

# ENGINE REVIEW

*SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 8 No. 3 2018*

JSAE エンジンレビュー

Report : 自動車技術会2017年春季大会



公益社団法人 **自動車技術会**

- コラム：教えることと学ぶこと 1  
大西浩二(日立オートモティブシステムズ)  
Koji ONISHI (Hitachi Automotive Systems)
- Report：自動車技術会 2017 年春季大会 2  
Report of JSAE Annual Congress, Spring  
小酒 英範，清水 健一，下田 正敏，野口 勝三，(編集委員)  
伊東 明美(東京都市大学)，河原 伸幸(岡山大学)，窪山 達也(千葉大学)  
小橋 好充(北海道大学)，佐々木 基(産業技術総合研究所)，鈴木 央一(交通安全環境研究所) 高橋 俊輔(早稲田大学)，増田 糧(豊田中央研究所)

■ 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(三菱重工エンジン&ターボチャージャ)  
大西 浩二(日立オートモティブシステムズ)  
金子 タカシ(JXTG 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)  
清水 健一(元・産業技術総合研究所)  
下田 正敏(元・日野自動車)  
西川 雅浩(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)  
細谷 満(日野自動車)  
奥井 伸宜(自動車技術総合機構)  
山崎 敏司(編集)

発行所：公益社団法人 自動車技術会  
発行日：2018 年 5 月 10 日  
発行人：石山 拓二(京都大学)  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2  
電話：03-3262-8211

ENGINE REVIEW  
SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN  
Vol. 8 No. 3 2018

## ● コラム

## 教えることと学ぶこと

*To teach is to learn twice*

大西浩二

Koji ONISHI

日立オートモティブシステムズ

Hitachi Automotive Systems

西洋のことわざに「教えることは二度学ぶことである」というのがあるらしい。

英語だと、表題にあげた文章になる。

シンプルに解釈すると、人に何かを教えるときは、自分が知っていることでもいくら準備をするものだから、結果としてもう一度勉強することになる、という意味だろう。それだけではなく、人に説明して正しく理解してもらうためには、自分自身がその内容を本当に理解していなくてはならない。予期しない質問を受けてすぐに答えられないときなど、相手とのやり取りの中で、自分の理解度を客観的な視点で確認することができる。

一方教わる側は、素直に耳を傾ける態度はもちろん大事だが、教えてもらったことをそのまま全部鵜呑みにするのは危険かもしれない。こちらからの質問に答えてくれず、いいからだまって聞いている、などと言われたら少し疑った方がよさそうだ。

私も教える立場と教わる立場の両方をずいぶん経験してきた。学校に通っているときや、社会人になった当初は教わる立場に立つことが多かったが、経験を積むにつれてしだいに人に教える機会が増えてくる。生半可な知識でずっと正しいと信じて教えてきたことが実はとんでもない間違いだったと気づいたときなどは、恥ずかしさと一緒に、これまで嘘を伝えてきた人全員のところに行って謝りたいという気持ちになったりする。考えるだけで実行はしないけれど。

教える側はできるだけ謙虚にオープンな姿勢で教えること、また教わる側もただ聞くだけでなく能動的に議論することで、教える、教わるという行為を、より価値のある経験に転換することができるのだろう。

# 自動車技術会 2017 年春季大会

JSAE Annual Congress -spring

主催：公益社団法人 自動車技術会  
会期：2017 年 5 月 24 日（水）～ 5 月 26 日（金）  
会場：パシフィコ横浜・会議センター

Report：小酒 英範，清水 健一，下田 正敏，野口 勝三，（編集委員）

伊東 明美（東京都市大学），河原 伸幸（岡山大学），窪山 達也（千葉大学），小橋 好充（北海道大学），佐々木 基（産業技術総合研究所），鈴木 央一（交通安全環境研究所），高橋 俊輔（早稲田大学），増田 糧（豊田中央研究所）

Hidenori KOSAKA, Ken-ichi SHIMIZU, Masatoshi SHIMODA, Katsumi NOGUCHI, (JSAE ER Editorial Committee)

Akemi ITO (Tokyo City University), Nobuyuki KAWAHARA (Okayama University), Tatsuya KUBOYAMA (Chiba University), Yoshimitsu KOHASHI (Hokkaido University), Motoi SASAKI (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Hisakazu SUZUKI (National Traffic Safety and Environment Laboratory), Takahashi Shunsuke (WASEDA University), Masuda Ryo (Toyota Central R&D Labs)

## 1 先進のディーゼル燃焼・計測・解析技術 I

豊田中研，稲垣らは「GTL エマルジョン燃料を用いた革新的燃焼コンセプトの提案（第1報）-スモークレス拡散燃焼による大幅なエミッション低減-」<sup>1）</sup>と題して講演を行った。GTL 燃料は硫黄分や芳香族分をほとんど含まないため，通常の軽油よりもスートが大幅に低減できる長所と，着火性がよいため従来の適合ではパイロット噴射の過剰な熱発生やメイン噴射の過早着火でのスートの増加の可能性がある。一方，NOx の大幅低減を図る燃料のエマルジョン化という方法があるが水率を上げると着火性が悪くなり失火，未燃 HC の増加を招く。この両者を組み合わせて，軽油並みの適度な着火性になる水率を持つ GTL エマルジョン燃料を用いればディーゼル燃焼が大きく改善する可能性がありそれに取り組んだ研究である。

表 1-1 に GTL 燃料性状を通常の軽油と比較する。パラフィン系 HC が主体の GTL は通常軽油に比較してセタン価が高い。次に界面活性剤を 3wt%混せてエマルジョン燃料を制作し，水率を変更させたときのセタン価を測定した結果を図 1-1 に示す。水率が増加するにつれて，GTL エマルジョン燃料のセタン化が低下し，水率 30wt%にて軽油と同等になる。

エンジン実験は最新のコモンレール式噴射システムを搭載した表 1-2 に示す単筒エンジンを用いて燃料を評価した。表 1-1 に示すように，GTL エマルジョン燃料では質量あたりの発熱量は低下する。したがってエンジン性能を軽油と比較するとき，等負荷条件では噴射期間が長くなるため，等入燃料の単位時間当たりの発熱量が同等になるように GTL エマルジョン燃料に対しては噴口径を大きくし

Table 1-1 Test fuel properties

	Diesel fuel (neat)	GTL (neat)	GTL emulsion
Water content	0 wt%	0 wt%	23.5 wt%
Density (@15deg.C)	0.830 g/cm <sup>3</sup>	0.784 g/cm <sup>3</sup>	0.848 g/cm <sup>3</sup>
Viscosity (@30deg.C)	3.16 mm <sup>2</sup> /s	4.35 mm <sup>2</sup> /s	10.4 mm <sup>2</sup> /s
H/C ratio	1.97	2.12	-
Cetane number	52	77.3	56
Heating value	43.0 MJ/kg	43.5 MJ/kg	33.3 MJ/kg
Aromatics content	18.2 vol%	0.8 vol%	0.6 vol%

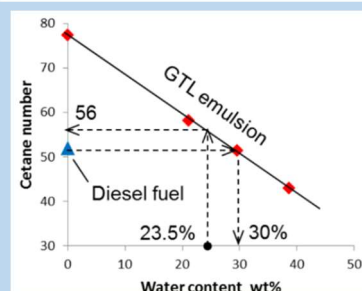


Figure 1-1 Cetane number of GTL emulsion versus water content

Table 1-2 Engine specifications

Engine type	Single cylinder
Displacement	0.557L
Bore×stroke	86mm×96mm
Compression ratio	15.8
Nozzle diameter×number	φ0.098×9 for diesel fuel φ0.117×9 GTL emulsion
Piston cavity shape	Reentrant type
Swirl ratio	2.2

たノズルを用いた。評価したエンジン運転点、及びその条件を表 1-3、図 1-2 に示す。

No. 2 の運転点 (IMEP 0.45MPa, 1400rpm) における、軽油と GTL エマルジョン燃料の排ガス性能を図 1-3 に示す。軽油では NOx を EGR 率によって変化させ、GTL エマルジョン燃料では EGR 率を 0% に固定して比較した。EGR 率 0% 同士で比較すると、NOx は水の蒸発潜熱による火炎冷却で 4 割程度まで低下する。等 NOx の点で比較すると、GTL エマルジョンは EGR を用いてないので、THC は半減、Smoke はほとんど排出されていない。図 1-4 に No. 4 (IMEP 2.0MPa, 2400rpm) での NOx-Smoke トレードオフと図示熱効率を示す。RDE を想定した高負荷でも GTL エマルジョン燃料では NOx-Smoke のトレードオフが改善し、等スモークにて NOx は 1/2 から 1/3 程度まで減少する。また図示熱効率は 3 ポイント増加した。熱効率向上は図 1-5 に示すように GTL エマルジョン燃料は燃焼期間が短くなり、等容量が増加したことが一因であるが、それ以外にも空気エントレイン量の増加、水分蒸発希釈化、蒸発促進による局所立地の低減など複合的な要因が考えられ、今後更なる考察が必要である。

定容燃焼器による噴霧火炎の観察を実施し、各燃料のシャドウグラフ像を図 1-6 に、空間で平均した輝炎強度 (相対値) の時間履歴を図 1-7 に示す。GTL 燃料 (neat) では軽油エマルジョン燃料よりも輝炎が少なくなり、GTL エマルジョン燃料では輝炎が全く観察されず、スートの酸化促進というよりスート自体が生成されていないと思われる。スートレスの要因としてはエマルジョンによるエントレイン増加に起因する混合気形成促進の物理的要因と、アロマ成分のない GTL が持つ化学的な要因の相互作用が考えられる。このようにエマルジョンと GTL の組み合わせにより、エマルジョンの課題である低負荷での着火安定性、冷間エミッションを解決し、かつ熱効率、NOx-スート特性、全負荷トルク特性を改善できる有用な燃焼を実現できることが分かったと結論つけている。

本コンセプトは、非常に面白い、魅力的なコンセプトであるが、実用化を考えた場合、GTL 燃料と、エマルジョン燃料という二重の高い障壁がある。これを克服するためには、自動車メーカーサイド、燃料メーカーサイド、使用者サイドの三者の覚悟と協力が必要であると思われる。

自動車メーカーサイドとしては、昨今の厳しい排出ガス規制、燃費規制、RDE 規制でディーゼルエンジンの商品価値が大きく変化する兆しがあり、コストを大幅に低減できるコンセプトを模索している。燃料メーカーサイドとしては、従来ならば新しい GTL 燃料は既存のインフラ設備を変更するため多額な投資が必要で、いくらい燃料があっても、従来のビジネスモデルを変更したくない、というのがこれまでのスタンスだった。しかし、昨今の厳しい排出ガス規制、燃費規制、それに伴う電動化の影響で、内燃機関の存続が危機に瀕しており、燃料メーカーも運命共同体であり共倒れになるという危機感があり、環境負荷の少ないベスト燃料とは何かを再考する時期が来ている。一方、使用者サイドとしてはエマルジョン燃料の品質維持、寒冷地での凍結、始動、エンジンのメンテナンス等の煩わしさが、これを補えるほどのメリットをどのように見出せるか、それはどのよ

Table 1-3 Tested engine operating

No.	1	2	3	4	5
Engine speed [rpm]	770	1600	2400	2400	2000
Target IMEP [MPa]	0.06	0.45	1.4	2.0	2.4
Inj. pressure [MPa]	40	130	130	180	180
Boost pressure (gauge)[kPa]	-3	0	100	133	100 to 130

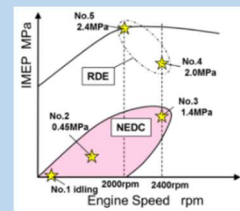


Figure 1-2 Tested engine operating points

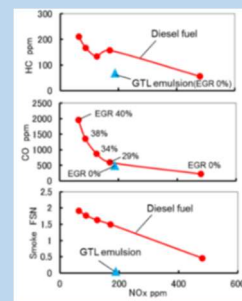


Figure 1-3 Tested engine operating points

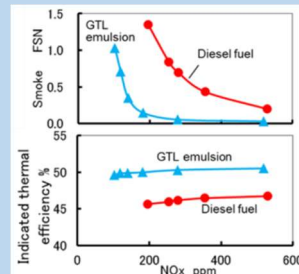


Figure 1-4 Comparison of NOx-smoke trade-off (upper) and indicated thermal efficiency versus NOx (lower) between diesel and GTL emulsion fuels at operating point No. 4 (IMEP 2.0MPa, 2400rpm)

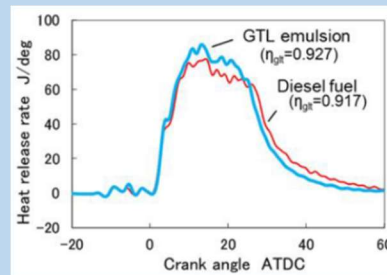


Figure 1-5 Heat release rates of diesel fuel and GTL emulsion at operating point No. 4 (EGR rate 0%)

うな環境なのかが問われている。もしくは、このような煩わしさを乗り越えられるロバスト性の高い提案を自動車メーカー、燃料メーカーサイドから出せるかが問われていると考えるべきであろう。本コンセプトの実現のためには、使用者サイドまで踏み込んだ研究が必須であり、今後の展開として期待したい。

燃料を切り口にした研究は、米国においても DOE 主催で Co-Optimization of Fuel and Engines として大規模な研究が立ち上がっており、日本においても自動車と燃料メーカーの双方が協力し、環境負荷の少ないベスト燃料とは何かを再考する時期が来ており、今後多くのコンセプトが提案され、実用化のための研究が展開されることを期待したい。(下田)

オーガナイズドセッション「先進のディーゼル燃焼・計測・解析技術Ⅲ」では、ディーゼル機関の冷却損失に関連する六つの発表があった。このうち、山下<sup>1-2)</sup>らは、同研究グループが開発し、実機への適用を進めてきた壁温スウィング遮熱法をディーゼル機関に適用し、実機試験と1次元シミュレータにより、運転条件が遮熱効果に与える影響を調査した結果と、遮熱膜の最適化などに関する報告がなされた。また、感熱燐光体を用いたレーザー誘起燐光法によるピストン頂部表面温度の計測結果についても報告された。機関回転数を増加させると、吸気加熱が発生しやすくなり、1次元シミュレータを用いた解析では、機関回転数4000rpmまで高めた場合には膜厚を70 $\mu$ mまで薄くすることにより、吸気過熱を抑え燃費向上が期待できることなどを示した(図1-8)。

同志社大学の研究グループからはディーゼル燃焼の壁面熱流束の計測を定容容器や急速圧縮膨張装置を用いて計測した結果について報告された。<sup>1-3, 1-4, 1-5)</sup> 壁面衝突距離、衝突角度、燃料温度など多くのパラメータを系統的に変化させ壁面熱流束、火炎温度等を計測し、最終的には噴射圧力、噴口径、主噴射量、ノズル-壁面間距離で表現される実験式を求めている。得られた計測データは貴重であるが、実験式の物理的な根拠が不明であり、計測データの整理についてはより深い議論が必要と思われる。

オーガナイズドセッション「排気触媒システムⅢ(酸化触媒)」では、ディーゼル排気後処理装置の酸化触媒に関する四つの報告があった。このうち、滋野ら<sup>1-6)</sup>と小淵ら<sup>1-7)</sup>からは、これまで同研究グループが開発してきた酸化触媒(Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の数値解析コードについて、炭化水素の吸着による活性サイトの不活性化を表現する改良とその検証に関する報告<sup>1-6)</sup>および、多成分炭化水素の酸化反応の総括反応速度式の提案<sup>1-7)</sup>がなされた。高級炭化水素を熱分解せずに反応管に供給できる希釈反応システムを製作し、炭化水素の反応速度定数等を定めている。単成分の炭化水素について、吸着による活性サイトの不活性化(阻害吸着)を考慮する項を付加したモデルにより酸化触媒内部の数値解析を実施し、計測結果と良い一致を得ている(図1-9)。同モデルを用いた数値解析から、炭素数の増加にともない酸化速度が増加し阻害吸着速度が小さくなること、活性サイト被覆による酸化速度低下は炭素数増加に伴い大きくなることなどを明らかにしている。<sup>1-6)</sup> さらに、軽

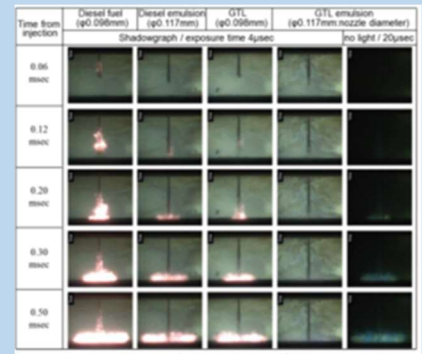


Figure 1-6 Comparison of shadowgraphs of combustions spray between tested fuels in constant volume chamber (The images in the rightmost column were taken with a 5-times longer exposure time without illumination)

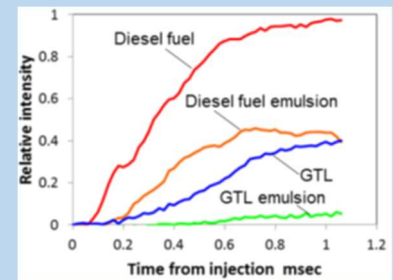


Figure 1-7 Comparison of averaged luminosity of combustions sprays between tested fuels in constant volume chamber

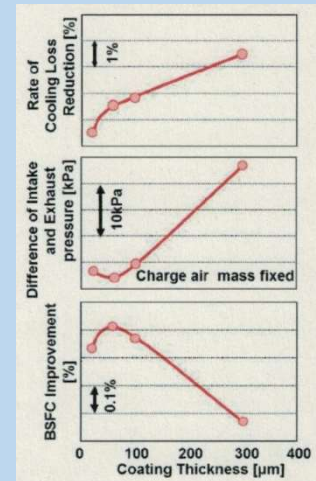


Figure 1-8 遮熱膜厚さが冷却損失, 排気温度, 燃料消費率に与える影響

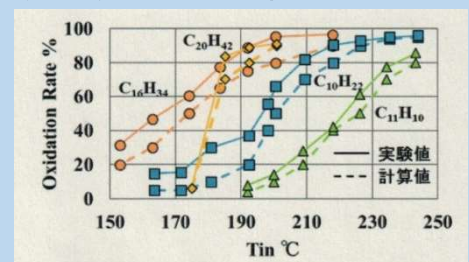


Figure 1-9 触媒入り口温度が酸化速度に与える影響の実験値と計算値の比較

油のサロゲート燃料の総括反応速度式とその反応速度定数を、前述の反応システムを用いて得ている。<sup>1-7)</sup> 得られた反応速度式を用いて実機 DOC の数値解析を行い、定常活性(入り口温度と触媒内最高温度の関係で表現している)について実験結果と計算結果が概ね一致することを示している(図 1-10)。稲葉ら<sup>1-8)</sup> は、DPNR における PM 酸化機構を量子化学的解析により解明することを試みている。超高速化量子分子動力学法による解析結果から、DPNR で生成された O<sub>2</sub> と排気中の NO より NO<sub>3</sub> が生成され、これが安定なグラファイトに 300°C という低温でも C 欠損を生じさせ、O<sub>2</sub> や NO<sub>2</sub> による酸化へと導く可能性を示している(図 1-11)。

フォーラム「ディーゼルイノベーションの新展開」では、6 名のパネラーによりディーゼル機関に関する技術動向と展望に関する話題提供がなされた後に、パネラーによる討論がなされた。ディーゼル機関の損失低減と効率向上に関する様々な背反する設計因子の最適化の方針について、専門家による解説と討論がなされた。前半の話題提供では、内田登氏(新エシイ)より米国の DOE LE55 や Super Truck プロジェクトに大型車用ディーゼル機関の熱効率向上に関する技術の紹介と解説、新エシイにおける取り組みなどが紹介された。<sup>1-9)</sup> 石山拓二氏(京都大学)は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的燃焼技術」におけるディーゼル機関の熱効率 50% に向けた開発研究について紹介した。<sup>1-10)</sup> Charles Robert 氏(Southwest Research Institute: SwRI)からは、SwRI におけるディーゼル機関の損失低減、熱効率向上、排気後処理に関する取り組みについて解説と紹介があった。<sup>1-11)</sup> 志茂大輔氏(マツダ)からは、乗用車用ディーゼル機関の損失低減、熱効率向上技術の動向と展望について解説がなされた。<sup>1-12)</sup> 下川清広氏(日野自動車)からは、大型車用ディーゼル機関の高効率化技術の解説がなされた。<sup>1-13)</sup> 最後に三原雄司氏(東京都市大学)から、SIP「革新的燃焼技術」における損失低減の開発研究について紹介がなされた。<sup>1-14)</sup> 以上 6 件の話題提供についての詳細はフォーラムテキストを参照されたい。ディーゼル機関の効率向上の共通のキーワードとして、冷却損失低減、機械損失低減、サイクル効率向上、排気エネルギーの再利用(排気後処理装置との連携制御含む)が挙げられていた。また、これらを実現する要素技術については、個々の技術の完成度を高めるとともに、エンジン性能上で時として相反するこれら要素技術をエンジンシステム全体として最適化することの重要性も述べられた。ディーゼル機関の熱効率向上のための要素技術の相反作用をより深く議論するために、フォーラム後半では「損失低減に向けた様々な取り組みから見えてくる課題解決のヒント」と題するパネルディスカッションを、モデレーターに小川英之氏(北海道大学)を迎え、同氏の司会の下に行われた。論点としては、ディーゼル機関の損失低減と効率向上のための代表的な設計因子として図 1-12 に示す項目(圧縮比、等容度、遮熱度)を挙げ、それぞれの設定指針について議論された。乗用車用と大型車用では、エンジンに求められる機能評価基準、スペースファクタ、排気後処理装置へのコストバランスなどが異なり、現状ではこれらの設計因子設定において逆傾向を示す場合もあるが、今

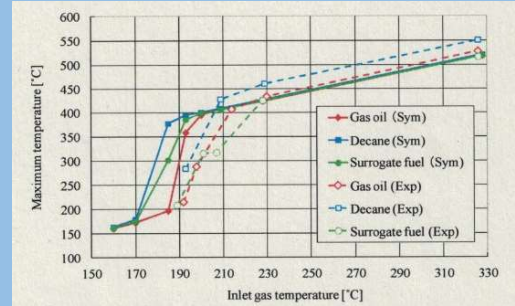


Figure 1-10 実スケール酸化触媒における触媒入り口温度と触媒内最大温度の関係(3種の炭化水素における計算値と実測値の比較)

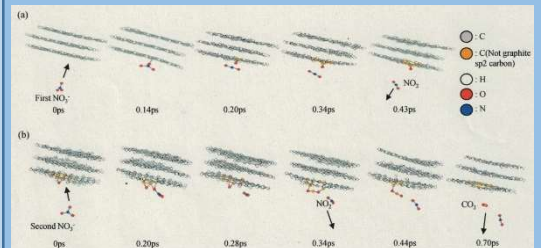


Figure 1-11 NO<sub>3</sub> によるグラファイトの酸化の超高速化量子分子動力学法による解析

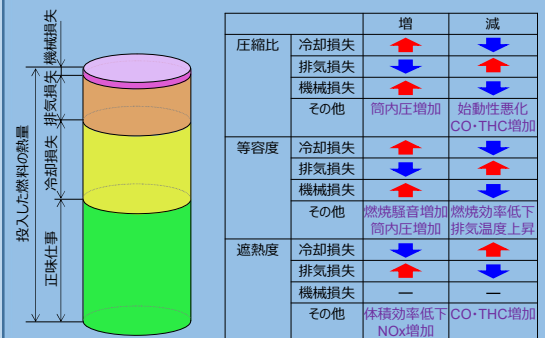


Figure 1-12 ディーゼル機関性能における設計パラメータの背反事項

後さらに高効率化を追求していくと、乗用車用、大型車用ともに圧縮比は増加していくことになるであろうとの一致した見解がそれぞれの立場から出されていた。また、エンジンシステムの最適化がより高度なレベルで求められることも一致した見解であった。(小酒)

## 【参考文献】

- 1-1) 稲垣 和久, 水田 準一, 高鳥 芳樹, 釘本 恒, 植田 玲子: GTL エマルジョン燃料を用いた革新的燃焼コンセプトの提案(第1報)ースモークレス拡散燃焼による大幅なエミッション低減ー, 自動車技術会 2017 春季大会予稿集, pp 1-6, 2017
- 1-2) 山下英男, 川口暁生, 猪熊洋希, 田中圭祐, 小川輝, 山下親典, 福井健二, 脇坂佳史: 壁温スウィング遮熱によるエンジンの熱損失低減(第5報), 運転条件の影響解析, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 64-69, 2017
- 1-3) 荒井直之, 中田将徳, 巽健, 松村恵理子, 千田二郎: ディーゼル噴霧火炎における壁面熱損失に関する研究(第5報) 各制御パラメータが熱損失に及ぼす影響, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 70-75, 2017
- 1-4) 中田将徳, 荒井直之, 前田篤志, 巽健, 松村恵理子, 千田二郎: ディーゼル噴霧火炎における壁面熱損失に関する研究(第6報) 壁面衝突距離および衝突角度が熱流束に及ぼす影響, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 76-81, 2017
- 1-5) 岩本誠也, 増田裕之, 松村恵理子, 千田二郎: 急速圧縮膨張装置を用いたディーゼル燃焼場における壁面熱損失に関する研究, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 88-93, 2017
- 1-6) 滋野玄規, 滋野豪規, 植西徹, 福間隆雄, 草鹿仁, 大聖泰弘: Diesel Oxidation Catalyst の数値解析の研究(第7報), 高級炭化水素がDOCの酸化反応に及ぼす影響の数値解析, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1633-1638, 2017.
- 1-7) 小淵存, 内藤潤子, 小野哲也, 畑中健志, 佐々木基, 滋野玄規, 植西徹, 福間隆雄, 草鹿仁, 大聖泰弘: Diesel Oxidation Catalyst の数値解析の研究(第8報), DOC上の軽油成分の総括反応速度式の実験的導出, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1639-1644, 2017.
- 1-8) 稲葉賢二, 三浦隆治, 鈴木愛, 畠山望, 宮本明, 西岡寛真, 竹島伸一: ディーゼル PM, NOx 同時低減触媒における PM 酸化機構の量子化学的解析, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1645-1650, 2017.
- 1-9) 内田登: 正味熱効率 55%への挑戦 (LE55 から将来へ向けて), 2017 年フォーラム「ディーゼルの新展開」, 20174365, pp. 1-8, 2017.
- 1-10) 石山拓二: SIP「革新的燃焼技術」におけるディーゼル燃焼研究, 2017 年フォーラム「ディーゼルの新展開」, 20174366, pp. 9-14, 2017.
- 1-11) Charles E. Robert: SwRI Advancements in Clean High Efficiency



Diesel Engines, 2017 年フォーラム「ディーゼルイノベーションの新展開」, 20174367, pp.15-21, 2017.

1-12) 志茂大輔: 乗用車用クリーンディーゼルエンジン SKYACTIVE-D における損失低減技術, 2017 年フォーラム「ディーゼルイノベーションの新展開」, 20174368, pp.22-28, 2017.

1-13) 下川清広: 商用車用ディーゼルエンジンの技術動向, 2017 年フォーラム「ディーゼルイノベーションの新展開」, 20174369, pp.29-33, 2017.

1-14) 三原雄司: SIP 損失低減における内燃機関の機械摩擦の低減研究とその課題, 2017 年フォーラム「ディーゼルイノベーションの新展開」, 20174370, pp.34-39, 2017.

## 2 ディーゼル噴霧

同志社大学の溝淵らは、「オイル油膜に対するディーゼル噴霧衝突挙動のモデリング (第 2 報)」と題して講演を行った。<sup>2-1)</sup> ディーゼル機関の DPF 強制再生を目的としたポスト噴射では、燃料噴霧がシリンダライナに衝突し、潤滑油膜を希釈することが課題である。本研究では潤滑油膜と軽油液滴の衝突過程の高精度な予測手法を開発するため、詳細な実験観察から現象のモデル化を行っている。図 2-1 は 10 $\mu$ m の液膜上にディーゼル用インジェクタから噴射された燃料噴霧液滴が衝突した際の撮影画像であり、これを基に、潤滑油膜と軽油液滴の衝突挙動をウェーバー数と無次元膜厚 (=液膜厚さ/入射液滴径) に対して分類している。また、液滴衝突時に形成されるオイルクラウン中の液相組成についても検討しており、染料を添加した潤滑油膜と単一軽油液滴の衝突挙動をカラーカメラで撮影している。図 2-2 にその撮影画像を示す。この例では、赤色の油膜に青色の液滴が衝突して赤色のオイルクラウンができること、無色の油膜に赤色の液滴が衝突して青色のオイルクラウンができることから、オイルクラウンには潤滑油と軽油の両方が含まれることを明らかにしている。本研究ではこれらの計測を広範囲のウェーバー数と無次元膜厚に適用することで、最終的には図 2-3 のように潤滑油膜に対する軽油液滴の衝突挙動を三種類に分類するとともに、その境界を臨界ウェーバー数で決定することに成功している。今後は、形成されたオイルクラウン中における潤滑油と軽油の混合状態あるいは混合割合など、より詳細な現象が解明されることに期待したい。(小橋)

### 【参考文献】

2-1) 溝淵直人, 神戸浩揮, 松村恵理子, 北村高明, 渡邊哲也, 大坪康彦: オイル油膜に対するディーゼル噴霧衝突挙動のモデリング (第 2 報) ~臨界ウェーバー数の計測, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, 2017.

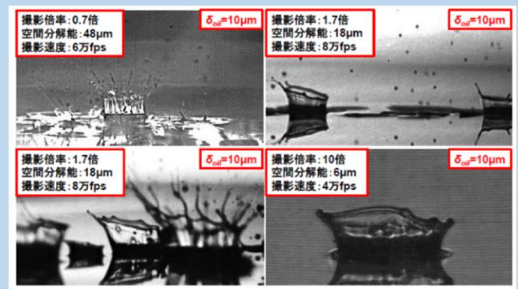


Figure 2-1 Measurement result of fuel droplet behavior impinging on oil film

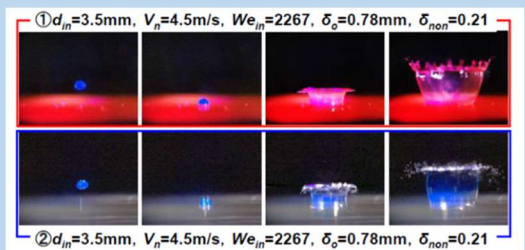


Figure 2-2 Measurement result of fuel droplet behavior by color high speed video camera

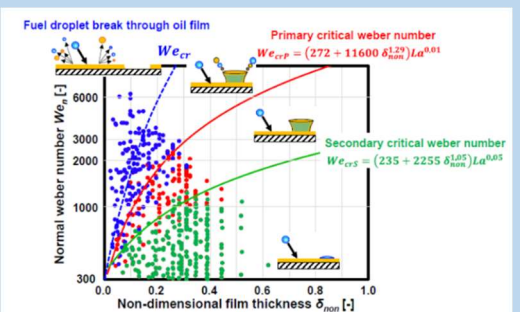


Figure 2-3 Critical Weber number for which possibility of existence is expected

### 3 排気触媒システム (酸化触媒)

本セッションでは、自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE) の中で実施された研究などを中心に 4 件の講演が行われた。

ここでは AICE とは関係ないが、ユニークなものとして東北大学未来科学技術共同研究センターの稲葉らによる「ディーゼル PM, NOx 同時低減触媒における PM 酸化機構の量子化学的解析 (20175297)」を取り上げる。<sup>3-1)</sup> NOx 吸蔵還元機能を有するディーゼル粒子フィルタ (DPNR) では、一時的なリッチ状態を繰り返し与えることで、低温 (300°C レベル) ながらフィルタ上の PM が低減する現象がみられる。PM 中の「すす」を酸化させるには、通常 600°C 程度の温度が必要であるが、低温でも酸化される現象のメカニズムについて量子化学的な説明を試みたものである。量子分子動力学計算を用いて、堆積した PM を模擬したグラファイト構造に O<sub>2</sub> や NO<sub>2</sub> を衝突させてみたところ、変化がなかった。活性酸素 O<sub>2</sub> を衝突させたところ、カーボンに吸着され、O<sub>2</sub> などよりは活性の高いことが示唆されたが、C-C 結合を分解するには至らなかった。それに対して、O<sub>2</sub><sup>-</sup> と NO が存在する場合、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が生成され、それがカーボンと反応して NO<sub>2</sub> と CO になり、さらに NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が衝突すると CO は CO<sub>2</sub> となって脱離する (図 3-1)。そして、その欠損した炭素の周囲に存在する C は、グラファイトから反応性の高い炭素へと遷移する。その炭素は O<sub>2</sub><sup>-</sup> や NO<sub>2</sub> とも反応しうるものとなり、連鎖的な反応の起点となる。筆者は量子化学に対する知見が少なく、本モデルの善し悪しを判断することはできないが、マクロ的に起こっている現象の説明として妥当性はありそうだ。いずれにせよ、この効果を得るには、リッチ (過濃) とリーン (希薄) 両方の環境があって、O<sub>2</sub><sup>-</sup> を生成する触媒機能と堆積したすすと NO が共存する状態が前提となるわけであり、一般に活用するには敷居が高い。しかし、このような機構の解明を元に簡易な「すす」再生手法が登場することを期待したい。(鈴木)

DPF2 セッションでは DPF への堆積や DPF 再生に関連する計 4 件の講演が行われた。

薄井らによる Ash 堆積シミュレーションに関する講演<sup>3-2)</sup> は、シミュレーション精度向上のため、焼却による再生ができない Ash の堆積の項を新たにダルシー則に導入した修正数値解析モデルを構築し、2 種類の堆積条件、2 種類のオイルでの実証結果に適用し評価したものであった。図 3-2 および図 3-3 に示すように、エンジン試験において Ash を堆積させる運転条件が堆積 Ash の layer-plug 比を決定することが判明し、それにより圧損挙動にも差が生ずることを見出している。提案されたモデルを用いたシミュレーションは、表 3-1 に示すように絶対値としてはまだ不十分であるが、Ash 堆積による効果の傾向は予測できる結果を示している。今後については空隙率化関数の再考察が必要であるとしているが、会場質問のように、流れの均一性、ash の量変動に対する考慮の必要性も想定される。生成堆積原理解明、モデリングおよび急速 Ash 堆積プロセスの構築については AICE で引き続き検討される模様であり、成果が待たれるところである。

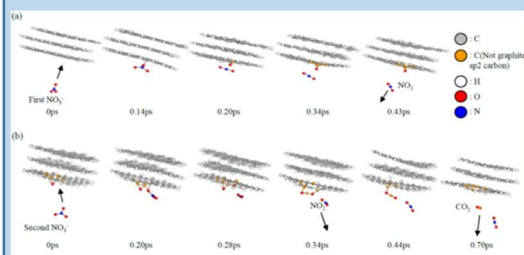


Figure 3-1 Snapshots of UA-QCMD for (a) Reaction Graphite and NO<sub>3</sub>, (b) C Defect Generation by next NO<sub>3</sub>

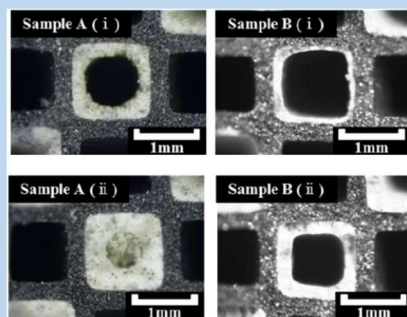


Figure 3-2 Optical microscope image of channel cross section ((i):upstream, (ii):downstream)

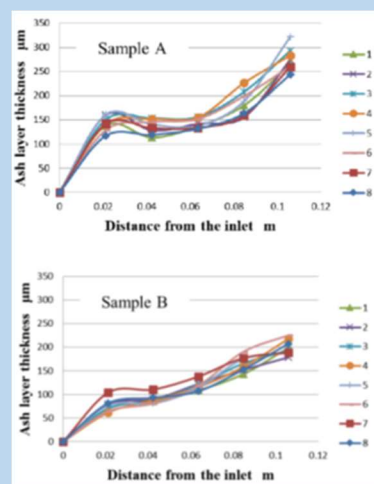


Figure 3-3 Ash layer thickness distribution in the axial direction

Table 3-1 Ash density

Sample	A	B
Ash density calculated value g/cm <sup>3</sup>	0.33	0.40
Ash density experimental value g/cm <sup>3</sup>	0.14	0.25

田中らは圧力損失の増加を抑制でき、再生処理時にPMを効率的に燃焼できる新規DPF触媒の開発<sup>3-3)</sup>について講演した。構造的には従来品ではDPFのフィルタ細孔内に触媒成分を配置していたところを、開発品ではガス流入壁面にメッシュ状触媒層を配置した(図3-4)ことが特徴であり、この変更により基材細孔内へのPMの侵入が抑制され深層ろ過からケーキろ過に速やかに進行し、圧力損失を低減させる設計である。エンジンベンチによるPM捕集に伴う圧力損失の増加の実験(図3-5)により、設計通りの効果が実証されている。加えて、粒子の捕集性能としても従来品より排出PNを68%低減する効果なども認められ(図3-6)耐久性やサイクルテストなど実用的な評価結果においても一般的に開発した触媒系のほうが、性能が向上していることを確認できる。質疑にあったように製品化のためにはash堆積の寿命への影響などさらなる検討が必要と考えられる点もあるが、うまくいけばDPFの触媒構造を見直すきっかけになるかもしれない画期的な技術である。

蟹由ら、齋木らはDPF再生時の排気管内噴射のHC濃度分布に関する実験およびシミュレーションに関する報告を行った。これまでの静止場における成果を踏まえた継続的な検討の第5報<sup>3-4)</sup>および第6報<sup>3-5)</sup>であり、実条件に即した高速流動場での成果について、流動場の特徴および多成分性も含めたシミュレーションの妥当性について検討されている。図3-7で示される流れ場における前方散乱光の撮像のように、流動場では静止場とは異なる噴霧となりホロコーンが崩れやすく後追い噴霧が形成されないことが特徴である。高温流動場における燃料蒸発メカニズムを提案しており、蒸発過程を四つに分類するとともに燃料の早期蒸発と時間遅れ蒸発の分類を提案している。図3-8に示す多成分を考慮したHC蒸発の結果は、シミュレーションの結果が定量的もしくは時間変化として実験結果を必ずしも説明するものにはなっていないが、図3-8に示すように第5報で提案した蒸発モデルを基に、瞬間的な蒸発量と時間遅れ蒸発量に分けて議論・修正する改良方針などは明らかにしており、今後の研究の進展により噴霧を予測できる実用的なシミュレーションに発展することが期待される。(佐々木)

【参考文献】

- 3-1) 稲葉 賢二, 三浦 隆治, 鈴木 愛, 畠山 望, 宮本 明: 西岡 寛真・竹島 伸一ディーゼルPM, NOx同時低減触媒におけるPM酸化機構の量子化学的解析, 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 2017
- 3-2) 薄井 陽, 植西 徹, 福間 隆雄, 草鹿 仁: DPFへのAsh堆積モデリングの検討, 自動車技術会2017年春季大会学術講演集, No. 20175172, 2017
- 3-3) 田中 江里子, 杉野 達郎, Tran Mai Huong, 青野 紀彦: 燃費向上を目的としたDPF触媒の開発, 自動車技術会2017年春季大会学術講演集, No. 20175173, 2017
- 3-4) 蟹由 惇, 酒谷 昇吾, 松村 恵理子, 北村 高明, 植西 徹, 渡邊 哲也: ディーゼルエンジン後処理用排気管内インジェクタから噴射される噴霧挙動解析(第5報)-高温流動場における噴霧挙動および蒸発特性の実験的解析

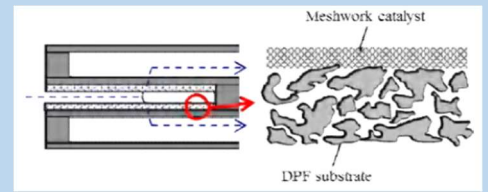


Figure 3-4 Meshwork catalyst concept

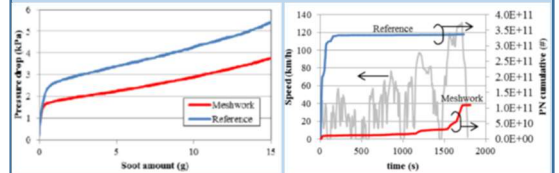


Figure 3-5 Pressure drop during soot loading  
Figure 3-6 PN cumulative during WLTC loading

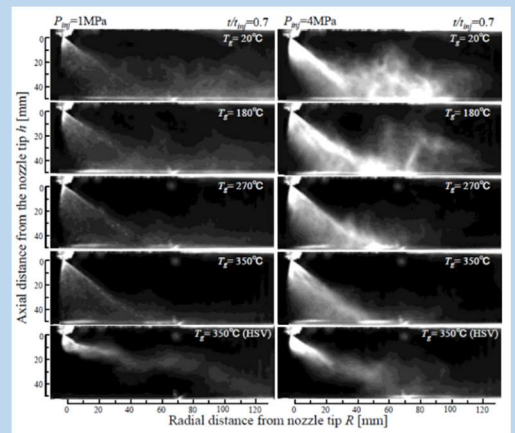


Figure 3-7 Spray images in flow field by scattered light method

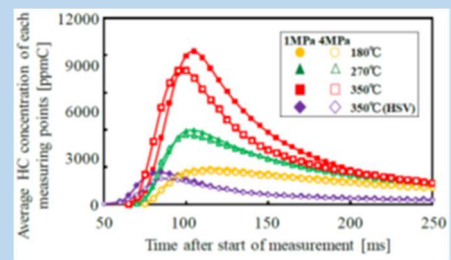


Figure 3-8 Time series change of average HC concentration

-, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175174, 2017

3-5) 齋木 優佑, 田畑 弘隆, 松村 恵理子, 北村 高明, 植西 徹, 渡邊 哲也: ディーゼルエンジン後処理用排気管内インジェクタから噴射される噴霧挙動解析 (第 6 報) -多成分性を考慮した排気管内噴霧の数値解析-, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175175, 2017

## 4 ガス流動・熱伝達

ガス流動・熱伝達のセッションでは, 高タンブル流下での放電特性やディーゼル機関の熱伝達予測に関連する 5 件の講演があった。その中から 1 件の講演について紹介する。

Yilmaz ら<sup>4-1)</sup> は Colburn の式を基に, エンジンの吸気管を模した実験装置を用いて, スロットルバルブの開閉を繰り返すことで吸気流の非定常性が吸気管内の熱伝達に及ぼす影響を実験的に調べるとともに, エンジン吸気系の非定常熱伝達モデルを提案している。

図 4-1 は実験に用いた吸気管モデルと吸気温度, 壁面温度の計測位置である。上流部から 150mm の位置に熱線流速計が取り付けられており, 600mm の非加熱助走区間, 加熱助走区間が設けられている。加熱助走区間の長さを変化させることで境界層の発達程度を変化させている。3 か所で計測した吸気温度と壁面温度の算術平均値  $T_m$  と  $T_s$  および吸気温度  $T_i$ , 新気温度  $T_o$  を用いて次式より  $Nu$  数を実験的に求めている。

ここで,  $L$ : 加熱助走区間の距離,  $f$ : 吸気バルブ開閉の周波数である。

図 4-2 はグレイツ数の逆数に対するヌッセルト数の変化である。また, 図 4-3 はストローハル数に対するヌッセルト数の変化である。これらの結果を元に, 吸気管から空気への熱伝達について, Colburn の式にグレイツ数  $Gr$ , ストローハル数  $St$  を導入し, 次式によりモデル化している。

以上の熱伝達式を 1 次元ディーゼルエンジンモデルに組み込み, 表 4-1 に示す四つの条件におけるサイクルシミュレーションを実施し, 従来の Colburn の式を用いた場合と吸入新気温度を比較している。図 4-4 に結果を示す。二つのモデルにより求められる吸入空気温度には最大で 11.4 K, 平均で 2.7K の差が生じていることが分かる。また, Case1 においては平均吸入空気温度に 3.8 K の差があり, これにより着火時期が 0.780CA 異なる結果, 熱効率に 0.22% の差が生じたと述べられている。(窪山)

### 【参考文献】

4-1) mir Yilmaz, 定地 隼生, 一柳 満久, 鈴木 隆: 内燃機関の吸気管における非定常熱伝達モデルの 1D シミュレーションへの実装, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, 講演番号 196, 2017

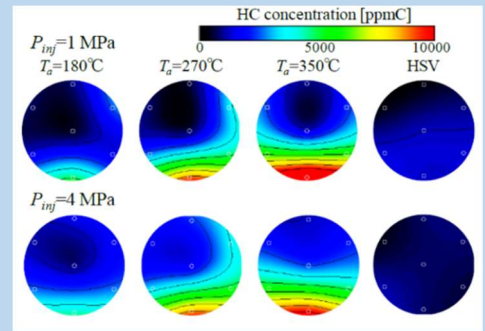


Figure 3-9 Integration HC concentration distribution

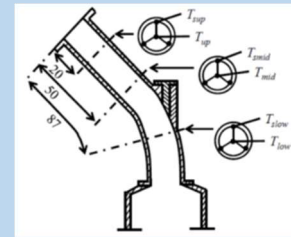


Figure 4-1 Schematic of intake manifold model with thermocouples for temperature of the intake manifold and intake air

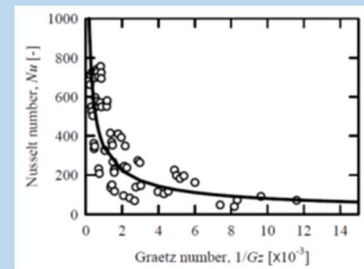


Figure 4-2 Relationship between  $Nu$  and reciprocal of  $Gr$  under steady state flow condition

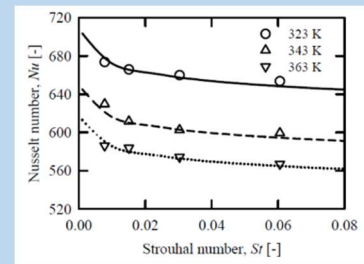


Figure 4-3 Relationship between  $Nu$  and  $St$  under unsteady flow condition

Table 4-1 Summary of  $Re$ ,  $Gr$ ,  $Nu$ , and heat transfer coefficient obtained from Colburn equation (7) under all conditions

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Graetz ( $\times 10^4$ )	2.3	1.81	1.4	0.88
Reynolds ( $\times 10^5$ )	1.86	1.47	1.14	0.71
Nusselt ( $\times 10^3$ )	0.32	0.27	0.22	0.15
Heat Transfer coef. [ $\text{kW/m}^2\text{-K}$ ]	0.35	0.29	0.23	0.17

## 5 新エンジン機構・制御

セッション「新エンジン機構・制御」において、Achates Power のFromm らは、一つのシリンダに二つのピストンが対向して配置されるユニークな構成の 2.7L 対向ピストンエンジン(図 5-1)について発表した。<sup>5-1)</sup> この構成(図 5-2 右端)<sup>5-2)</sup>により、ストローク・ボア比が実質 2.2 のロングストロークとなることと、シリンダヘッドがない分 TDC における燃焼室の表面積と容積の比(S/V 比)が小さくなるのが特徴である。1 気筒につき 2 本の燃料噴射弁が対向して取り付けられ噴霧の壁面衝突および火炎の壁面干渉を抑えるようにしている。全体的には 2 ストロークエンジン構成であり、ターボチャージャとスーパーチャージャ、および低圧・高圧ループ EGR を備えている。図示熱効率は 48% が得られている。2018 年に実車デモを計画しているといい、今後の進展が楽しみである。(増田)

### 【参考文献】

5-1) Laurence Fromm, Fabien G. Redon: New 2.7L 650Nm Opposed-Piston Engine for Light Commercial Vehicles, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会予稿集, No. 20175201. 2017

5-2) <http://achatespower.com/not-all-two-stroke-engines-are-created-equal/>

## 6 SI 燃焼

本セッションでは、SI ガソリンエンジンにおけるノック、火炎伝播、壁面熱損失に関連する 6 件の講演があった。その中から 2 件の講演について紹介する。

永野ら<sup>6-1)</sup>は、ノック強度に対する影響因子を明らかにするため、定容容器を用いたノッキングの可視化観察、および 1 次元数値解析を行い、壁面付近の温度境界層の挙動とノック強度の関係について調べている。実験に使用した燃焼容器は幅 14mm、高さ 14mm、長さ 80mm で容積 15.68cm<sup>3</sup>の直方体の形状で、石英の観察窓を通して、燃焼室内の全域を観察できる仕様となっており、伝播火炎の高速度直接撮影、およびカラーシュリーレン法による未燃ガスの温度境界層の可視化を行っている。

図 6-1 は、燃焼室内のエンドガス側壁面付近を拡大したカラーシュリーレン像である。橙色の領域が大きな密度勾配の存在を示しており、写真右端の壁面付近に密度勾配の大きな層が温度境界層である。写真において、左側からくさび状の形状をした火炎面が伝播している様子が分かる。8.105ms から 8.355ms にかけて、火炎面から壁面側へ移動する薄い橙色の領域が確認されるが、これはエンドガス部に発生した冷炎を示していると述べられている。温度境界層の挙動に着目すると、温度境界層は、火炎が伝播するに従い厚くなるが、冷炎の発生により薄くなり、その後再び厚くなった後、ノックの発生により観

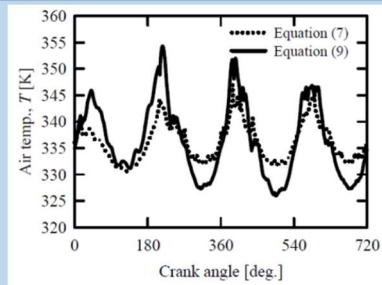


Figure 4-4 Comparison between time-evolution of intake air temperature estimated from conventional Colburn equation (7) and that from derived equation (9) under the condition case1



Figure 5-1 2.7L ガソリン圧縮着火対向ピストンエンジン

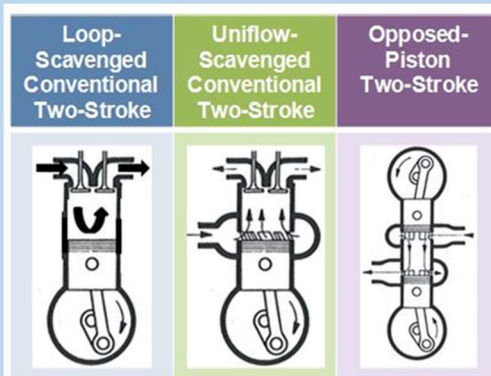


Figure 5-2 対向ピストンエンジンの構成(右端)

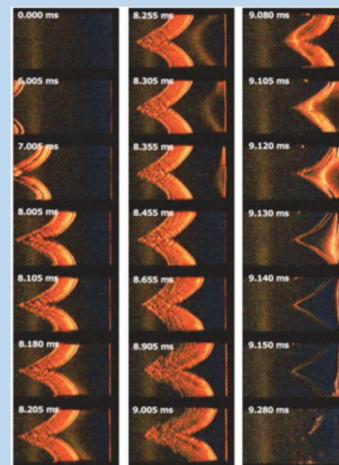


Figure 6-1 Color Schlieren images

察されなくなる。

図 6-2 は同時撮影したノック発生直前のエンドガスのカラーシュリーレン写真と直接写真である。t=8.950ms において伝播火炎よりも強い発光が現れ、その後壁面に向かって移動し、壁面に到達した後に激しい圧力振動が発生している様子が観察されている。温度境界層が存在する壁面近傍において、圧縮されたエンドガスが自着火していることが分かる。

図 6-3 は、壁面の温度境界条件を変化させて、温度境界層がノック強度に及ぼす影響を非定常 1 次元シミュレーションにより調べた結果である。図より、断熱壁よりも等温壁の場合の方が、最高到達圧力が高いことが分かる。この要因として、図 6-4 が示されるとともに、等温壁の方が温度境界層内の密度が高く未燃ガス質量が多いために最高到達圧力が高くなると考察されている。

成毛ら<sup>6-2)</sup>は、EGR がガソリンサロゲート燃料の着火特性に及ぼす影響を明らかにするため、急速圧縮装置を用いた着火遅れの計測と、詳細化学反応機構を用いた数値解析を行っている。本研究では、圧縮圧力が最大となった時期から低温酸化反応に由来する 1 段目の圧力上昇で圧力上昇率が最大となる時点までを一次着火遅れ、主燃焼に由来する 2 段目の圧力上昇率が最大となる点までを総着火遅れと定義している。表 6-1、6-2 に実験条件と混合気組成がまとめられている。燃料として、SIP 革新的燃焼プログラムで使用されている共通のガソリンサロゲート燃料 (S5H) を用いている。図 6-5 に当量比 0.5 の予混合気をベースに、EGR ガスで希釈、二酸化炭素を添加、酸素濃度を低下、燃料濃度を低下した場合の圧力履歴を示す。図の上段、下段はそれぞれ圧縮後圧力を 2.0 MPa、4.0 MPa とした場合である。総着火遅れ期間は、EGR ガスで希釈した場合に最も長く、燃料濃度を低下させた条件、酸素濃度を低下させた条件、二酸化炭素を添加した条件の順に着火遅れが長くなっている。この結果から、EGR によって着火遅れが長期化するのには、燃料濃度が低下することが主要因であると考察されている。また、圧縮後圧力が高い 4.0 MPa の方が、総着火遅れにおける着火誘導期間の割合が短くなることを指摘し、これは圧縮後圧力 4.0 MPa の場合の方が、低温酸化終了時の HCHO 蓄積量が多く、HCHO 由来の反応による発熱が多いためと考察している。図 6-6 に、圧縮後圧力 4.0 MPa の下、EGR に加えて NO を 20ppm、あるいは CO を 160 ppm 添加した場合の圧力履歴を示す。図に示されるように、CO の添加が着火遅れ時間に及ぼす影響は確認できない。一方、NO を添加した場合、EGR のみの場合に対して一次着火遅れ期間が短くなり、総着火遅れ期間が短くなっている。一次着火遅れはベース条件よりも短い。NO の添加によって一次着火遅れが短くなる理由については、 $\text{NO} + \text{HO}_2 = \text{NO}_x + \text{OH}$  の反応によって、比較的不活性な  $\text{HO}_2$  から OH が生成され、低温酸化反応が活性化されるためと考察している。EGR に加えて NO を添加した場合に、EGR のみの場合に対して総着火遅れが短くなる理由については、EGR 希釈に加えて NO を添加しても低温酸化反応終了時の  $\text{HO}_2$ 、HCHO の濃度に差異がないことから、着火誘導期間の発熱量に差異がなく、低温酸化反応が早期化して着火誘導期間への以降時期が早期化することによると考察している。(窪

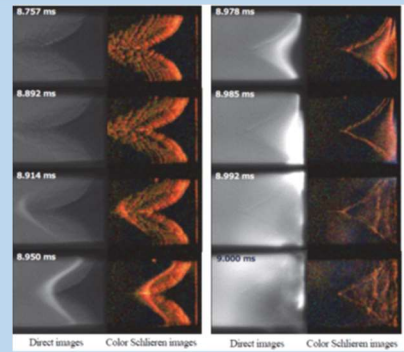


Figure 6-2 Color Schlieren images and direct images

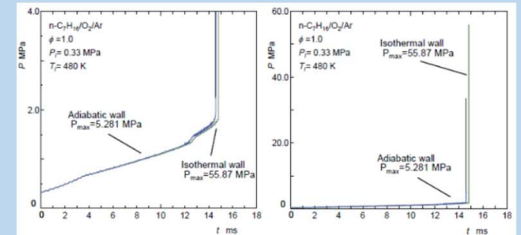


Figure 6-3 Pressure histories by numerical simulation ( $\kappa=80\text{mm}$ )

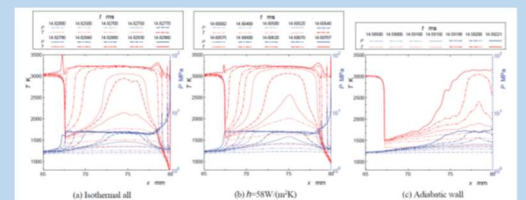


Figure 6-4 Distribution of temperature and pressure

Table 6-1 Experimental condition

Fuel	S5H	
$\phi$	0.45 - 0.56	
$P_c$ (MPa)	$2.00 \pm 0.02$	$3.99 \pm 0.03$
$P_0$ (MPa)	0.1023	$0.2013 - 0.2032$
$T_c$ (K)	$720.7 \pm 1.6$	$719.2 \pm 1.3$
$T_0$ (K)	330 - 334	330 - 333
EGR ratio (%)	20	

Table 6-2 Condition of mixtures

	base	EGR	O <sub>2</sub> reduce	Fuel reduce	CO <sub>2</sub> add
S5H	0.993	0.890	0.993	0.890	0.993
O <sub>2</sub>	20.791	18.633	18.633	20.791	20.791
N <sub>2</sub>	78.216	78.624	80.374	78.319	76.363
CO <sub>2</sub>	0	1.835	0	0	1.853
$\phi$	0.5	0.5	0.558	0.448	0.5
$\kappa @ 720 \text{ K}$	1.326	1.325	1.326	1.329	1.321

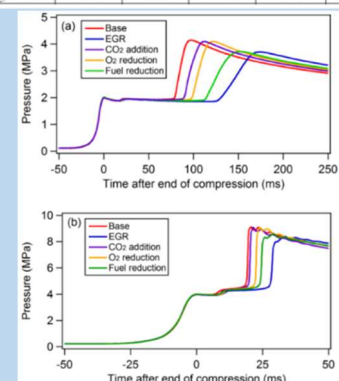


Figure 6-5 Measured pressure profiles of S5H ( $\phi = 0.5$ ,  $T_0 = 720 \text{ K}$ ) (a)  $P_0 = 2 \text{ MPa}$ , (b)  $P_0 = 4 \text{ MPa}$ )

山)

【参考文献】

6-1) 永野 幸秀, 新屋 凌, 河野 健太, 田中 昇太, 北川 敏明: 定容容器を用いた燃焼実験によるノック強度に影響を及ぼす因子についての考察, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, 講演番号 188, 2017

6-2) 成毛 政貴 (茨城大学), 吉田 翔一, 和知 裕亮, 田中 光太郎, 金野 満, “EGR がガソリンサロゲート燃料の着火特性に及ぼす影響”, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, 講演番号 191, 2017

## 7 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、I~Vの五つのセッションで行われた。ここでは、最終日の最初に行われた先進ガソリン機関技術Ⅲのセッションについて紹介する。本セッションは、雨の日に朝から行われたにもかかわらず、多数の参加者により、満席状態の講演が見受けられ、活発な意見交換が行われた。その6講演の中から一つを紹介する。

千葉大学の森吉らは、「リーンバーンガソリン機関におけるサイクル変動要因の解析」<sup>7-1)</sup>と題して講演を行った。熱効率向上のため注目されている、リーンバーンガソリンエンジンを実現させるには、燃焼のサイクル変動を抑制することが必要である。本研究では、サイクル毎に燃焼解析を行うことで、リーンバーン運転時のサイクル変動要因を、実験的に調査することを目的としている。図7-1に実験装置の概略図を示す。排気中の未燃炭化水素、二酸化炭素、一酸化炭素濃度をサイクル毎に計測している。弱流動条件(タンプル比0.8, Base)と強流動・強力点火条件(タンプル比4.0, w/Tumble nozzle + w/5coils)における燃焼安定領域を図7-2に示す。図中△は、IMEPの変動率が、5%を超える点火時期を探索している。希薄限界は、点火限界(点火時期の進角によるIMEP変動率増大)と火炎伝播限界(点火時期の遅角による火炎伝播の安定性低下)により決まるといふ。弱流動場において希薄限界はA/F=23, 強流動場ではA/F=29である。強流動場では、タンプル強化により火炎伝播限界が拡大し、また点火システム強化により点火安定性が向上しているとのこと。強流動場における希薄限界付近(A/F=29.8)での等容度と燃焼効率が、IMEPに与える影響を図7-3に示す。希薄限界では、弱流動場、強流動場ともに等容度と燃焼効率の変動が、IMEPの変動要因であると報告があった。スーパーリーンバーンエンジンの課題である、サイクル変動に対する、有効な知見となる事と思われる。今後の更なる、サイクル変動改善に期待したい。

次はVのセッションについて紹介する。本セッションは非常に注目度が高く、立ち見の参加者が多数となり、会場から溢れる状態の講演も有った。このセッションでは、SUBARUから新型2.0L直噴NAエンジンに関するもの2件、トヨタから新型直列2.5Lエンジンに関するもの2件、水噴射エンジンに関するもの2件

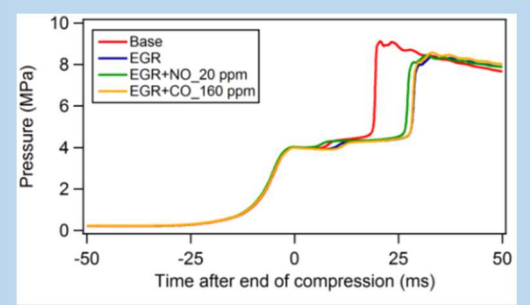


Figure 6-6 Pressure of S5H under the EGR condition with 20ppm NO and 160 ppm CO ( $\phi = 0.5$ ,  $P_c = 4$  MPa,  $T_c = 720$  K)

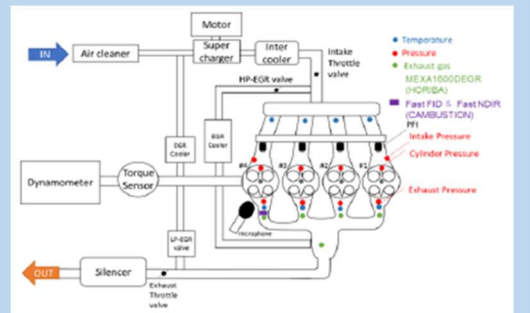


Figure 7-1 実験装置の概略図

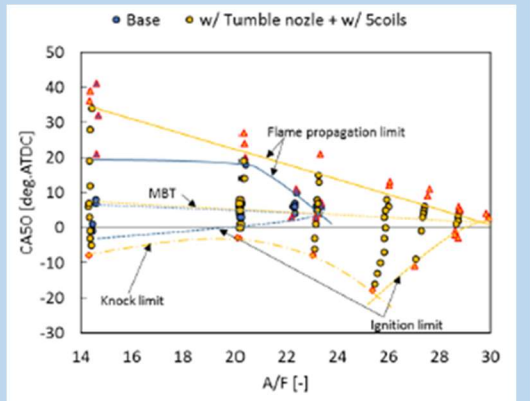


Figure 7-2 燃焼安定

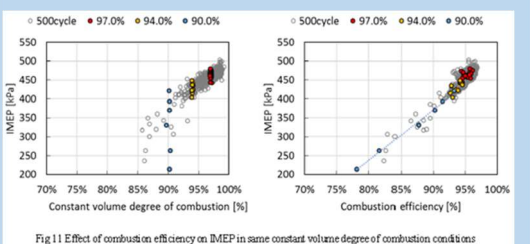


Fig 11 Effect of combustion efficiency on IMEP in same constant volume degree of combustion conditions

Figure 7-3 等容度と燃焼効率がIMEPに与える影響

Table 7-1 影響要素とエンジン性能の関係

	Thermal efficiency					Emissions		
	cycle loss	combustion delay loss	pumping loss	cycle variation	HC	NOx	PM/ PN	
Turbulence intensity	○※1	○	○※1					
A/F at the spark plug gap					○※2	○※2		
Wall wetting					○	○	○	
Homogeneity				○	○	○	○	

※1 w/ EGR  
※2 catalyst warm-up

の合計6講演が行われた。ここでは、その中から最近時の課題である、燃費向上とPN抑制に取り組んだ、新型エンジンに関する、3講演を紹介する。

SUBARUの石田らは、「新型水平対向2.0L直噴NAエンジンにおける燃焼設計」<sup>7-2)</sup>と題して講演を行った。本報告では、新型エンジンの燃焼に影響する要素の最適化プロセス(燃焼設計)と、その結果得られた燃費・排ガス性能について紹介している。開発には、可視化エンジン・LiteCAEシステムを用いた流体解析・単気筒エンジンの三つのツールを用いて、表7-1に示す四つの重点影響要素を定量化し、エンジン性能との相関を調査している。ISFCとその影響要素である乱れ強さの相関を図7-4に示す。乱れ強さ0.1m/sあたり、0.5%ISFC改善する傾向が得られたという。図7-5に点火プラグ周りのA/FとIMEP変動との相関、図7-6に燃料壁面付着率とPNの相関、図7-7に数値解析より求めた、均質度とスモークとの相関を示す。均質度0.92以下だと、スモークが排出されることが、分かったとしている。これらの把握した特性に基づき、新型エンジンでは、各影響要素を最適化する設計を行ったと述べている。その具体的手法は、熱効率向上に向けた、乱れ強さ改善の為に吸気ポート・TGV形状変更だという。また排ガス低減に向けた、燃料壁面付着率や均質度改善の為に、インジェクタ噴霧パターン設定と噴射タイミング最適化等も行っている。その結果として、乱れ強さの向上によりISFCが4%向上し、均質度向上・壁面付着率低減による、PN排出量も抑制されたとのこと。これらの取組により、一つのエンジンハード仕様で、各国の排ガス法規に適用できる燃焼を実現したと報告があった。可視化エンジン・CAE・単気筒エンジンを上手く活用した、エンジンの燃焼設計である。最近時のトレンドとなる、各影響要素の定量化指標を設定し、効率良く最適化を行っているように思われる。

トヨタの坂田らは、「トヨタ新型直列4気筒2.5Lガソリンエンジン」<sup>7-3)</sup>と題して講演を行った。本エンジンは、TNGAコンセプトの頭出しとなるラージジュールであるという。高速燃焼技術を更に進化させ、最大熱効率40%と動力性能60kw/Lを、両立させることを開発目標としている(図7-8)。本発表では、そのエンジンの概要と主要技術について述べている。表7-2にエンジン主要諸元を示す。将来の発展性・生産性も考慮し、基本骨格を見直している。高タンブル・高流量インテークポート実現のために、バルブ挟角拡大・レーザクラッドバルブシートの採用等を行い、図7-9に示す、タンブル比2.9・流量係数0.49を達成したという。冷間時の早期水温上昇のため、電動W/Pや冷却回路の切り替えバルブ(FSV)を二つ採用している(図7-10)。これによる、各部温度の適正化により燃費と冷暖房性能を両立させたとのこと。これら新技術の投入により、目標である最大熱効率40%(図7-11)、最高比出力60kw/Lを達成したと報告があった。またこの発表に続いて、同一エンジンに関する講演を、トヨタの吉田らは、「新燃焼コンセプトと制御技術による燃費とFun to driveの両立」<sup>7-4)</sup>と題して行った。本発表では、前述の講演の目標に加えて、北米SULEV30とEURO6CのPN規制適用可能なポテンシャルを目指し、「Fun to Drive」を実現する取組みについて報告している。図7-12左に乱流強度と燃焼速度の関係を、図7-12右に熱効率40%を実現するために必要な、乱流強度のシミュレーション結果を示

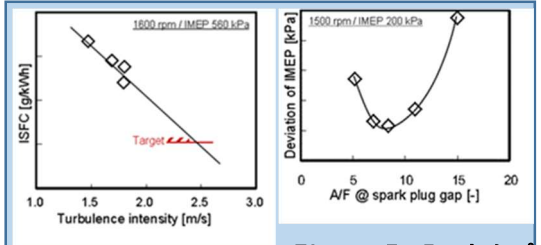


Figure 7-4 乱れ強さとISFCの相関

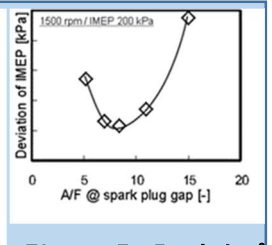


Figure 7-5 点火プラグ周り A/F と IMEP 変動の相関

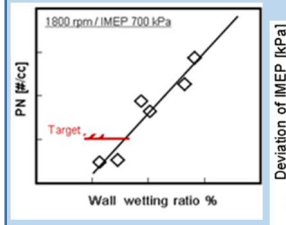


Figure 7-4 乱れ強さとISFCの相関

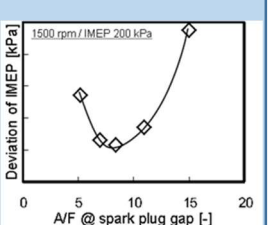


Figure 7-5 点火プラグ周り A/F と IMEP 変動の相関

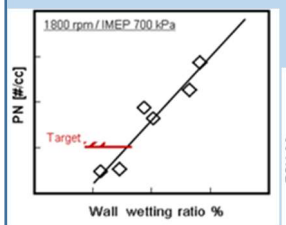


Figure 7-6 燃料壁面付着率とPNの相関

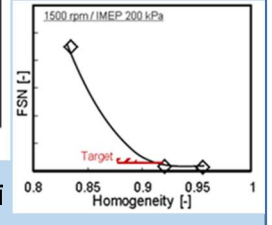


Figure 7-7 均質度とFSNの相関



Figure 7-8 新型エンジンの開発目標

Table 7-2 エンジン主要諸元

Table 1: Specification of new 2.5L engine	
Engine	New 2.5AR-FE
Engine Type	In-line-4cyl
Displacement (l)	2487
Bore x Stroke (mm)	89.7 x 103.4
Compression ratio	13
Max. power (kW/rpm)	151/6600
Max. torque (Nm/rpm)	250/5500
Valve system	DOHC 4 valves per cylinder HLA Roller rocker IN-VVT-E (Motor-Driven) EX-VVT
Lubrication system	Variable controlled oil pump
Cooling system	Motor-Driven W/P
EGR system	Cooled EGR
Fuel injection system	D-4S (multi-hole DI (LPI))
Emission ctrl. system	2CAT x 2AF 2CAT x A/F+102

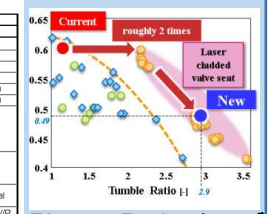


Figure 7-9 タンブル比と流量係数

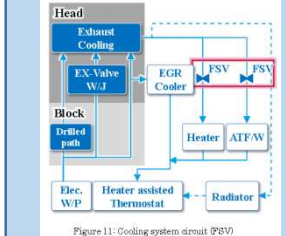


Figure 7-10 冷却回路 (FSV)



す。熱効率 40%に必要な乱流強度は 5.6m/sec であるとし、その時の EGR 限界は、25%程度だという。エンジンの基本骨格検討にあたり、S/B 比と圧縮比をパラメータに、熱効率と比出力への影響をシミュレーションした結果を図 7-13 左に示す。図 7-13 右に示すとおり、S/B が 1.2 圧縮比 13 にて、熱効率 40%と比出力 60kw/L、目標の同時実現が可能であることが分かったとしている。排気規制 (SULEV30・EURO6:PN) 対応として、DI/PFI 噴霧のレイアウト改良を行った。従来の DI ファンスプレーの噴孔形状を、多孔噴霧に変更 (図 7-14) することで、ペネトレーション低減結果を得たという。また PFI インジェクタは、搭載位置をバルブに近接化し、噴霧角拡大を行って、バルブへの燃料付着低減を可能にしている。さらに、ピストン冠面形状は、タンブル流を阻害する成層用リップを廃止し、新触媒暖機ストラテジーを確立したとのこと。走りのコンセプトを具現化するため、加速時の G 挙動を指標化し、アクセルペダル開度に応じた G 挙動を設計している。そして、本エンジンと新 8 速 AT により、全負荷加速性能と Fun to drive の両立を実現したと報告があった。世界各国で、さらに厳しくなる排気ガス規制に対応すべく、PN 抑制等行った上で、燃費と走りの向上を行っている。Fun to Drive を狙った、ドライバーのアクセルペダル開度に対する G 挙動の設計は、興味深いところである。(野口)

### 【参考文献】

- 7-1) 森吉 泰生, 窪山 達也, 楯村 俊希, 金子 誠, 山田 敏生: リーンバーンガソリン機関におけるサイクル変動要因の解析, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175328, 2017
- 7-2) 石田 礼, 高畑 夏紀, 勝俣 雅人, 山崎 祥史, 金子 隆, 金子 誠, 中山 智裕, 関 竜達: 新型水平対向 2.0L 直噴 NA エンジンにおける燃焼設計, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175339, 2017
- 7-3) 坂田 邦彦, 戸田 忠司, 坂井 光人, 秤谷 雅史, 加藤 寿一: トヨタ新型直列 4 気筒 2.5L ガソリエンジン, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175340, 2017
- 7-4) 吉田 享史, 永崎 岳人, 高橋 毅, 板橋 秀, 村瀬 栄二, 山口 正晃: 新燃焼コンセプトと制御技術による燃費と Fun to Drive の両立, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175341, 2017

## 8 潤滑油, 潤滑技術およびトライボロジー

本セッションは燃料潤滑油部門委員会により企画された 3 セッションにわたる OS である。ここではセッション II および III より、興味深い研究を数点紹介する。

この II のセッションではエンジンの潤滑を支える補機や測定手法についての 3 件の研究が発表された。うち 2 件はオイルポンプの駆動トルク低減に関するものであり、燃費低減に貢献する技術の紹介であった。

宮島ら<sup>8-1)</sup>からは、油温が低い際すなわち潤滑油粘度が高い際に発生する余剰

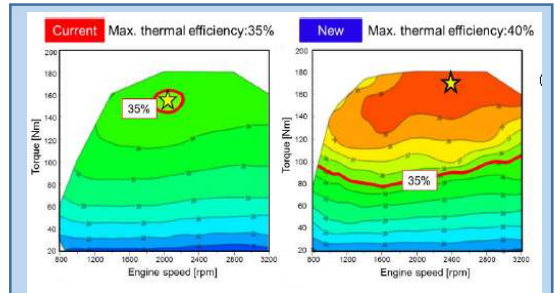


Figure 7-11 熱効率 MAP の比較

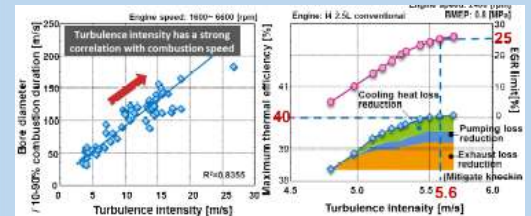


Figure 7-12 乱流強度と燃焼速度の関係、熱効率 40%に必要な乱流強度

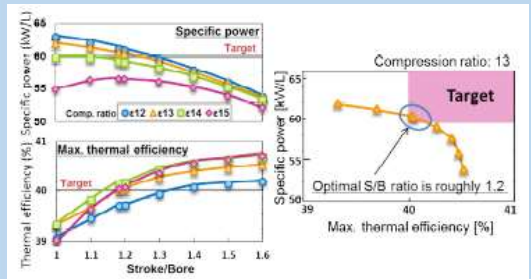


Figure 7-13 基本骨格シミュレーション結果

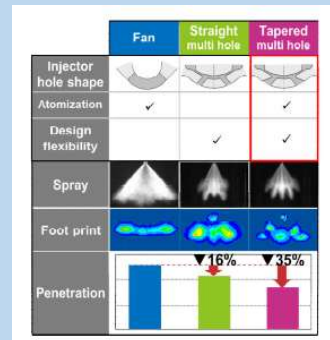


Figure 7-14 ファンとテーパ多孔インジェクタ比較

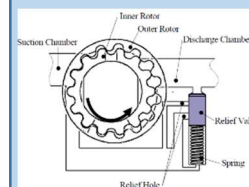


Figure 8-1 Tooth profile improvement

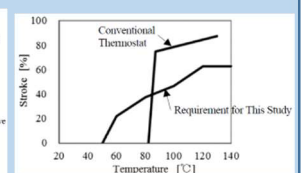


Figure 8-2 Stroke Characteristics of Thermostat

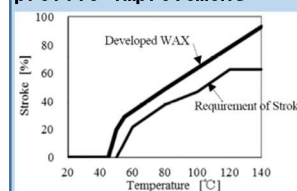


Figure 8-3 Stroke Characteristics of WAX

油圧を低減するため、図 8-1 オイルポンプにワックスを用いた感温式のリリーフバルブを搭載し潤滑油をバイパス回路に戻す仕組みが提案された。リリーフバルブの開度はワックスにより支配されるが、通常図 8-2 のような特性を示すワックスを、物性値およびワックス槽の形状の調整により図 8-3 に示すような特性とし、エンジンからの要求により近い吐出圧を実現している。

一方、西田ら<sup>8-2)</sup>からは、内接ギヤ式のオイルポンプのインナーロータのアウトロータに対する偏心方向を図 8-4 に示すように変えることで余剰圧力が発生しない仕組みが紹介された。偏心方向は圧力センサで測定された油圧をフィードバックすることで制御している。この研究では余剰圧力以外にもポンプ内部のリーク量が損失につながる点にも着目し、図 8-5 に示すようにギヤの歯形を変更することにより、この削減を図っている。

両者とも可変動弁等を意識しているのか、エンジンからの要求を油圧のみで示していたが、会場からはエンジンの摺動面の信頼性確保の観点から、油量にも注意を払う必要があるのではないかと指摘もあった。エンジンのさらなる燃費向上のために、今後はエンジンと補機とのより密接な連携が必要であると感じられた。

Ⅲのセッションでは、ピストンのスカート部の摩擦力に関する 4 件の研究が発表された。うち 2 件は摩擦低減のための固体潤滑被膜について、残る 2 件は摩擦低減に対する効果が確認されているパターンコーティングの摩擦低減メカニズムについての発表であった。

佐々木ら<sup>8-3)</sup> および河野ら<sup>8-4)</sup> は最表面の表面粗さを Ra 0.16 程度まで小さくすることのできる 3 層コーティングを開発し、その摩擦低減効果を確認している。佐々木および河野らは、これまでに従来のポリアミドイミドをバインダとし 30 wt%程度のグラファイトを含んだコーティングの上に、二硫化モリブデンを 80 wt%程度含んだポリアミドイミドコーティングを施すことで摩擦低減に成功している。今回は、コーティング最表面の粗さが摩擦力に影響を及ぼすことに着目し、表 8-1 に示すように上述の 2 層のコーティングの上にさらに平滑な表面を有する被膜を設けることを提案した。新たに開発された 3 層のコーティング (SDL) は、図 8-6 のように、従来と比較して低い摩擦損失を示した。摩擦低減効果は、潤滑状態がより混合潤滑状態に近づく低回転高負荷でより大きく表れ、また行程別ではこれも混合潤滑状態に近づく膨張行程で効果が表れている。ピストンが混合潤滑状態で多用されるようなエンジンでは、このようなコーティングは摩擦低減に有効であろうと感じられた。

一方、ピストンスカートのコーティングにパターンを持たせる方策もピストンの摩擦損失低減に有効であることが確認されている。各社から種々のパターンが提案されているが、これによる摩擦低減メカニズムが明らかにされていないため、パターンの最適化は実験に頼っているのが現状である。山坂ら<sup>8-5)</sup> および藤島ら<sup>8-6)</sup> は、摩擦力測定および油膜の可視化により、パターンコーティングの摩擦低減メカニズムの解明に取り組んでいる。この研究は油膜可視化を得意とする群馬大学と筆者の所属する東京都市大学が協力して進めている。両者の所有する実験用エンジンは若干ボア×ストロークが異なるものの、ピストン

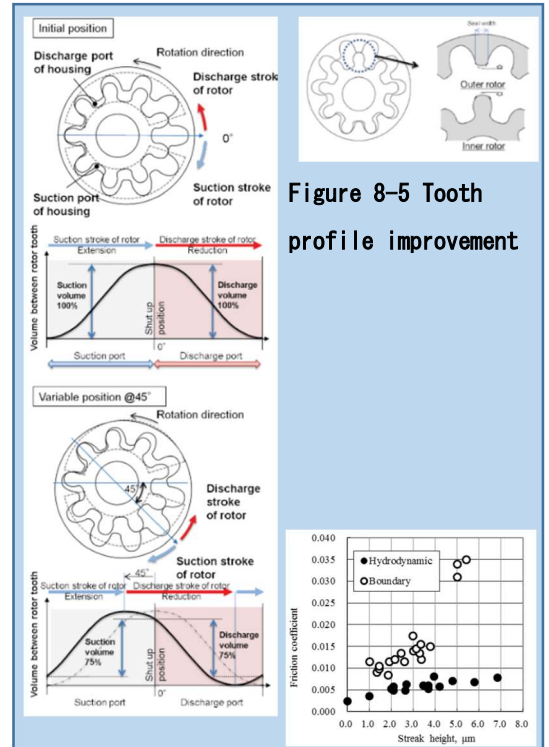


Figure 8-5 Tooth profile improvement

Figure 8-4 Variable discharge mechanism

Figure 8-6 Relation between streak height and friction

Table 8-1 Test condition

Speed	2m/sec
Oil	5W-30
Oil Supply	5.5ml/min (starve) 40.0ml/min (flood)
Oil Temperature	Room. Temp.
Load Pressure	2.8MPa

Table 8-2 Test Piston

	STD	Parallel	Orthogonal
Coating Pattern			
Coating Area Ratio	100%	55%	52%

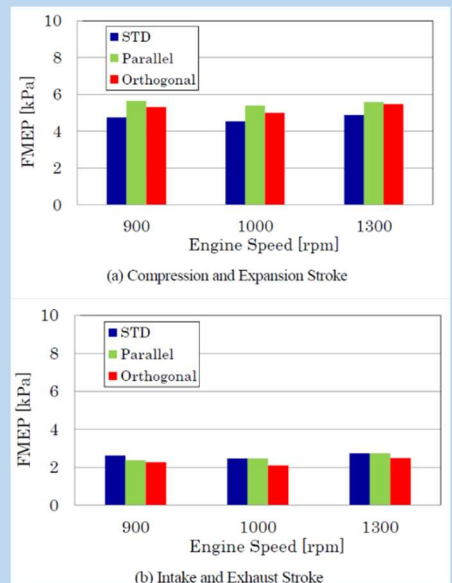


Figure 8-7 FMEP of Each Stroke by the Measurement

の摺動速度および側圧を同等とする運転条件を設定し、その状態におけるピストンスカートのあたりが同等となるようなピストンを用意することで、互いのデータを比較できるよう配慮している。表 8-2 に示す 3 種類のパターンについて摩擦平均有効圧を求めた結果は図 8-7 のような序列になっており、Parallel および Orthogonal とともに STD よりも高い値を示している。一方、パターンを簡易的に模した油膜の計算では図 8-8 に示すように Orthogonal は STD より低い摩擦平均有効圧を示し、実験と一致しない結果となった。ここで図 8-9 に示す油膜可視化結果を見ると、Orthogonal ではピストン下降行程において最も下にあるコーティング部がオイルの流入を遮る様子が観察され、それよりも上にあるコーティング部には十分な潤滑油が供給されず、これにより理論値と異なる高い摩擦平均有効圧が観察されたものと考えられる。このことから、コーティングのパターンを設計する際には潤滑油の流れを考慮する必要があることが示された。本研究では今後も継続し、水玉模様などその他のパターンが油膜に及ぼす影響について解析を行う予定である。(伊東)

### 【参考文献】

- 8-1) 宮島 淳一, 加藤 悠也, 渡邊 貴: 感温式可変オイルポンプの開発, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175349, 2017
- 8-2) 西田 裕基, 小野 壽, 寺島 宏仁, 豊田 文彦, 沼波 晃志: 連続可変容量オイルポンプの開発, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175350, 2017
- 8-3) 佐々木 正登, 高橋 智一, 藤栄 峻, 河野 佳介: ピストン用低摩擦個体 jy 分滑剤の開発 (第 4 報) - 平滑 2 層構造個体潤滑被膜の開発 -, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175354, 2017
- 8-4) 河野 佳介, 佐々木 正登・高木 岳雄, 山崎 政昭: ピストン用低摩擦個体 jy 分滑剤の開発 (第 5 報) - 平滑 2 層構造個体潤滑被膜ピストンの単気筒エンジンを用いたフリクション解析 -, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175355, 2017
- 8-5) 山坂 浄成, 佐藤 泰将, 小林 邦彦, 山川 直樹, 石間 経章, 鈴木 秀和, 伊東 明美: ピストンパターンコーティングが潤滑状態と摩擦に及ぼす影響 (第 1 報) - 浮動ライナ法による摩擦力評価 -, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175352, 2017
- 8-6) 藤島 諒介, 川島 久宜, 小林 邦彦, 山川 直樹, 伊東 明美, 鈴木 秀和, 石間 経章: ピストンパターンコーティングが潤滑状態と摩擦に及ぼす影響 (第 2 報) - 可視化による油膜分布評価 -, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演集, No. 20175353, 2017

## 9 新しい計測診断技術 (エンジン計測技術)

本セッションでは、新しい流れ計測技術として、レーザー誘起ブレイクダウン分光法による当量比計測、点火プラグ温度計測、エンジンシリンダ内における

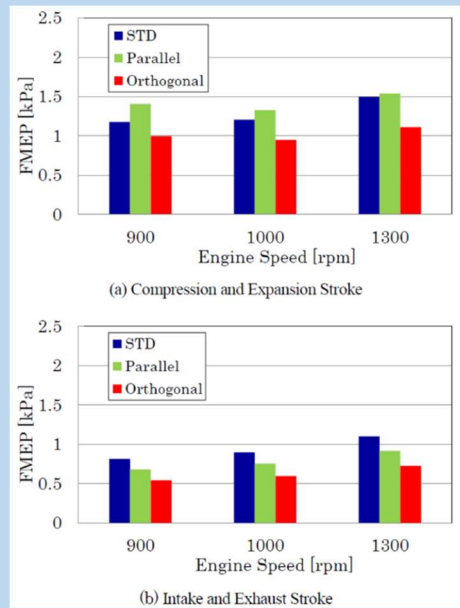


Figure 8-8 FMEP of Each Stroke by the Calculation

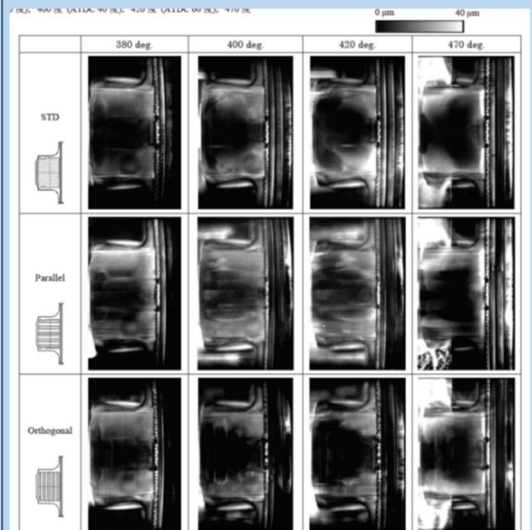


Figure 8-9 Oil film Distribution on Skirt

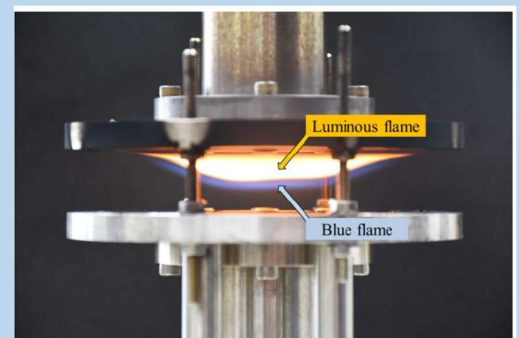


Figure 9-1 Counterflow diffusion flame

流動計測, 車載型燃焼モニタ装置, 排ガス流量計測など5件が講演されている。

ここでは, レーザ誘起ブレイクダウン分光法による当量比計測事例, 点火プラグ温度計測事例の2件に関して紹介する。

「レーザ誘起ブレイクダウン分光法による過濃燃焼場の当量比計測 — 対向流バーナー輝炎を用いた基礎検討 —」<sup>9-1)</sup>と題し, 秋濱らは, レーザ誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) を用いて対向流拡散火炎 (図 9-1) を対象に当量比計測を実施した計測結果を報告している。著者らが記述しているように, LIBS とは「原子発光分光法的一种である。観測対象にレーザ光を集光すると, 原子中の束縛電子は高いエネルギーを与えられ, 励起状態を経た後, 電離状態に至る。電離によって生成した自由電子が周囲の原子と衝突し, 自由電子がさらに生成され, ブレイクダウン (絶縁破壊) を起こす。この際にプラズマが発生する。後に, 自由電子が元の軌道に遷移する際, 各原子 (分子) が固有波長の光を発する。この光の波長および発光強度を分光測定することで, 対象の定性・定量分析を行うことができる」である。著者らは, CHEMKIN-PRO による数値計算結果と比較することで, LIBS での当量比計測の可能性を検証している。著者らが対象としている対向流拡散火炎の過濃燃焼場においては, ススからの輝炎発光強度が強くなるため, LIBS スペクトルの計測精度が低下する可能性がある。図 9-2 に示すように LIBS スペクトルの背景発光をベースラインとして推定することで, 原子発光スペクトルを検出できている。図 9-3 で示すように過濃燃焼場において, 当量比と計測で得られた  $H_{656nm} / O_{777nm}$  原子発光強度比は当量比の増加とともに強度比が増加する傾向を示している。これらにより, ディーゼル噴霧火炎のように拡散火炎の過濃燃焼場においても LIBS 計測手法により当量比が計測できる可能性が示唆されている。

一方, 「プレイグニッション発生時の点火プラグ温度分布計測」<sup>9-2)</sup>と題し, 武藤 (SUBARU) らは, ガソリンエンジンにおける異常燃焼であるプレイグニッション時において点火プラグの温度分布を計測することで, 点火プラグを着火源とするプレイグニッションの発生要因の特定を行っている。著者らは, 点火プラグの碍子先端からの熱面着火と碍子と主体金具間 (著者らは「ガスボリューム」と記述している) に存在する混合気が影響すると考え, 特にガスボリューム内混合気の自着火に注目している。市販の4気筒水平対向ガソリンエンジンの1気筒のみを可視化できるように改造し, 可視化実験を行っている。シリンダヘッドにサファイア窓を装着し, 高速度カラーカメラにより点火プラグ近傍の撮影を行っている。まず, 撮影ターゲットに組み込んだ熱電対と高速度カラーカメラにより得られた放射強度の関係性を調査している。図 9-4 に示すように, 点火プラグ温度と放射強度とは関係性があり, この関係より点火プラグの温度を求めている。図 9-5 に実際にエンジンシリンダ内で燃焼実験を行った際の中心電極, 碍子等の温度履歴と筒内圧力履歴を示している。吸気行程から燃焼開始直前まで点火プラグの温度が計測できている。つぎに, プレイグニッション発生時の火炎発生位置を高速度カラーカメラにより可視化し, プレイグニッションが点火プラグから発生する様子を図 9-6 に示し, シリンダ内圧力履歴を図 9-7 に示

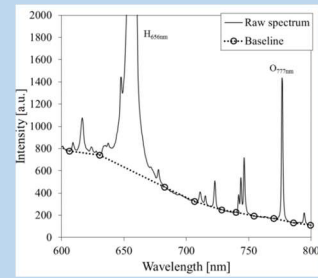


Figure 9-2 Baseline setting method

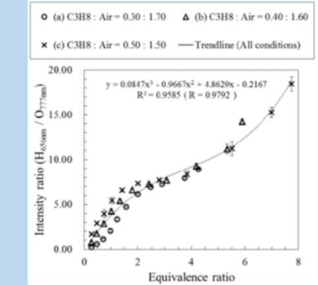


Figure 9-3 Correlation between measured  $H_{656nm} / O_{777nm}$  ratio and the calculated equivalence ratio

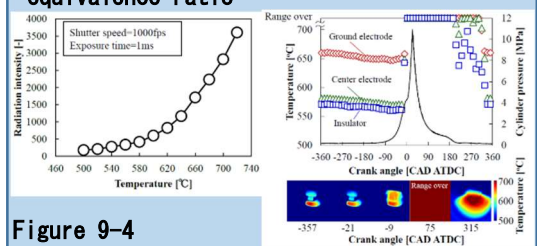


Figure 9-4

Relationship of temperature and spark plug temperature radiation intensity and cylinder pressure

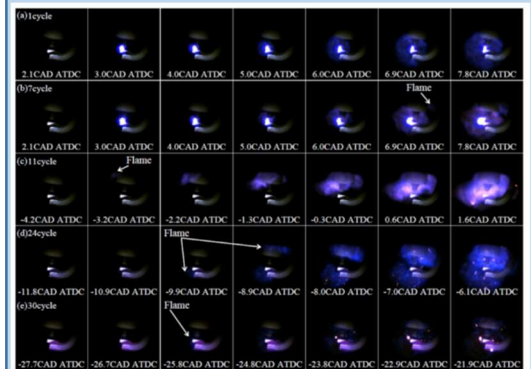


Figure 9-6 Sequential images of normal combustion and pre-ignition from spark

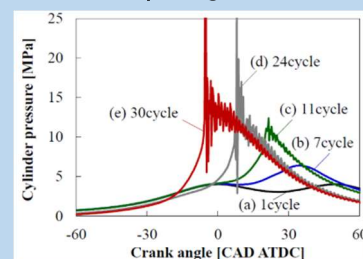


Figure 9-7 Histories of cylinder pressure

している。通常は点火プラグから初期火炎核が形成されているが、サイクルが進むにつれて、点火プラグのガスボリュームからの火炎生成が見られ、点火時期よりも前にこの火炎によりプレイグニッションが発生している。プレイグニッションが連発すると外側電極が赤熱し、着火源となっている。プレイグニッション時における点火プラグ近傍での燃焼可視化を実現できたことで、プレイグニッションの原因の1つを把握できている。著者らは、「今後は、ガスボリューム内混合気の燃料濃度や温度をCFDにより把握し、プレイグニッションの発生要因を明らかにしていく」と締めくくっている。(河原)

【参考文献】

- 9-1) 秋濱 一弘, 高月 基博, 今村 宰, 山崎 博司, 福井 健二, 冬頭 孝之: レーザ誘起ブレイクダウン分光法による過濃燃焼場の当量比計測 — 対向流バーナー輝炎を用いた基礎検討 —, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175183, 2017
- 9-2) 武藤 涼, 木本 健太, 加藤 真亮, 中山 智裕, 金子 誠: プレイグニッション発生時の点火プラグ温度分布計測, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175184, 2017

10 EV・HEV 関連

今大会の電動車両関連セッションは、広義のEVシステム関連5セッション、蓄電システム関連3セッションの計8セッションのほか、非接触給電に関して一つのセッションとフォーラムが持たれ、広範な発表があったが、ここでは注目発表が多かった量産HEV、PHEVに関する発表とEV用電池の動作状態での状態把握について紹介し、後半で非接触給電関連の発表の動向について述べる。

2010年代前半に、シリーズHEVとパラレルHEVの欠点を補う種々の複合型HEVが提案され、大きな電池容量・モータ容量による長いEV走行が可能なシリーズHEVもクルージング時を中心に直接エンジンで駆動するモードを持つもの一般的になってきた。この流れに対して、藤田らはBEVでの実績をベースにした簡素で高効率なシリーズHEVについて紹介した。<sup>10-1)</sup> 電池のSOCが高い状況ではBEVの瞬発力と高い加速性が実現できるが、1.5kWhと比較的小容量の電池であるので、SOCが低い場合にも加速に必要な電力を遅れなくモータに供給するために、エンジン始動タイミングをアクセルペダルの操作量や電池のSOCに応じて制御している(図10-1)。稼働時のエンジンは、燃費極大の動作線上で、その時点で必要な上・下限発電電力範囲に収まる動作点で妥協する形で動作点を選択するが、市場での使用を想定した走行モードでの動作点は図10-2に示すとおり最良燃費点が高い頻度となっている(同一エンジンのHEVとICEVでの頻度参照)。同システムのもう一つの特徴は、強力な回生制動を採用し、アクセルペダルの操作量によって負の駆動力(制動力)も制御するOne-pedalドライブ(図10-3)によって減速時の回生制動量を高める試みを採用している点である。駆動力がゼロ近辺での微加速・微回生の繰り返しを排除するために駆動トルク

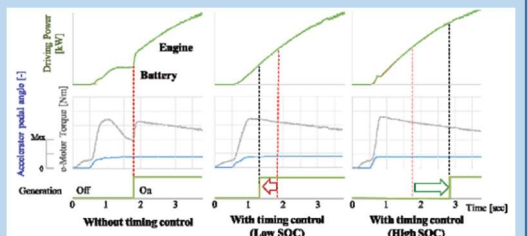


Figure 10-1 電池のSOCと、加速時の発電機始動タイミング

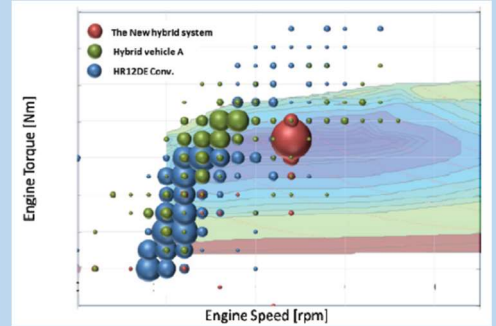


Figure 10-2 実走行時のエンジン動作点の頻度分布(社内モードによる)

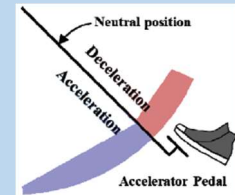


Figure 10-3 One-pedal ドライブのコンセプト

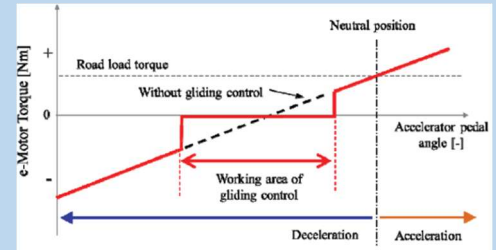
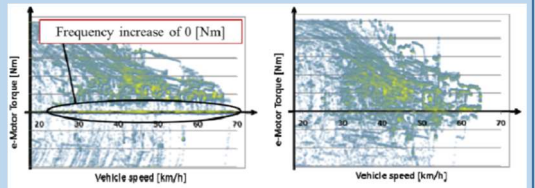


Figure 10-4 情性優先のための制御



(a) With gliding control

(b) Without gliding control

Figure 10-5 駆動モータの動作点の頻度分布

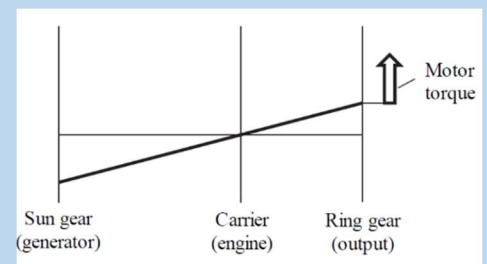


Figure 10-6 EV 走行時の共線図(従来のPHEV車)

ゼロ付近に図 10-4 に示す不感帯を設け、積極的に惰行の機会を高める（図 10-5）ことで電力消費量を削減している（惰行機会を高める手法は欧州の 48V 系マイクロハイブリッドでも提唱されている）。このシステムでは走行時のモータトルクや車速の情報から道路勾配を推測して勾配相当のモータトルクを補正することにより、勾配路でアクセルの踏み増し踏み控え等の操作を軽減している。

HEV の排ガス適合作業は、開発の最終段階である上、HEV システムの微修正などにより再作業が必要になるなど課題が多い。石川らは、このシステムのために構築した台上エンジンとシミュレーションモデルを組み合わせて、HEV 走行時の排気を再現する Engine in the loop システムと、これを利用した開発手法について紹介した。<sup>10-2)</sup>

十分実用段階に入っている HEV に対して、BEV に次ぐ消費エネルギーの脱石油化と十分な走行距離の双方が得られる PHEV の普及が期待されている。鈴木らは性能向上が図られた 4 代目のコンパクト HEV をベースにした PHEV のトランスアクスルについて紹介した。<sup>10-3)</sup> HEV のトランスアクスルからの変更を最小限に留めつつ、その高い性能の維持と十分な EV 性能の両立が狙いである。短時間の高出力を前提とした HEV の電動系（出力時間の延伸と共に可能な最大出力値は低下する）を用いて、より長時間の EV 走行でも十分な出力を可能とするために、ジェネレータもモータとして利用するデュアルモータシステムを採用している。図 10-6 は EV 走行時の HEV の動力分割機構（遊星歯車）の共線図で、モータのトルクのみで走行しており、他の軸は連れ回りの状態である。この状態でジェネレータからトルクを出力するとエンジン軸が逆転するだけで、出力軸には伝達されない。図 10-7 は新 PHEV の共線図で、エンジン軸に逆方向の回転を阻止する様にワンウェイクラッチを設けてジェネレータのトルクを出力軸に伝達することを可能としている。その結果、出力軸にはモータ出力とジェネレータ出力の和が出力される（図 10-8）。HEV のトランスアクスルとの部品共用化を図るため、ワンウェイクラッチはフライホイールのエンジン側に、図 10-9、図 10-10 に示す摩擦に頼らないポール式のものを設置している。ワンウェイクラッチは、引き摺りトルクによる動力損失のほか、ポール式では非嵌合時のラチェット音が問題となるが、エンジン側のアウターレースに設けられたポールとポール押しつけ用バネが、アイドリング回転数より十分低い 400rpm 以上では遠心力でインナーレースから離れるように設定されているため、エンジン常用時にはラチェット音が発生せず、引き摺りトルクも実使用でも問題がないことを確認している。そのほか、エンジン停止状態が多い PHEV に対応するため、遊星歯車の潤滑やモータ冷却用のオイル供給を、既存のエンジン駆動の機械式油圧ポンプと新たな電動油圧ポンプを併用することで実現している（全容量を電動系に置き換えをするだけのスペースが確保できないため）。

これらの効率最優先のコンパクト車に関する発表の一方、高出力・高性能 HEV に関する発表があった。州濱らと加藤らは、後輪駆動のラグジュアリーブランド車などの高出力車両に対し、その性能を維持しながら厳しくなる環境性能に対応する手法として、THS II ベースの FR 車用ハイブリッドシステムを改善して、エンジンの V8→V6 化と低排気量化を十分補うことを可能とする“マルチステ

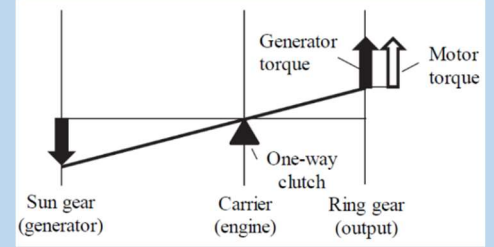


Figure 10-7 EV 走行時の共線図（デュアルモータドライブ）

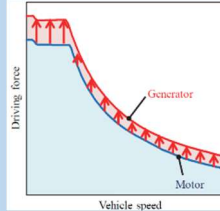


Figure 10-8 新型 PHEV の駆動力マップ

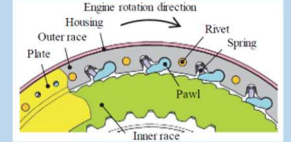


Figure 10-9 ワンウェイクラッチの概念図（エンジンが停止／極低回転時）

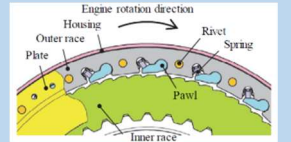


Figure 10-10 ワンウェイクラッチの概念図（エンジンが回転時）

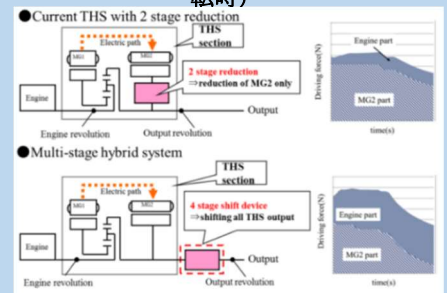


Figure 10-11 FR 車用従来型 THS とマルチステージ THS

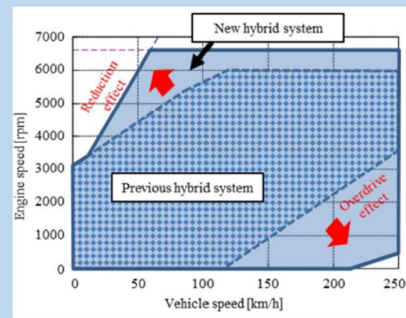


Figure 10-12 マルチステージ化によるエンジン稼働域の拡大

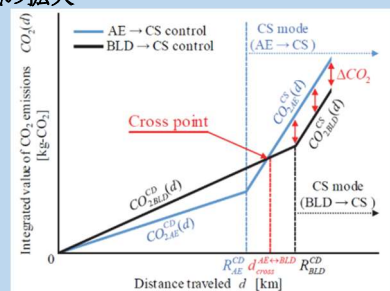


Figure 10-13 走行距離に対する各種 PHEV の CO<sub>2</sub> 排出量

ジ” HEV システム<sup>10-4)</sup>とその制御技術を紹介した。<sup>10-5)</sup>従来のFR車用HEVシステムで、発進から低速領域でモータの回転数の制約からエンジンを高回転域まで使用出来なかった点を改善することがキーである。図10-11に従来のシステムと新システムのブロック図とカバーできる出力域の概要を示す。従来がモータ出力のみを2段変速してトルク増強を図っていたものを、HEVシステム出力全体を4段変速しており、エンジントルクは従来に比べて3.5倍に増幅され、エンジンのダウンサイジングを可能とした。図10-12の車速とそれをカバーするエンジン回転数の図が示すとおり、従来システムより加速末期領域とTHSの電機CVT機能によるオーバードライブ領域が拡充されている。新システムは多段変速としたことで、駆動系に各変速段固有のねじり振動を生じること、変速毎にTHSの変速が必要なことなどの問題があり、これらの課題を制御で解決する方法についても述べている。

PHEVのCO<sub>2</sub>とエネルギーコストの削減率は、補充電までの走行距離に依存し、画一的な評価が難しい。楊らは、国土交通省が定めたPHEVに関する評価指標をベースとしたパラメータによる数式モデルを作成し、充電までの走行距離とCDモード(Charge Depleting mode: 外部充電による電力を消費して走行するモード)での制御(All Electric / Blend 走行等)との関係を明らかにした。<sup>10-6)</sup>以下、紙面の都合で、数式から得られた結果の概要のみを紹介し、数式紹介は省力する。AEモードとブレンドモードの双方が実施できる車両を仮定して、双方のモードで走行した際のCO<sub>2</sub>の総量は図10-13に示すように、ブレンド走行の方が速いペースで増加するが、走行距離の短いAEモード終了後、早めのHEV走行移行によってブレンドモードより排出量が大きくなり、図のクロスポイント以前で再充電する場合はAEが、それ以降ではブレンドモードが有利となる。路線バスなど走行する距離が推測可能である場合、運転者がAE/ブレンドの選択と、ブレンド走行についてはその際のエンジンアシスト程度の調整を可能にすることによって、図10-14に示すようにCDモード移行直前で走行を完了する様に調整することを提案している。

EV用Li電池はセルが大型であることから、セル内での不均一反応や、これによる局所的な劣化の進行が推測されているが、セル内の不均一さは一般に行われている電気化学的手法では把握できず、解体が必須であることが、電池の劣化機構の解析のネックの一つになっている。今回、使用環境下の電池のセル内不均一を把握する手法に関する2件の発表があった。紙面の都合で概要のみを紹介する。真田らは、10Ah級の大型ラミネートLiイオン電池セルの充放電サイクル試験(25°Cと55°C、図10-15の容量試験結果参照)を実施し、試験後の電池の電解液と発生したガスの分析を行い、特定溶媒の分解が生じている可能性が低いことを確認した。<sup>10-7)</sup>その後そのセルを大気に非暴露の状態での解体し、解体した電極の局部部位(図10-16)を用いて構成したハーフセルによる単極容量評価や三極式セルによる充放電結果から、高温時のサイクル試験では正極の容量損失があるものの、主な劣化要因の原因が電池副反応に伴うLi消費や、正極の抵抗増加に伴うLiの戻りにくさなどによる”SOCずれ”であると推測している。

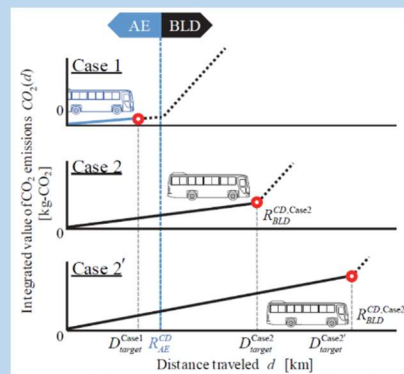


Figure 10-14 エンジンアシスト程度の調整による、異なる予定走行距離(赤丸印)への適合

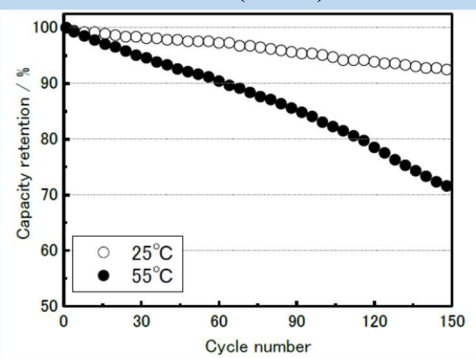


Figure 10-15 2レベルの温度での供試セルの寿命試験結果

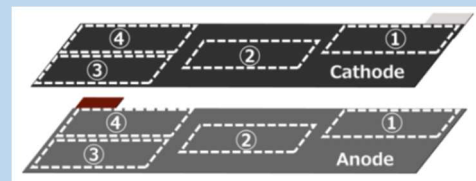


Figure 10-16 極板の試験片サンプル採取位置

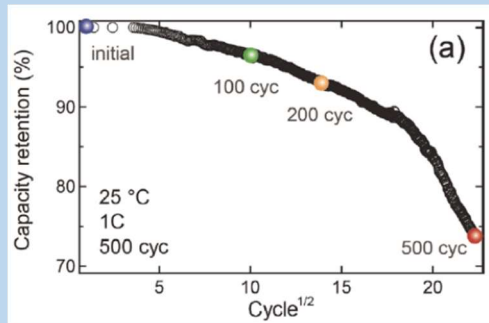


Figure 10-17 供試電池の寿命試験時の残存容量の変化

馬場らは、大型放射光施設 Spring-8 で実施した高エネルギーX線をもちいた operando 共焦点 XRD 測定による、市販円筒形 Li イオン電池 (18650 形, 2.1Ah 級) の不均一反応の解析結果を紹介した。<sup>10-8)</sup> 図 10-17 は環境温度 25°C で実施した充放電サイクル試験で得られた容量で、横軸がサイクルの 1/2 乗であるのでほぼ直線に低下するはずであるが、300 サイクル付近から急激に低下しており、インピーダンスもこの時点で上昇していることから何らかの予期せぬ現象が推測される。分解して得られた結果もこれを裏づけており、また、正極材の SEM 像で 500 サイクル品にクラックがみられ、特に外側が顕著で、得られた情報は相互に納得のいくものであったが、この不均一さが生じる反応は不明であった。そこで三元系の正極についてセル内での反応分布を前述の方法で観察した。その結果、セルの外側では初期に Li の離脱が早く 500 サイクルではそれが遅いことが観察され、電流密度の高い外側で早い Li の脱離・挿入がおこり正極材の劣化を引き起こしていると推測でき、動作環境中での観察の有効性を示せた。(清水)

EV へのワイヤレス給電に関しては充電システム、走行中給電、安全性、規格化の発表が行われた。そのうち走行中給電は 1 セッション全ての 4 編と一つのセッションでの 2 編、フォーラムにも 2 編が取り上げられている。

東京大学は EV 本体から搭載インホイールモータ (IWM) への双方向ワイヤレス給電システムを既に開発しているが、IWM に走行中給電を行う場合には路面に設置した送電コイルと車体下の受電コイル間と車体から IWM 間への 2 回にわたってのワイヤレス給電でのエネルギー損失が課題であった。今回、藤本は路面の送電コイルから IWM に搭載した受電コイルへ直接走行中給電するシステムを報告した (図 10-18)。IWM 部には蓄電デバイスとしてリチウムイオンキャパシタを搭載、回生エネルギーを蓄え力行時にはここから送り出すことでエネルギーロス小さくし、走行必要電力が小さい、あるいは回生電力が大きい場合には、IWM 側から車体の電池にワイヤレス給電をするエネルギーマネジメント制御システムを搭載している (図 10-19)。<sup>10-9)</sup> しかしながら IWM 部に多くの機能を持たすことでのパネ下荷重の増加による乗り心地への影響は検討する必要があると思われる。

走行中給電では数多く並べる地上コイルの設置コストが非常に大きな割合になる。そこで奈良先端科学技術大学院大学は平行二線方式と呼ばれる地上の 2 本の給電線から給電するシステムを開発している。篠山は電磁界シミュレーションにより 13.56MHz, 1.22kW の平行二線から空間に放出される電磁界の定性的分布を確認した上で、150m の平行二線路を実際に構築して給電し検証を行った (図 10-20)。その結果、走路上に周期的に生じて電力供給ができない定在波の節の位置がシミュレーション結果と実測で精度良く一致することを確認した。<sup>10-10)</sup> ただし、総務省から設置許可が下りないため、法令が定める 50W 以下の実験であった。

上記 2 編の磁界結合方式に対し電界結合方式による走行中給電システムの構成と実証結果について大平が発表した。ワイヤレス給電での効率は結合係数  $k$  とコイルの性能係数  $Q$  の積  $kQ$  が支配的であることを示したうえで、実証として 2 本の電極板を 30m にわたってアスファルト内に埋め、総務省の許可を得た上で

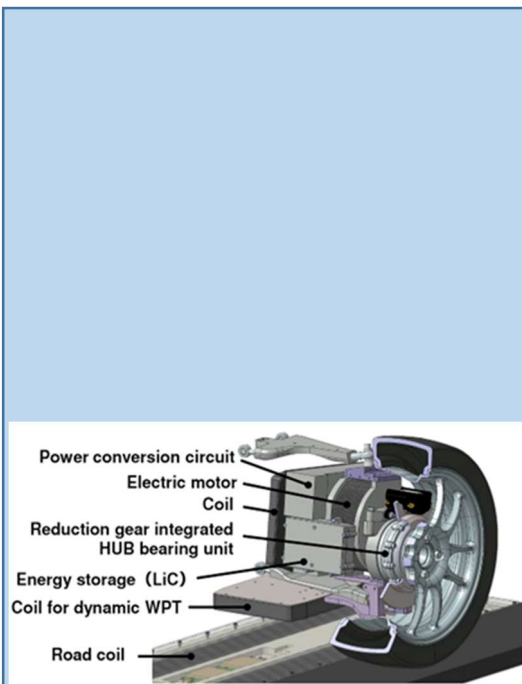


Figure 10-18 IWM 部の構成

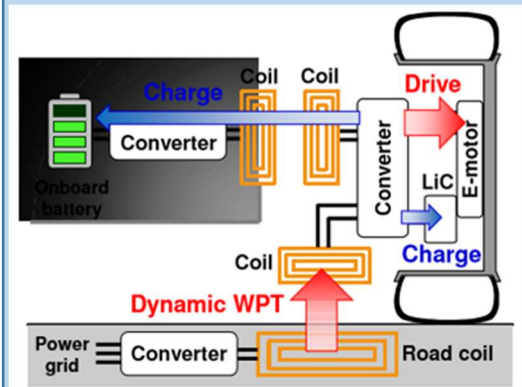


Figure 10-19 エネルギーマネジメント制御の1例



Figure 10-20 平行二線路のコイル構成



13.56MHz, 5kW を印加して小型 EV への走行中給電を実施し, 10km/h の速度で走らせることに成功した。<sup>10-11)</sup>ただ, 車軸や地中電極の絶縁と雨に対する安全性検討はこれからとのことである。

ワイヤレス給電ではないが, 接触式走行中給電 (図 10-21) が田島から発表されたので紹介する。送電側はガードレールに取り付けられた 1 対のトロリー線電極に DC750V, 750kW を印加している。充電側は充電時に車両の床下からスイングして張り出すことで送電電極に接触する集電アームとその先端のローラー状の 1 対の集電電極から構成される (図 10-22)。伝達距離 0.1~1.3m, 充電車速 100km/h, 充電時間 70 秒間 (距離 2km) の実証を目標に台上試験を行った結果, 450kW の電力が得られた。<sup>10-12)</sup>ただ, 車両により異なる車高での充電対応については言及が無く, 大きな課題と思われる。

3 月に発刊された JSAE エンジンレビューの非接触給電特集号での走行中給電技術<sup>10-13)</sup>において, 海外の実証実験では自動車会社や部品会社が乗用車, バス, トラックなどに通常の静止充電用受電コイルを搭載して, それへの給電を行っていて, EV の標準化が決まり, Option でもワイヤレス給電システムが搭載されればいつでも走行中給電に向かえる体制になっている。しかし, 日本では自動車会社や部品会社などは手を出さず, 大学での独自の研究実験が主で, この分野でも後れを取っている。(高橋)

#### 【参考文献】

- 10-1) 藤田 勇樹, 黒澤 崇央, 風間 勇, 河合 恵介, 羽二生 倫之: 新型コンパクトカー用ハイブリッドシステム, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175051, 2017
- 10-2) 石川 強志, 鶴島 理史, 赤尾 栄一: Engine in the loop を活用したシリーズハイブリッド車の開発, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175290, 2017
- 10-3) 鈴木 陽介, 西峯 明子, 宮坂 賢治, 馬場 伸一, 土田 充孝, 遠藤 弘淳, 山村 憲弘, 宮崎 知之: コンパクト車用プラグインハイブリッドトランスアクスルの開発, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175286, 2017
- 10-4) 州濱 将圭, 大島 康嗣, 安藤 郁男, 高橋 政克, 加藤 春哉, 宮本 知彦, 奥田 弘一, 井上 重行: プレミアムクラスに求められる動力, 感性に訴える性能と燃費を両立するマルチステージハイブリッドシステムの開発, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175073 広瀬拓, 中川二彦, 千阪秀幸: 空調機統合型電気自動車の評価, 自動車技術会 2016 年秋季学術講演会講演予稿集, No. 20166362, 2017
- 10-5) 加藤 春哉, 安藤 郁男, 大島 康嗣, 土田 康隆, 須貝 昌也, 古田 秀樹, 熊田 拓郎: マルチステージハイブリッドシステム制御技術開発, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175055, 2017
- 10-6) 楊 イ翔, 鈴木 智大, 紙屋 雄史, 大聖泰 弘: プラグインハイブリッド自動車における低炭素効果とエネルギーコスト削減効果の走行距離依存性に対



Figure 10-21 接触式走行中給電の構想図

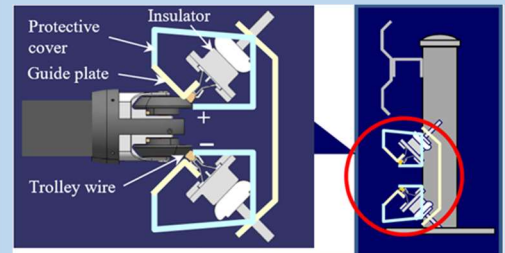


Figure 10-22 集電メカニズム

する考察, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175081, 2017

10-7) 真田 貴志, 本田 善岳, 沼田 俊充, 馬場 輝久, 志賀 雄之, 今井 英人: 大型セルを用いた車載用リチウムイオン二次電池の解析, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175397, 2017

10-8) 馬場 輝久, 高尾 直樹, 伊藤 孝憲, 本田 善岳, 松本 匡史, 今井 英人, 秦野 正治: オペランド高エネルギー共焦点 XRD による円筒電池の反応分布解析, 自動車技術会 2017 年春期学術講演会講演予稿集, No. 20175399, 2017

10-9) 藤本 博志, 竹内 琢磨, 畑 勝裕, 居村 岳広, 佐藤 基, 郡司 大輔: 走行中ワイヤレス電力伝送に対応した第 2 世代ワイヤレスインホイールモータの開発, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175050, 2017

10-10) 築山 大輔, 後藤 義和, 鶴田 義範, 伊勢 正尚, 関口 貴郎, 東野 武史, Quang-thang Duong, 岡田 実: 平行二線方式および磁界共鳴方式を用いた無線給電による電気自動車への走行中給電実証, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175444, 2017

10-11) 大平 孝: 世界発バッテリーレス電気自動車, 自動車技術会 2017 年春季大会フォーラム 20174395, 2017

10-12) 田島 孝光, 田中 秀興, 野口 涉, 有賀 友恒: 走行中給電システムの研究, 自動車技術会 2017 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20175054, 2017

10-13) 高橋 俊輔: 電動車両用の次代充電インフラ 走行中給電技術の展望, JSAE エンジンレビュー Vol. 7 No. 2, 特集号(2017)