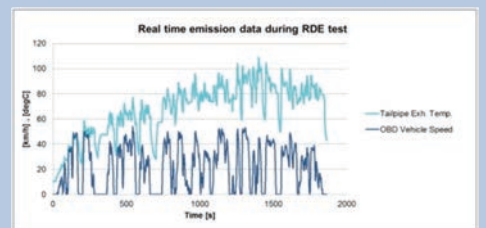


Figure 7-5 市街地走行での排出ガス温度

## 【参考文献】

- 7-1) 山本敏朗, 堤玲子, 水嶋教文, 渡辺敬太郎: NO<sub>x</sub> センサベースの車載計測機による路上走行時における重量貨物車の NO<sub>x</sub> 排出量評価, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155231
- 7-2) 青木伸太郎, 深見瞬, 武田賢二, 宮井優: PEMS (Portable Emissions Measurement System) を用いた走行条件下での NO<sub>x</sub> 排出量の挙動調査, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155252
- 7-3) 深田 修: 自動車部品の為の 3 軸同時振動試験の技術, 自動車技術会 2015 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20155230

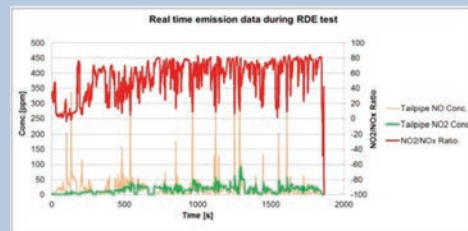


Figure 7-6 市街地走行での NO, NO<sub>2</sub> 排出



Figure 7-7 米国フリーウェイでの 3 軸ランダムプロファイルによる実波形 PSD ランダム振動データ