

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 7 No. 1 2017

JSAE エンジンレビュー

Report :自動車技術会 2016 年春季大会



公益社団法人 **自動車技術会**

- コラム: ● 自動車石油業界共同研究: 1
Japan Auto Oil Program
金子 タカシ(JX エネルギー株式会社)
- Report: 自動車技術会 2016 年春季大会 2
Report of JSAE Annual Congress, Spring
飯島 晃良, 遠藤 浩之, 清水 健一, 下田 正敏, 野口 勝三, 村中 重夫(編集委員)
畔津 明彦(東海大学), 伊東 明美(東京都市大学), 河原 伸幸(岡山大学),
三原 雄司(東京都市大学), 古谷 博秀(産業技術総合研究所)

■ 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 (三菱重工業エンジン&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(JX 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 (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)
山口 恭平 (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: 2017 年 1 月 31 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. 7 No. 1 2017

●コラム

自動車石油業界共同研究

Japan Auto Oil Program



金子 タカシ
Takashi KANEKO

JX エネルギー株式会社
JX Nippon Oil & Energy Corp.

JATOP (Japan Auto Oil Program) は、経済産業省の支援のもと、石油エネルギー技術センターが実施している自動車業界と石油業界の共同研究プログラムである。その目的は、大気環境保全・改善を前提として、地球環境問題 (CO₂ 削減) への対応、エネルギーセキュリティの確保、さらには自動車・燃料利用者の利便性確保を視野に入れた最適な自動車・燃料利用技術の確立・評価を行うことにある。

前身の JCAP 開始されたのが 1997 年度であり、これまでに JCAP I が 5 年間(1997~2001 年度)、JCAP II が 5 年間(2002~2006 年度)、JATOP I が 5 年間 (2007~2011 年度)、JATOP II が 3 年間 (2012~2014 年度) 実施されてきた。現在は JATOP III (2015~2017 年度の予定) を実施中であり、実に 20 年間の長期に亘るプログラムである。私は入社以来、燃料技術、燃料品質の業務に携わってきたが、この JCAP、JATOP については、JCAP 立ち上げ時からの長い付き合いになる。

JATOP の前身の JCAP は Japan Clean Air Program の略称であり、これは当時の自動車における最重要課題が排出ガスのクリーン化であったことから、自動車排出ガス低減による大気改善を主な課題としていたプログラムであった。JCAP では、ガソリン、軽油の低硫黄化による排出ガスのクリーン化 (NO_x, PM 低減) および燃費向上効果を確認した。これらの技術的知見は、石油業界の自主対応 (2005 年 1 月) による世界に先駆けたガソリン、軽油のサルファーフリー化 (S10ppm 以下) の実現に寄与した。これを受けて、サルファーフリー燃料を前提とした自動車排出ガス浄化装置の能力強化が図られ、自動車排出ガスの大気中の NO_x や PM への寄与は大幅に低減し、大気環境が改善された。

JCAP から JATOP に名称が変更され、内容も、大気環境改善だけでなく、いわゆるエネルギーの 3E (供給安定性、環境適合性、経済合理性) を考慮したより幅広い課題を取り上げることになった。JATOP I では主にバイオ燃料について研究し、バイオディーゼル燃料やバイオエタノール利用にあたっての技術的な課題を明らかにした。

JATOP II および JATOP III では、ガソリン、軽油への分解系留分の活用拡大について検討している。燃料油 (石油製品) は連産品であり、原油からはガソリン、軽油だけでなく、灯油、ジェット燃料、A 重油、C 重油等が同時に生産される。今後、燃料油の総需要は減少し、需要構成が白油化 (重油の需要減が大きく、ガソリン、軽油の比率が相対的に大きくなる) していく中では、重油を分解してガソリン、軽油として利用することが、原油の有効活用、エネルギーの安定供給の観点から重要となる。JATOP II では軽油中の分解系留分が大幅に増加した場合の技術的課題を明らかにした。JATOP III では、これらの技術的課題への対応策を検討するとともに、ガソリンへの分解系留分の活用拡大について検討しているところである。

このように JCAP、JATOP の検討対象は、都市環境問題、地球環境問題、エネルギー資源問題といった自動車と直面する最重要課題に関するものである。JATOP における議論においては、自動車側、石油側で志向する方向性が異なることもある。自動車と燃料とは緊密な関係にあり、対立するのではなく、自動車・燃料を利用する消費者の視点、さらには国民視点に立って、課題への対応策を考えていくことが重要と思う。

自動車技術会 2016 年春季大会

2016 JSAE Annual Congress (Spring)

主催：公益社団法人自動車技術会
会期：2016年5月25日（水）～5月27日（金）
会場：パシフィコ横浜・会議センター

飯島 晃良，遠藤 浩之，清水 健一，下田 正敏，野口 勝三，村中 重夫（編集委員）
畔津 明彦（東海大学），伊東 明美（東京都市大学），河原 伸幸（岡山大学），三原 雄司（東京都市大学），
古谷 博秀（産業技術総合研究所）

Akira IJIMA, Hiroyuki ENDO, Ken-ichi SHIMIZU, Masatoshi SHIMODA, Katsumi NOGUCHI, Shigeo MURANAKA
(JSAE ER Editorial Committee)

Akihiko AZETSU (Tokai University), Akemi ITO (Tokyo City University), Nobuyuki KAWAHARA (Okayama University),
Yuji MIHARA (Tokyo City University), Hirohide FURUTANI (National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology)

1 先進のディーゼル燃焼・計測・解析技術

同志社大院，巽らは「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1報)」¹⁾—噴射圧力が熱流束に及ぼす影響—と題して講演を行った。ディーゼル機関における壁面熱損失は，噴霧火炎の衝突により壁面付近の温度場や流れ場が大きく変化し壁面への熱伝達に寄与する。対流熱伝達による熱損失量は，熱伝達率，火炎温度，壁面温度，火炎の接触面積および接触時間の物理因子により決定される。しかしながら，噴霧燃焼においては各物理因子間にはトレードオフの関係があるので，熱損失を低減するためには各物理因子と噴射条件およびノズル諸元等の制御パラメータの相関を詳細に把握する必要がある。本研究では噴射圧力について着目しパラメータスタディを行った。そして，衝突噴霧火炎による熱損失のメカニズムを解明し，制御パラメータおよび火炎における物理因子の相関性の把握を試みた。

本実験では高温・高圧のディーゼル霧気場における噴霧火炎の壁面衝突を模擬できる壁面挿入型定容燃焼装置を用いた。図 1-1 に実験装置の概略図を示す。また図 1-2 に示すように熱電対を壁面にノズル直下から半径方向へ 10mm ごとに直線上に埋め込んだ。Point-1 は最も中心部の測定点を示し，Point-4 は最も外縁の測定点を示す。各測定点から算定した熱流束を壁面中心に対して同心円状に面積・時間積分することで熱損失量を算定した。図 1-3 に化学種自発光計測および輝炎の同時撮影で用いた光学系の概略図を示す。本研究では，火炎の濃度により変化する輝度むらをとらえ，画像相関法を用いて解析し空間平均火炎流速を算定した。火炎温度の算出には二色法温度解析を用いた。

図 1-4 に P_{inj} を変化した場合の熱発生率および累積発生熱量の時間履歴を示す。 P_{inj} が上昇するに伴い，熱発生率の最大値が増加し，燃焼期間が短縮している。これは P_{inj} の上昇により燃料噴射率が増加したためと考えられる。累積熱発生量の増加は， P_{inj} の上昇により，エンタレインメントが増加するとともに噴霧の微粒化が進み，燃料と周囲機体との混合が促進されたため，燃焼が改善したと考えられる。

図 1-5 に P_{inj} を変化した場合の各測定点における熱流束の時間履歴を示す。この図より P_{inj} が上昇するにつれて各測定点における熱流束のピーク値が高くなっている。各測定点のピーク値は Point-1 から Point-4 に向かうにつれて減少している。図 1-6 に P_{inj} を変化した場合の熱損失量 (Q_{loss}) を示す。この図は 15ms までの熱損失量を示している。図 1-6 より， P_{inj} が上昇するにつれて 15ms までの熱損失量は増加している。また図 1-6 の右に P_{inj} が 150MPa の場合の火炎半径方向に対する熱流束を示すが，壁面中心での熱流束が最も大きい結果となった。制御パラメータである P_{inj} が熱損失に与える影響を定量的に評価するため，15ms までの熱損失に対する P_{inj} の指数相関を算出した。図 1-7 から熱損失に対する指数値 α は $\alpha = 0.15$ となる。

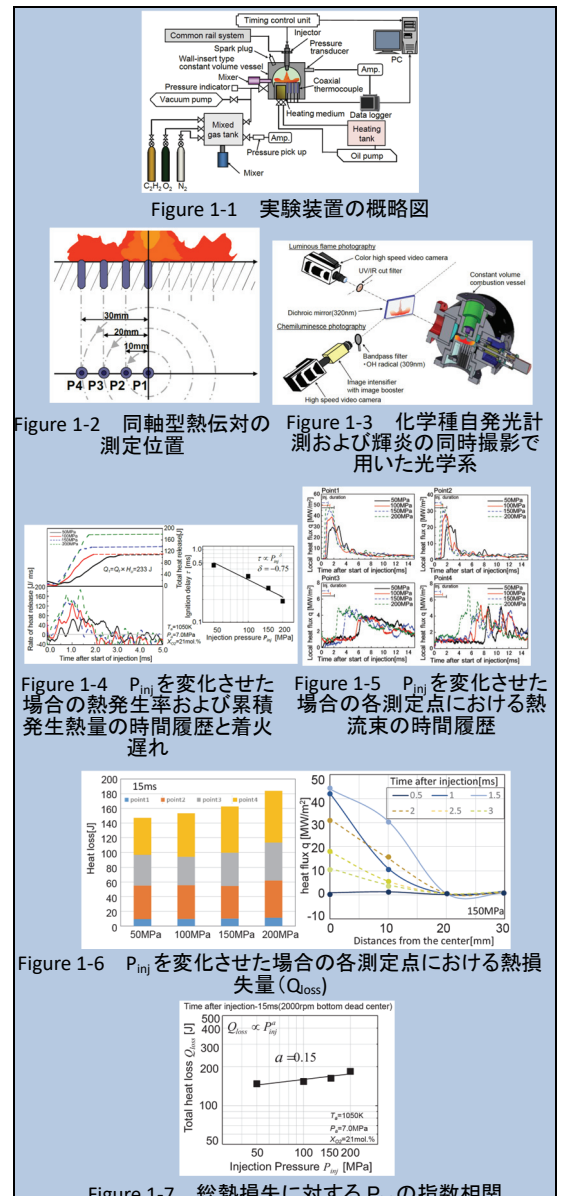


Figure 1-7 総熱損失に対する P_{inj} の指数相関

図 1-8 に各熱流束測定点直上の 3mm×3mm の領域における空間平均火炎流速(u)の時間履歴を示す。この図よりすべての測定点において、 P_{inj} が上昇するにつれて火炎流速が高い値を示している。これは P_{inj} の上昇による燃料噴出速度の上昇によるものと考えられる。火炎流速は Point-1 から Point-3 に向かうにつれて減少している。これは壁面による摩擦および周囲気体との運動量交換により、速度が減衰したためと考えられる。図 1-9 より壁面近傍における空間および時間平均火炎流速(u_{ave})に対する P_{inj} の指数値は $b=0.73$ となった。ここで、流速と P_{inj} の関係はベルヌーイの式より、 $b=0.5$ となるが火炎温度の上昇により、火炎が膨張するため指数相関が $b=0.73$ になったと考えられる。

図 1-10 に P_{inj} を変化させた場合の各熱流束測定点直上の 3mm×3mm の領域における空間平均火炎温度(T_{flame})の時間履歴を示す。すべての測定点において、 P_{inj} が上昇するにつれて火炎温度は上昇している。これも、 P_{inj} の上昇に伴う燃料噴射率の増加により、燃焼率が増加したためと考えられる。また、各測定点における火炎温度は Point-1 から Point-3 に向かうにしたがって上昇しており、時間経過に対しても上昇している。これは火炎外縁部において周囲気体を活発に取り込み、燃焼が促進されたためと考えられる。図 1-11 より壁面近傍における空間および時間平均火炎温度($T_{flame,ave}$)に対する P_{inj} の指数値は $c=0.027$ となった。そのため火炎温度に対する P_{inj} の影響度は低いことが推察される。

図 1-12 に P_{inj} を変化させた場合の OH ラジカルおよび輝炎の撮影画像を示す。この図より、輝炎が観察されなくなった後も不輝炎が壁面近傍で対流しているの、輝炎画像では火炎の壁面上の接触面積および時間を評価するのが困難であるため、主に高温反応領域である OH ラジカルに着目し、不輝炎領域を含めた燃焼反応領域について評価した。図 1-13 左に OH ラジカルの撮影画像より算出した火炎の壁面上の接触面積(A_{rea})の時間履歴を示す。また、火炎の壁面上の接触面積の時間積分値($Area \cdot \Delta \tau$)と P_{inj} の関係を図 1-13 右に示す。この図より火炎の壁面上の接触面積の時間積分値($Area \cdot \Delta \tau$)に対する P_{inj} の指数値 d は $d=-0.27$ となった。そのため火炎の壁面上の接触面積および時間に対する P_{inj} の影響度は大きな負の相関になることが推察される。

以上のことより熱流束および熱損失量に関する総合的な考察を行う。

P_{inj} の上昇に伴い、各測定点における熱流束のピーク値が高くなっている。これは図 1-9 および図 1-11 の結果より、 P_{inj} が上昇するにしたがって、火炎流速が大きく、火炎温度が高いため、熱流束のピーク値が高くなると考えられる。また図 1-5 より Point-1 から Point-4 に向かうにつれて熱流束の最大値が減少している。火炎温度に関しては図 1-10 および図 1-11 より火炎外縁部において燃焼が活発に行われており、火炎温度が高い結果となっている。視界火炎流速は図 1-8 および図 1-9 より Point-1 から Point-4 に向かうにつれて減少している。このことから熱流束は火炎流速が支配因子であることが考えられる。

また、図 1-6 より 15ms までの熱損失は Point-4 が大きな割合を占めている。この結果から燃焼終了後に高温ガスが残存した乱れにより外縁部で熱伝達を行い、熱損失に大きく寄与することが分かる。

次に、図 1-7 の熱損失に対する P_{inj} の指数値 $\alpha (=0.15)$ に対して Newton の冷却則における各物理因子が及ぼす影響について考察する。図 1-14 に熱損失を支配する各物理因子に対する P_{inj} の指数値を示す。この図より、 P_{inj} を変更させた場合において、火炎流速および火炎の壁面上接触面積および時間が熱損失の指数相関に対してトレードオフの関係になるものの、火炎流速による影響が支配的となり、最終的に熱損失量に対する P_{inj} の影響度は正の相関になると考えられる。(下田)

最近のディーゼルエンジンにおいては、最適化するパラメータが多く、さらに過渡や環境条件が変化した場合も所定の性能・排ガスを維持する必要があるため、その適合工数は非常に大きくなってきている。これを緩和する手段の一つとして適合作業時の燃焼シミュレーションの適用や、エンジン制御コントローラに燃焼モデルを組み込むことなどが行われてきている。これらの適合やコントローラに組み込む燃焼計算は、三次元 CFD をベースとした手法では計算負荷がかかり過ぎるため、現象論モデルをベースとし、高速で計算できる解析技術が目ざされている。また現象論的アプローチを相似設計につなげる挑戦も行われている。本大会では現象論的アプローチを用いた 3 件の注目される発表があったので紹介する。

産業技術総合研究所の小島ら¹⁻²⁾は、一次元噴霧モデルを用いる手法を基盤に簡略ディーゼル燃焼モデルの構築を行った。Musculus らの一次元噴霧計算を基礎とし、一次元方向にセ

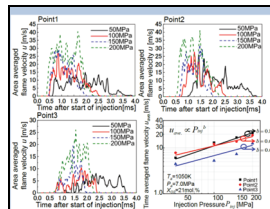


Figure 1-8 各熱流束測定点直上の 3mm×3mm の領域における空間平均火炎流速 (u) の時間履歴

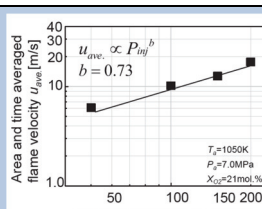


Figure 1-9 壁面近傍における空間および時間平均火炎流速 (u_{ave}) に対する P_{inj} の指数相関

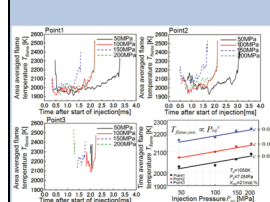


Figure 1-10 P_{inj} を変化させた場合の各熱流束測定点直上の 3mm×3mm の領域における空間平均火炎温度 (T_{flame}) の時間履歴

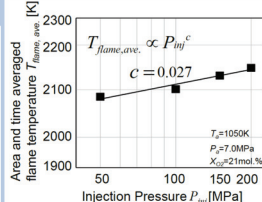


Figure 1-11 壁面近傍における空間および時間平均火炎温度 ($T_{flame,ave}$) に対する P_{inj} の指数相関

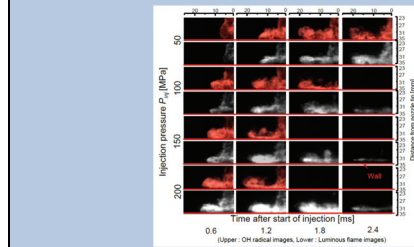


Figure 1-12 P_{inj} を変化させた場合の OH ラジカルおよび輝炎の撮影画像

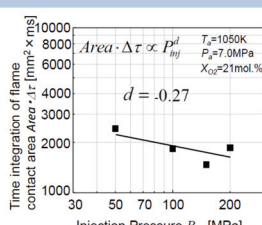
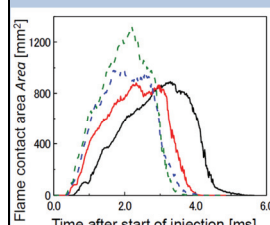


Figure 1-13 OH ラジカルの撮影画像より算出した火炎の壁面上の接触面積 (A_{rea}) の時間履歴および火炎の壁面上の接触面積の時間積分値 ($A_{rea} \cdot \Delta \tau$) と P_{inj} の指数相関

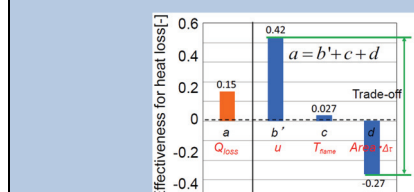


Figure 1-14 熱損失を支配する各物理因子に対する P_{inj} の指数値

ル分割し、セル内の混合、着火、燃焼を解析していく。噴霧内の混合分率 f を確率密度関数 (PDF) で記述し、その時間変化を二体衝突再分散モデルで計算する。着火遅れの予測には Schreiber らの五段準総括反応モデルを用いた。セル内で着火した後の燃焼割合は Wiebe 関数で与え、熱損失割合は Woschni の経験式を用いている。解析結果と実験結果を比較した結果を図 1-15 に示す。混合律速である高負荷条件では解析は良く実験と一致しているが、着火遅れの大きくなる低負荷条件では、着火遅れの予測精度が不足し、実測との乖離が大きい結果となっている。今後、着火遅れが長い条件での予測精度の向上が期待される。

同志社大学の山本ら¹⁻³⁾は、現象論的モデルをベースに統計的手法を組み合わせることで高精度化を図っている。解析モデルの概要について説明する。解析は熱発生率予測モデル、噴霧モデル、燃焼モデル、エミッションモデルの四つのモデルから構成されている。熱発生率予測モデルは三つの Wiebe 関数を組み合わせることで熱発生率を算出している。この場合、15 個のパラメータの決定が必要となる。パラメータ決定のために単気筒エンジン実験を実施している。実験は Latin Hypercube Sampling (LHS) 計画によって実験点を選択し、100 点のモデル作成用データを採用した。この 100 点における熱発生率の実測値と Wiebe 関数による予測値の誤差二乗和が最小となるように 15 個のパラメータを決定した。噴霧モデルにおいては噴霧領域を 3 分割し、噴霧先端到達距離と分裂長さは廣安らの式で算出し、噴霧への空気導入は和栗の運動量理論を考慮した。燃焼モデルにおいては熱発生率のピークまでを予混合燃焼、その後を拡散燃焼として取り扱った。エミッションモデルにおいては、NO_x の予測は拡大 Zeldovich 機構を用い、Soot モデルは Hiroyasu モデルを用い、すすの酸化反応速度は Nagle らのすす酸化モデルを採用した。解析結果と実験結果を比較した結果を図 1-16 に示す。解析結果の熱発生率は Wiebe 関数を用いていることから着火後の急激な熱発生率の立ち上がりを再現できていないものの、コモンレール圧力の変化に伴う変化を再現できている。また図 1-17 に示すエミッションの予測精度も向上している。この様な統計的手法と現象論的モデルを組み合わせる手法は、モデルベース開発においては有効な技術であるため、今後の精度向上に期待したい。

豊田中央研究所の稲垣ら¹⁻⁴⁾は熱損失の相似性に注目した取り組みの内容を第 4 報として発表した。単位噴射量あたりの通過熱量について相似条件を用いると、次式が得られる。ここで Q_{heatloss}/m が単位噴射量あたりの熱通過量であり、 r が相似比、 n が実験定数である。また添え字 S, L はそれぞれのエンジンサイズを示す。

$$\frac{\left(\frac{Q_{\text{heatloss}}}{m}\right)_S}{\left(\frac{Q_{\text{heatloss}}}{m}\right)_L} = r^{2n-2}$$

本式によると熱損失の比は運転条件に依存しないことが分かる。次に相似エンジンを用いて実験定数 n の同定を行った。この結果を図 1-18 に示す。IMEP を変化させた 3 点の実験を基に実験定数 n を同定するとおおよそ 0.4 となり、運転条件に依存しない普遍性が確認された。また Woschni 式では小径化による熱損失増加が過小評価されることが分かった。稲垣らの一連の取り組みは、サイズの異なるエンジンの設計を行う際に非常に参考となる内容である。

今回紹介した 3 件の取り組みは、現象論、理論に基づいた積み上げで地道にディーゼル燃焼をモデル化しようとする試みであり、現象の理解にも役立つ大変興味深い内容である。(遠藤)

【参考文献】

- 1-1) 巽 健, 前田 篤志, 宮田 哲次, 小橋 好充, 桑原 一成, 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 1 報)-噴射圧力が熱流束に及ぼす影響-, 自動車技術会 2016 春季大会予稿集, p.1698-1703, 2016
- 1-2) 小島 宏一, 川那辺 洋: 1 次元噴霧発達モデルに基づく簡略ディーゼル燃焼モデルの検討, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, p.1686, 2016
- 1-3) 山本 基太, 川島 龍一郎, 加藤 直樹, 松村 恵理子, 千田 二郎, 北村 泰隆, 佐藤 正浩, 湯浅 弘之, 加藤 彰: 統計的手法と物理法則を組み合わせたディーゼル燃焼モデルの構築(第 1 報), 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, p.1692, 2016
- 1-4) 稲垣 和久, 水田 準一, 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 4 報)熱損失の相似性に関する実験および理論的考察, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, p.1704, 2016

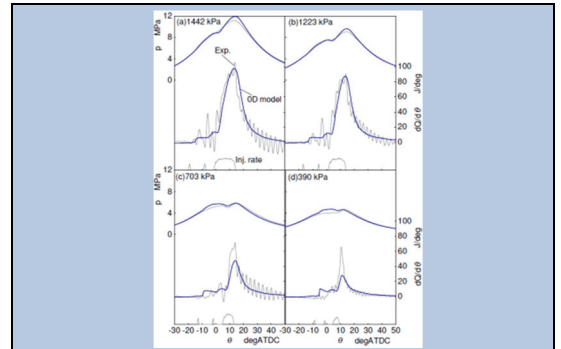


Figure 1-15 筒内圧力および熱発生率履歴の解析と実験の比較

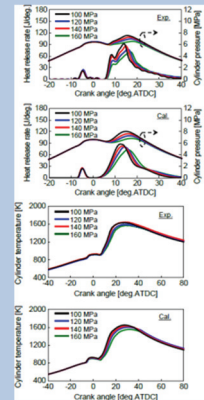


Figure 1-16 コモンレール圧力を変化させた場合の熱発生率、筒内圧力、筒内温度の実測と解析の比較

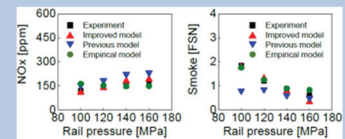


Figure 1-17 コモンレール圧力を変化させた場合の NO_x と Smoke の実測と解析の比較

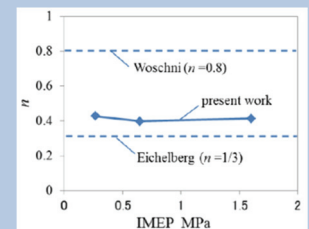


Figure 1-18 三つの異なる運転条件におけるヌセルト数のレイノルズ数に対する依存性

2 ディーゼル燃焼

早稲田大学・足立らは「詳細な素反応過程を考慮したLESによるディーゼル噴霧火炎内の局所温度分布解析」²⁻¹⁾と題して講演を行った。内燃機関の数値解析においては燃焼室内の圧力と平均的な比熱から求まる熱発生率の履歴を対象に熱発生過程の予測精度を検証する例が多く、局所温度やその履歴に注目して解析の妥当性を検証している例は少ない。本報では明治大、相澤らにより図 2-1 に示す実験装置を用いて計測された非定常噴霧火炎内部の直接温度計測結果との比較を行い、LES による局所温度分布予測に関して時間的、空間的な検証を行った。

図 2-2 に相澤らが行った非定常噴霧火炎の温度計測における、噴霧軸上の各計測位置の温度履歴を示す。グラフ中の数字はそれぞれ噴口からの距離である。この図より噴口から 40mm と 50mm においては、燃料の蒸発潜熱により燃料噴射開始から 1ms 経過するまでに温度低下が始まり、初期温度から 100–300K 低下した後上昇傾向に転ずる。燃料噴射開始後 9ms までに噴口から 40mm では初期温度である 1200K の水準まで、50mm では初期温度より 200K 高い約 1400K に達する。また 60mm では同時刻までに 1500K に達し、全体的には 40–60mm にかけて段階的に温度が上昇する。噴口より 60mm 以上離れた位置では、蒸発潜熱による明確な温度低下はみられず、噴口に近い位置から順次上昇する。燃料噴射終了後の温度は噴霧上流側から順次急峻な上昇を示しており、このことから噴霧上流域より熱発生が活発になっていると推察される。

図 2-3 に燃料分裂モデル定数の調整(燃料粒子の蒸発率に影響)を施して非定常噴霧火炎内の温度予測を行って得られた、各所温度履歴を示す。噴口から 40mm および 50mm における温度の履歴は、蒸発潜熱によりそれぞれ 200K、50K 程度低下する。その後次第に温度が上昇し 9ms 経過するまでに 40mm では 1264K まで上昇し、50mm および 60mm では実験結果と同等の 1400K、1497K にそれぞれ達している。また、いずれの計測位置においても、燃料噴射終了直後から急峻な温度上昇を確認できる。全体的には、計算結果図 2-3 は、温度計測結果である図 2-2 に示される特徴をとらえているといえる。

図 2-4 に噴霧軸に直交方向の温度分布の実験結果と計算結果を併せて示す。実験結果では、噴霧軸方向 40mm の位置で噴霧軸から噴霧外縁に向かって急峻な温度勾配を示し、概ね噴霧軸から 5mm 離れた位置で温度が最も上昇し 1820K に達する。とりわけ、噴霧軸より 2–4mm にかけての温度勾配が大きい。噴霧軸方向 60mm の位置では噴霧軸から 6mm で最も温度が上昇し約 1920K に達すること、また噴霧軸近傍と噴霧外縁の高温反応帯との温度差が減少し、温度勾配が小さくなる傾向がある。計算結果では、噴霧軸方向 40mm と 60mm だけであるが上述の実験結果の特徴をとらえており、噴霧軸近傍と噴霧外縁の高温反応帯が分布する領域を概ね再現しているものと考えられる。

図 2-5 は、液相のペネトレーションの時間履歴であり、各時刻で噴孔からの飛翔距離が最も長い液滴を対象にしている。この図より、計算で示された液相ペネトレーションはおよそ 16–20mm であることが分かる。図 2-6 に、化学発光反応に関する素反応群を組み込んだ反応スキームにより見積もる OH ラジカルの空間分布を示す。縦軸は、OH ラジカルの最高濃度に対する割合を示しており、横軸には、それぞれの割合に達する最も上流側の噴霧軸方向距離を示している。この図より、噴孔から 18mm までは比較的急な勾配で OH ラジカルの濃度が上昇し、それより噴霧下流側では穏やかな上昇である。この位置は、紫外自発光観察実験より推定されるリフトオフ長が約 20mm であることから、OH ラジカルの濃度が高くなる噴孔からの距離としては実験結果と定性的に類似する傾向とも言える。ただし、リフト長に関しては検証方法も含めてさらに検討を要する。

本研究により得られた知見は、非定常噴霧火炎内部の熱発生現象を把握するためには、ペネトレーションだけでなく噴霧コアでの燃料液滴の蒸発過程にも配慮が必要であり、さらに、LES により大少スケールの渦の影響を扱うことで高温の既燃ガスにより促される熱発生の影響を反映でき、非定常噴霧火炎の噴霧軸方向、および直交方向の温度分布を概ね再現出来た。NOx や Soot 等の反応生成物を予測するためには、噴霧のコアと外縁の高温反応帯との間の微小な空間における温度分布を解像することが重要といえる。(下田)

【参考文献】

2-1) 足立 隆幸, 周 ペイニ, 草鹿 仁, 大聖 泰弘, 相沢 哲哉: 詳細な素反応を考慮した LES

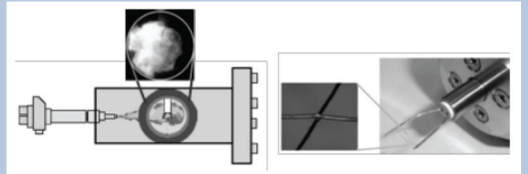


Figure 2-1 50 μm thin-wire type-R 熱電対を用いた火炎温度測定に用いた実験装置

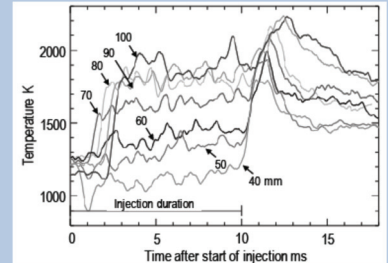


Figure 2-2 thin-wire 熱電対による噴霧軸上の温度履歴

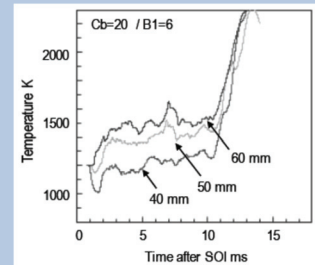


Figure 2-3 噴霧軸上の各位置における温度履歴

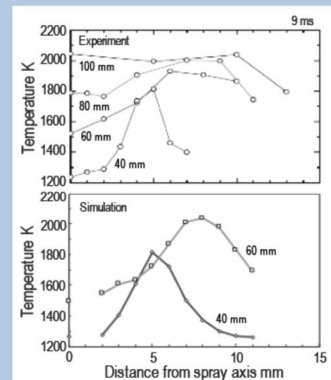


Figure 2-4 噴霧の半径方向の温度分布

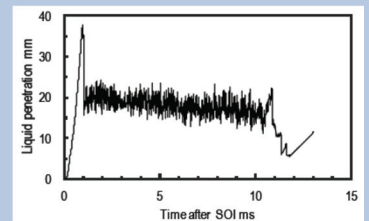


Figure 2-5 液相ペネトレーション

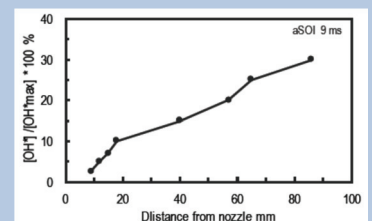


Figure 2-6 OH ラジカルの相対的濃度の空間分布

によるディーゼル噴霧火炎の局所温度分布解析, 自動車技術会2016年春季大会予稿集, p745-748, 2016

3 火花点火エンジン

大会初日, 先進ガソリン機関技術 I・II に続き, 同一講演会場にて火花点火エンジンのセッションが開催された。本セッションでは, 六つの講演が行われ, その中から 1 論文を紹介する。

日立オートモティブシステムズの緒方らは, 「EGR 燃焼エンジン向け高エネルギー点火システムの検討(第2報)」³⁻¹⁾と題して講演を行った。本研究では, 高エネルギー点火コイルに着目し, 高負荷条件での EGR 限界拡大効果, 点火消費電力を考慮した燃費低減効果, そのメカニズムについて考察している。表 3-1 に本研究で使用した点火コイルの諸元を示す。図 3-1 を用いて, 本研究における EGR 限界の定義を説明する。50% 燃焼質量割合(MFB50)の変化に応じて, COV_{imep} とノッキング指標(最大ノッキング振幅)が増減する傾向の一例を示し, ここでは燃焼変動限界値として COV_{imep} 閾値を 2%, ノッキング限界値として最大ノッキング振幅閾値(以下, KA_{max})を 50kPa としている。そのいずれかの閾値を上回る EGR 率条件を燃焼安定性不成立とし, その直前の EGR 率条件を EGR 限界と定義したとのこと。図 3-2 に各コイルの EGR 限界性能を示す。二次エネルギーを増加させることで, EGR 限界が拡大することを示している。図 3-3 に各コイルを用いた際の BSFC 性能を示す。コイル C と D は, 同一 MFB50 において BSFC が異なり, コイル C の方が小さい値となった。この要因を明らかにすべく燃焼解析を行ったところ, コイル C の最高筒内圧はコイル D より高く, 図示熱効率が優れる結果を得たという。また燃焼期間で見てもコイル C は MFB0-10 および MFB10-90 両方がコイル D より短縮されている。従って同一二次エネルギーを発生するコイルであっても, 短時間に二次エネルギーを投入可能な放電波形の方が, 燃焼改善に有効であることが示唆されたとしている。図 3-4 に点火コイルの電力消費を考慮した燃料消費率を示す。コイル D では, 前述の燃焼期間が長いこと起因して, EGR 限界拡大効果が目減りする結果となった。図 3-5 に各コイルの最大放電伸張距離の測定結果を示す。点火コイルの最大二次電流の増加に伴い最大放電伸張距離が延長する傾向が見られた。さらに最大二次電流が高いコイル C では, 強い発光が中心電極近傍から発生したと説明があった。その放電伸張挙動により, 伸張する放電路の周囲に火炎核が形成されるため, 電極などの壁面部から離れ, 火炎核が失う熱量が低減し, 火炎形成が促進すると推測。その結果同一 EGR 条件でのコイル C の燃料消費率が, コイル D より良好になったと考察している。(野口)

3-1) 緒方 健一郎, 片岡 徹夫, 鈴木 俊靖, 窪山 達也, 森吉 泰生: EGR 燃焼エンジン向け高エネルギー点火システムの検討(第2報), 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165155

4 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および技術開発に関する講演が, I~IV の四つのセッションで行われた。ここでは, 初日に行われた先進ガソリン機関技術 I・II のセッション, 12 講演の中から 2 論文を紹介する。

日産自動車の志方らは, 「新型 V6 直噴ターボエンジンの燃焼開発 -CFD を用いた燃焼設計による高出力・高効率・低排気の実現-」⁴⁻¹⁾と題して講演を行った。今回の開発では, 各燃焼室構成部品に対して, 性能目標からブレークダウンして数値化した CFD 上の中間指標を設定し, それらのトレードオフを机上で解き設計することで, 高次元でバランスさせた燃焼設計を実現することができたという。その新型 V6 直噴ターボ 3.0L エンジンと, 従来の自然吸気 3.7L エンジンの主要諸元を表 4-1 に示す。電動可変弁機構やターボ回転センサなどの採用で, インターセプト 1600rpm, 最大トルク 475Nm, 最大出力 400HP/6400rpm を開発目標としたと述べた。表 4-2 に設計代表シーンにおける性能と主に担う部品の関係を示す。吸気ポート設計では, CFD による筒内ガス流動の設計中間指標として, 筒内平均乱れ速度をシリンダ内径で正規化した, 筒内平均乱れ指標を使用した。図 4-1 に示すように内部 EGR 率 25% を実現するため, 筒内平均乱れ指標に目標値を設定したという。噴霧の主機能は, 均一混合気の形成とオイル希釈や, LSPI 発生の要因となるシリンダライナへの燃料付着, PM 生成源となるピストン冠面への燃料付着抑制である。図 4-2 に噴霧コンセプト違いごとの燃料噴射時期に対する PN を示す。噴霧下端を上げる

Table 3-1 実験用点火コイルの諸元

No.	A	B	C	E
	Single spark			Multi spark
Specification	Base	High energy (high current)	Dual (Synchro)	Dual coil (4 elements)
Sample				
Secondary energy* (Total)	86mJ	152mJ	274mJ	238mJ 10times
Secondary current* (Peak)	73mA	195mA	356mA	190mA
Spark duration* (Total)	3.1msec	2.6msec	2.7msec	5.3msec

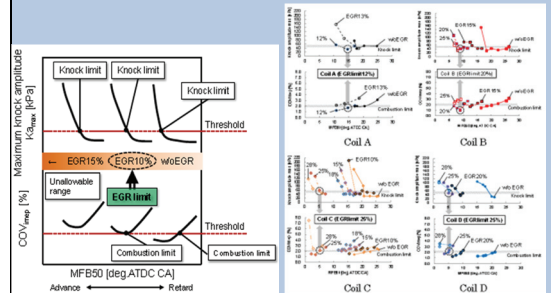


Figure 3-1 EGR 限界

Figure 3-2 EGR 限界性能

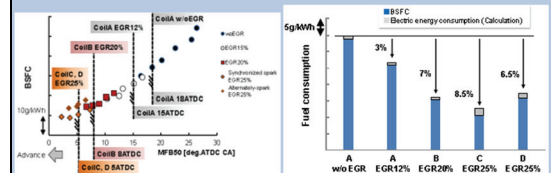


Figure 3-3 各コイルの BSFC

Figure 3-4 燃料消費率

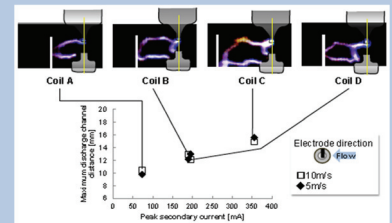


Figure 3-5 最大放電伸張距離と 2 次電流の関係

Table 4-1 エンジン主要諸元

	New V6 turbo	VQ37VHR
Engine type	V6-DOHC 24valve	V6-DOHC 24valve
Displacement [cm ³]	2997	3696
Bore × Stroke [mm]	86.0 × 86.0	95.5 × 86.0
Compression ratio [-]	10.3	11.0
Variable valve timing control	INT : Electric EXH : Hydraulic	INT : Hydraulic EXH : Without
Turbocharger	Twin turbochargers with speed censer	Without
Intercooler	Water cooled	Without
Fuel supply system	DIG	PFI
Max. power (HP / rpm)	400 / 6400	328 / 7000
Max. torque (N·m / rpm)	475 / 1600~5200	363 / 5200

Table 4-2 性能と主に担う部品の関係

Scene	Max power	Homogeneity combustion (High load)	Homogeneity combustion (Low load)	PM characteristic	Oil dilution	Catalyst heating at cold start
Design target	Flow coefficient index	In-cylinder turbulent index Homogeneity index	In-cylinder turbulent index	Piston film mass	Liner film mass	Equivalence ratio around spark plug
Intake port	●	●	●	○	○	○
DIG spray	○	●	●	●	●	○
Piston	○	○	○	○	○	●

● : Main responsibility ○ : Sub responsibility

ここで PN が低下する、弊害としてオイル希釈が悪化するが、多段噴射の採用にてペネトレーションの低減を図り、噴射時期の最適化により、目標のオイル希釈率が実現できたとのこと(図 4-3)。ピストン冠面の主機能は、ピストン冠面に付着する燃料に起因する PM を抑制しながら、成層混合気形成を実現することである。これまで設計してきた吸気ポートと噴射パターンを前提に、計画点火時期 20deg. ATDC において、目標のプラグ周り当量比となるように、CFD にてキャビティ形状を設計した。この目標値実現により、燃焼安定性目標を達成し、図 4-4 に示すように、前型エンジンより良好な触媒暖機性能と低 HC 化を実現したと報告があった。最近時のガソリンエンジン開発では、多数の組み合わせ部品選定があり、最適化に膨大な時間が必要とされている。各燃焼室構成部品におけるトレードオフを効率的に高次元バランスする本燃焼設計手法は、今後進んで行くことと思われる。

イメージングの池田らは、「小型マイクロ波プラズマイグナイタを用いた点火システムの開発」⁴⁻²⁾と題して講演を行った。この点火技術は、マイクロ波自身でプラズマを生成させるのではなく、通常の点火に用いられている火花放電にマイクロ波のエネルギーを供給することで、非平衡プラズマを生成、維持するという。またイグナイタの小型化により、燃焼室形状の自由度が向上し、多点点火が実現でき、燃焼期間の短縮やノック抑制などが期待できるとしている。先端径がφ4.5mm のイグナイタ(MDI)は、従来の点火システムのように直流電流を用いることなく、2.45GHz のマイクロ波のみでプラズマ生成が可能である。本発表では、内部が可視化可能な定容器を用いて、そのイグナイタのプラズマ生成特性および着火特性を評価し、結果を報告している。図 4-5 にシステム構成を示す。マイクロ波発振器は、発振パルス幅、ピーク出力、発振周波数などを制御でき、プラズマ状態をコントロールすることが可能であるとのこと。図 4-6 に高圧試験用定容器の試験装置概略図を示す。MDI 先端で発生したプラズマの発光を観察し、OH ラジカル発光波長である 308nm の発光強度を計測している。図 4-7 に燃焼試験装置の概略図を示す。ペントルーフ形状をした 34.1cc の定容器を用い、点火位置近傍の高速シュリーレン撮影を実施している。定容器内に CO₂ を 6MPa の圧力まで充填した高圧試験(図 4-8)にて、マイクロ波発振期間の 5ms まで、プラズマ発光が観察される。この結果から、MDI はプラズマ生成が可能であり、プラズマ寿命はマイクロ波発振期間により制御できることが分かったと述べた。そして MDI は、ガソリンエンジン用の点火源として十分なプラズマ生成能力を有していることを確認したと報告があった。図 4-9 に通常の点火プラグおよび MDI で着火させた場合のシュリーレン画像を示す。MDI のマイクロ波発振期間を長くするほど、初期火炎の成長が早くなることが確認できる。通常の点火プラグの場合、接地電極の影響を受けて火炎が横長に広がっていく。垂直方向への火炎成長については、点火プラグに比べ MDI の方が設置電極の影響を受けないため、火炎成長が早いと説明があった。今後、実機での小型化による多点点火への適用や着火性能向上など、従来の点火方式に対する、MDI の更なる優位性実証に期待したい。(野口)

先進ガソリン機関技術Ⅲ、Ⅳからは 3 件紹介する。
 高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究(慶応大 横森ら)⁴⁻³⁾は SIP「革新的燃焼技術」のガソリンエンジンチームのリーダー校によるこれまでの成果報告である。 $\lambda=2$ のスーパーリーンバーンを主たる目標達成手段と位置付けている。行程容積 457 cm³、圧縮比 13 の単気筒エンジンで、リーン限界拡大のため、ロングストローク(S/D=1.5)にタンブル強化アダプタと強力点火系(60mj コイル 10 個)を使用して実験を行った。図 4-10 はその結果で、横軸は図示平均有効圧である。

負荷の上昇と共に図示熱効率は上昇して、実験範囲の最大負荷($p_i=1\text{MPa}$)で図示効率は 47.6%まで達した。本実験では高負荷側は電動スーパーチャージャーで過給しているため、多気筒のターボ過給システムを想定した予測図示効率は 45%程度としている。このときの運転 λ は約 1.9 である。

1990 年代の前半に各社から市販されたリーンバーンエンジンのリーン限界空燃比は 25 前後(λ で約 1.7)であり、運転空燃比は 20~22 程度であった。モード運転の低負荷域($p_i < 0.5\text{MPa}$)はリーンバーンで高負荷は理論空燃比とするため、ガス流動制御弁や片弁停止でガス流動強化を行っていた。図 4-10 の $p_i=0.4\text{MPa}$ の λ が 1.7 弱であることと併せ考えると、高負荷域の最良燃費 λ が 1.9 に伸びているのは圧縮温度、圧力の上昇分が(+)反応速度向上と(-)乱れ減衰増大の影響の和で解釈も可能である。

図 4-12 で、サイクル変動中の最高熱効率は $\lambda=2.2$ 強まで高くなるデータで、熱効率 50% の可能性を論じているが、緑色のデータで論じているとしたら間違いである。50%近いデータのサ

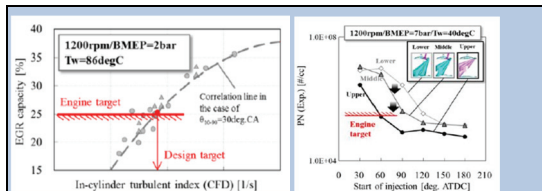


Figure 4-1 内部 EGR 率に対する筒内平均乱れ指標

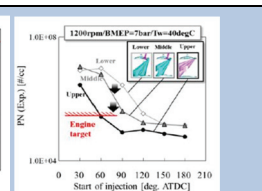


Figure 4-2 噴霧違いごとの燃料噴射時期に対する PN

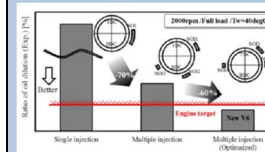


Figure 4-3 実機でのオイル希釈率達成値

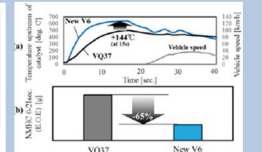


Figure 4-4 始動後触媒前温度履歴と HC 排出量

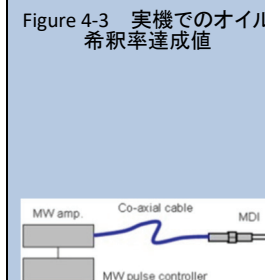


Figure 4-5 MDI を用いたマイクロ波プラズマ点火システム

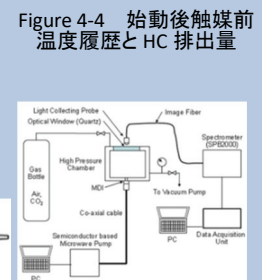


Figure 4-6 高圧試験用定容器の試験装置概略図

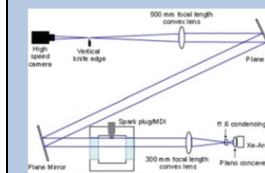


Figure 4-7 燃焼試験装置の概略図



Figure 4-9 シュリーレン画像下でのラジカル発光強度

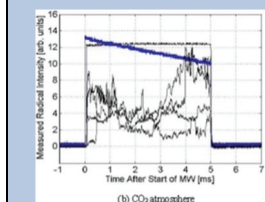


Figure 4-8 CO₂ 高圧霧困気下でのラジカル発光強度 (青線:マイクロ波)

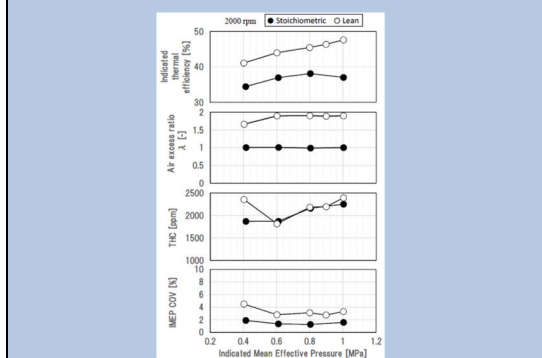


Figure 4-10 負荷を変化させた場合の図示熱効率、HC 濃度など

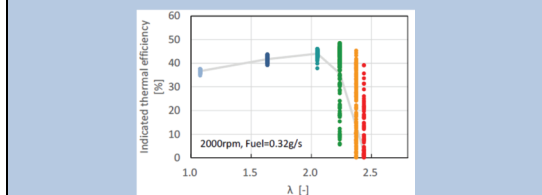


Figure 4-11 λ に対する η_i 変動 (200 サイクル)

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 7 No. 1 2017

イクルは前サイクルが部分燃焼のため残留ガス中の未燃燃料が次サイクルの+燃料となり、 π と計算熱効率が高くなっただけである。商品を想定すれば π 変動率 3% 以下のデータで論議すべきである。

図 4-10 のデータから図示熱効率を上げる簡便な手段は回転速度を上げることである。回転速度の上昇と共に冷却損失は低減するから図示効率は上昇し、(エネルギー回収の原資となる)排気エネルギーは増大する。機械損失は増大するが、最終目標である正味熱効率 50% を達成する運転点は 2000rpm より高い 3000~4000rpm にあると思われる。

新型 HV 用 1.8L エンジンの開発(トヨタ 西浦ら)⁴⁻⁴⁾はハイブリッド車(4 代目プリウス)用エンジンとして開発されたものである。図 4-12 に示すように市販の自動車用ガソリンエンジンとして初めて、正味最大熱効率を 40% まで向上させた。

エンジンの基本諸元(D×S, ϵ)は前型と変わらず、図 4-13 に示すように高負荷域における高 EGR 率下の燃焼改善が主たる効率向上因子である。具体的にはタンブル強化ポート(TR0.8→2.8)とピストン冠面形状最適化により、最大 EGR 率を 15% から 25% まで拡大した。ノック抑制のために従来のクールド EGR にバルブタイミングと排気系の最適化による掃気の改善、ヘッド、ブロックの冷却改善を行った。

その他多数の項目でフリクションを約 14% 低減する(図 4-14)など、トータルで 50 以上の燃費向上技術を投入して上記結果を得たとしている。

新型 V6 3.0L ツインターボガソリンエンジン(日産 石井ら)⁴⁻⁵⁾は無過給(NA)ポート噴射 3.7L エンジンの更新として、直噴ターボ化した、いわゆるダウンサイジングターボエンジンである。高性能バージョンは V6 3L 過給エンジンで無過給 V8 4.5L クラスの出力。トルクを得ている。高出力ターボ仕様化は一般に、過渡応答の悪化、触媒入口温度の低下による始動時排気レベルの悪化をもたらす。

本エンジンは直噴化をベースに、レスポンス対策として油圧 VTC(カムひねり)を電制 VTC に、小型ターボで回転限界まで回し切り高出力を得るため、ターボ回転センサを用いた過回転防止制御を採用した。常用回転域の最適バルブタイミングは図 4-15 のように負荷によって大きく変化する。この応答性改善のために VTC を電気モータ駆動とした。

冷間始動時の排気(HC)対策としては図 4-16 に示すように、直噴化による燃料の壁流(付着燃料)低減効果が一番大きい。上述の電制 VTC や排気マニホールド一体ヘッド構造も排気温度上昇に寄与している。(村中)

【参考文献】

4-1)志方 章浩, 松崎 伊生, 鶴島 理史, 富田 全幸:新型 V6 直噴ターボエンジンの燃焼開発-CFD を用いた燃焼設計による高出力・高効率・低排気の実現-自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165149

4-2)池田 裕二, 西山 淳, Srinivas Padala, 牧田 實:小型マイクロ波プラズマイグナイタを用いた点火システムの開発,自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165153

4-3)横森 剛, 松田 昌祥, 飯田 訓正, 浦田 泰弘, 横尾 望, 中田 浩一:高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究,自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165267

4-4)西浦 博之, 池田 栄次, 松尾 真二, 伊藤 良秋, 川村 明裕:新型 HV 用 1.8L ESTEC 2ZR-FXE エンジンの開発,自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165273

4-5)石井 仁, 安藤 章作, 高島 和朗:新型 V6 3.0L ツインターボ ガソリンエンジン,自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165274

5 EV・HEV 関連

今大会の電動車両関連セッションは、HEV システム関連 2、制御と充電インフラ関連 3、要素関連 2 と FC 関連 2 の計 9 セッションで、その内容も個々の詳細な技術に関するものから、技術の方向性を論ずるものまで広範であった。興味深い詳細な技術に関するものもあったが、今回は技術の方向性を示すものを中心に紹介する。

2015 年の春季大会で発表のあった⁵⁻¹⁾ 独自自動車メーカーが推進している 48V マイルドハイブリッドシステムについて、戦略面から見た紹介があった。湯田平らは当該システムが必要となっ

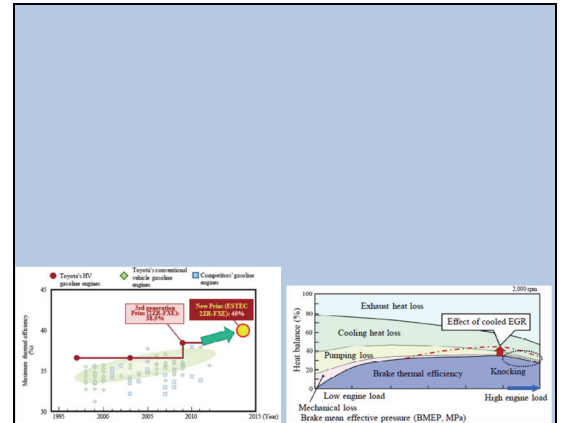


Figure 4-12 ガソリンエンジンの最大正味熱効率の推移

Figure 4-13 エンジン負荷に対するヒートバランスの変化

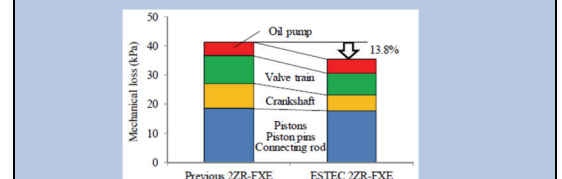


Figure 4-14 機械損失低減の内訳

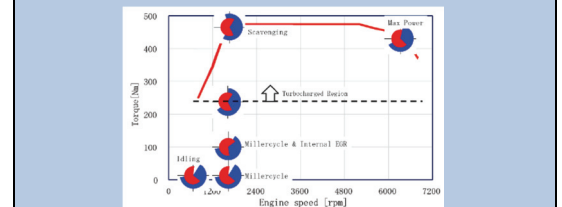


Figure 4-15 回転速度-負荷に対する設定バルブタイミング

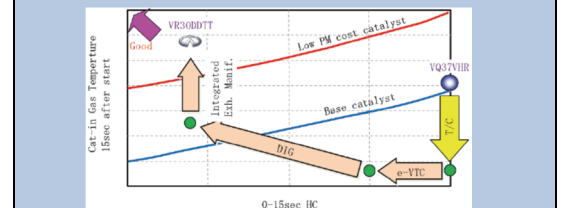


Figure 4-16 始動初期の HC 低減と排気温度を上昇させる方法

た背景とそのシステムの目指すところを紹介し、試作車によって実施された NEDC モードおよび実路走行でのデータ収集結果から当該システムの実用性の高さを紹介した⁵⁻²⁾。

地球温暖化・大気汚染対策を踏まえて、国連による世界共通の試験基準である WLTP の実施や、燃費目標のより一層の高度化が検討されており(欧州では 2021 年までに CO₂ 排出量を現在の 1 台あたりの平均値 127g/km を 95g/km に改善する。図 5-1 参照)、短期的には内燃機関の改善だけでなくパワートレインの電動化が避けて通れない状況になっている。現状の HEV や PHEV はコストがネックとなって短期の大量普及が望めないため、この燃費目標達成には飛躍的な普及が期待できるコスト対効果に優れた高効率車が求められる。車上で DC60V 以上の使用には ISO/IEC 規格で高度の絶縁が要求されており、これが電動車両の高コストの一因にもなっている。48V マイルドハイブリッドシステム(電池の定格値としては 56V)は、欧州で従来から検討されてきた加速の初期だけを電動機でアシストするマイクロハイブリッドの延長線上のコスト対効果を優先したもので、図 5-2 に示すようにごく小型車を除いて B セグメントから E セグメントまでの広い車重の車両に対応できる技術として、独自の自動車メーカー主導で規格化の取り組みも盛んである。

システムは図 5-3 に示す構成で、オルタネータ位置にベルト掛けでインバーター一体型モータジェネレータ(MG、図では BSG, Belt driven Starter Generator と表記)を設け、既存の 12V 電池には DC/DC コンバータで充電するもので、既存の車両に容易に付加できる特徴を持つ。BSG によって加速初期のブースト、負荷の平準化、減速時の回生に加えて惰行時のエンジン OFF (と再始動)による省エネを図っている。これに加えて、ポンプ、ヒータ等の高負荷を将来 48V 化することによって、現在大きくなっている 12V 負荷による銅損を低減することも期待されている。

1L, 3 気筒 GDI ターボエンジン車に、1.4kW(5 秒定格)BSG と 48V 電池(14kW, 460Wh)を付加した試作車を作成し試験した結果、NEDC モードで燃費が 114g/km→95g/km の 17%の削減、排ガスは Euro5 から Euro6c への改善となった。また、2017 年度に導入が予定されている WLTP やリアルドライビングモードへの対応として、図 5-4 に示す実路での走行試験を実施し、90g/km の燃費結果(21%削減)を得た。これは NEDC では効果がない惰行運転が、実路では全体時間の 22%を占めたことに依るとしている。

MG の設置位置は、今回の BSG(P0)のほか、クランク軸出力(クラッチ前、P1)、変速機入力(クラッチ後、P2)、変速機出力(P3)、車軸(P4)が可能であるが、ベルト掛けのまま P2 に移行するとクラッチによって回生時のエンジンドラッグ損を削除出来るのでおよそ 5%、ベルト掛けを、MG を組み込む形に改善することで 7%の改善(いずれも NEDC モードで)が期待できるとしている(図 5-5)。

2015 年秋季大会で小型車両用のコンパクトな動力分配型ハイブリッドシステムとして磁気フリー磁気ギヤモータを用いたシステムの提案⁵⁻³⁾があった。Black らは一般的な磁気ギヤモータを用いた Magnetic Power split Powertrain (磁気による動力分配パワートレイン)の目指すところを紹介した⁵⁻⁴⁾(技術の詳細を述べたものではないが、ヨーロッパで目指す HEV の一例を示すものとして興味深い)。このシステムは、一般の ICEV の変速機部や前述の 48V マイルドハイブリッドをこれに代替することで安価な動力分配型のフルハイブリッドシステムを構築しようとするものである(図 5-6)。採用する磁気ギヤモータは、図 5-7a の 3 ロータ機(基本形)ではなく、“仮想変調子”機能のある同図 b の 2 ロータ機で、各軸間の関係は、遊星歯車と等価の関係を持つ(参考文献 5-3 参照)。

図 5-8 は、提案するシステム(a)、遊星歯車による動力分配システム(b)、P2 位置に MG を設置したダブルクラッチ変速機システム(c)で、c は多段の変速をダブルクラッチによってシームレスに実施する多段変速機ベースであるが、b は遊星歯車による CVT 動作を、a は磁気ギヤモータによる CVT 動作を実現している。提案するシステム(a)では駆動モータと磁気ギヤモータのロータが駆動軸と一体になっており、二つのモータの固定子の制御と磁気ギヤモータの遊星歯車機能によって(b)と同様のハイブリッド動作が実現できる。このシステムの特徴の一つはコンパクトであることであるが、エンジン軸が接続された変調子によってクランク軸のねじり振動が抑制される(図 5-9、5-10)ため、3 気筒ガソリンエンジンや 2 気筒ディーゼルエンジンなどの軸の大きめのねじり振動が従来のフライホイールを削除しても抑制出来、システムの軽量化にも有利であるとしている。

磁気動力分配器(MS)と駆動モータ(TM)に加えて最終ドライブユニット(FD、減速機や、2 段の変速機等)が必要に応じてインラインにコンパクトにまとめられる。制御の概要を図 5-11 のプロ

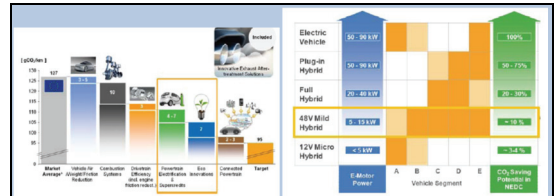


Figure 5-1 欧州の燃費目標

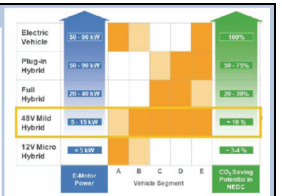


Figure 5-2 全車両セグメントごとのあるべき対策

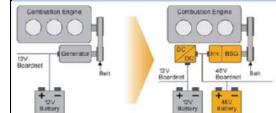


Figure 5-3 48V ハイブリッドシステムの構成

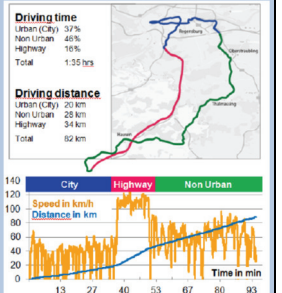


Figure 5-4 実路走行での燃費試験

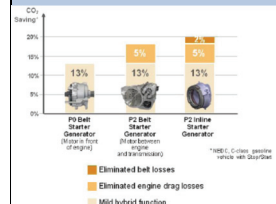


Figure 5-5 48V システムのロードマップ

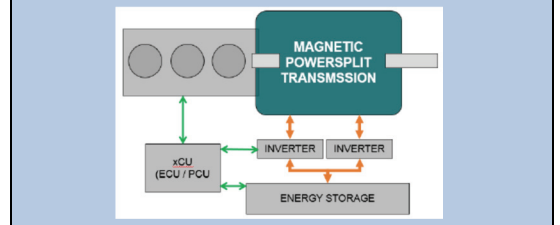


Figure 5-6 磁気ギヤによる動力分配パワートレイン(MPPT)の構成

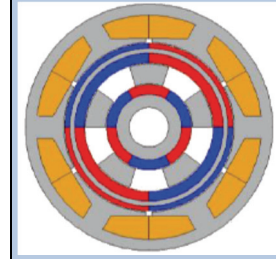


Figure 5-7(a) 3 ロータ磁気ギヤモータ

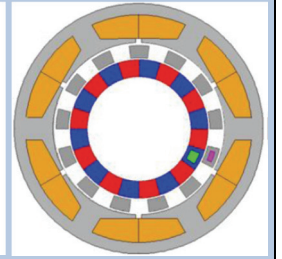


Figure 5-7(b) 2 ロータ磁気ギヤモータ

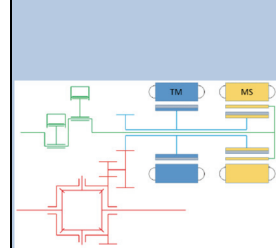


Figure 5-8(a) 磁気ギヤによる動力分配パワートレイン

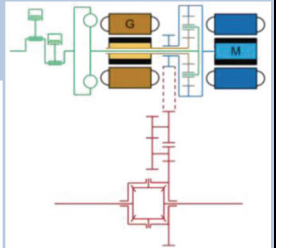


Figure 5-8(b) 遊星歯車による動力分配型ハイブリッド(トヨタ THS)

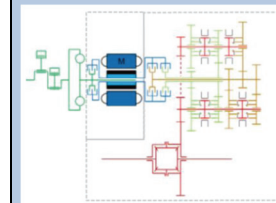


Figure 5-8(c) ダブルクラッチ変速機によるハイブリッド(VW DQ400e)

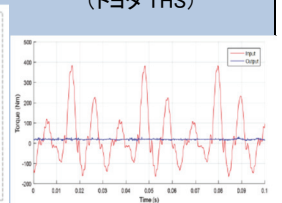


Figure 5-9 MPPT によるクランク軸のねじり振動の抑制(2 気筒ディーゼルエンジン、時間軸表示)

ック図に示す。

技術の方向性を左右するかも知れない戦略的な性格を持つ発表としては、NEDO の戦略的省エネルギー技術開発プログラムで実施された走行中給電に関する研究の中間的な発表があった。走行中給電は給電の対象、給電環境などがさまざまであるだけでなく、給電手法も多種あり、実用に向けた取り組みは、これらの選択の難しさをはじめ多くの高いハードルがある。一方、充電インフラなどは標準化が重要な意味を持っていることから、これらに関する先を見た研究の重要性も指摘されている。

保田らは、従来から提案してきた、静止型非接触充電用の設備を利用した高速道路での非接触給電システムの概要と上記プログラムの概要について紹介した⁵⁻⁵⁾。高速道路のある区間の走行車線に地上側コイルを飛び石状に敷設し(図 5-12)、この幾つかのコイルにブロックとして高周波電力を供給するもの(図 5-13)で、今回は基本的な要素の開発を終え、基本的な評価を完了した段階である。給電時に一つのインバータのカバーするコイル数や一つの電源がカバーするインバータ数の最適値(図 5-14)などの検討はこれからであるとしている。容量を 25kW としたため、車両側コイルは間欠的な大電流に対応して強制水冷を予定しているが、使い勝手の点から、静止型充電器利用時も考慮した精査が必要と考えられる。

藤田らはここでの使用に適した地上用と車上用のコイルユニットを開発し、その基本的な特性を評価した結果について紹介した⁵⁻⁶⁾。地上側コイルの形状は図 5-15 に示すように 160mm の間隔を持った二つの巻線部をもったソレノイドコイルで、この間隔によって、車両側コイルの図の上下方向(車両の進行方向)ずれに対して影響を受けにくく、飛び石状の地上コイル設置による連続給電を可能にしている。試作機の給電試験の結果、定格出力での効率は 89.5% で、目標の 88% を満足できたとしている。しかし、左右方向のずれに対しては 400mm のずれで効率が半減するので実用にあたっては左右ずれの補償などが必須となると考えられる。

神谷らは、給電コイルユニットと給電ケーブルを道路に敷設する方法について道路側の立場で調査検討してきた内容と、今後予定している耐久試験等について紹介した⁵⁻⁷⁾。コイルを敷設した路面を高速で重量車両も走行することから、コイルは図 5-16 に示すようにコイルユニットを収納ケースに収めたものを路面パネルに埋め込む型式を検討している。このパネルの素材候補として、超高強度繊維補強コンクリート、超速硬ポリマーセメントモルタル、FRP の三種について実施した曲げ強度試験では3者とも十分な強度があることを確認したが、舗装材料で要求される圧縮強度の点で FRP は除かれた。高速道路で必要とされる滑り抵抗は粗面仕上げした超速硬ポリマーセメントモルタルのみであった。今後、各種条件下で路面の耐久性試験を加速試験機で実施し、最終的なパネルを決定する予定であるが、新しい分野であるので十分な検討が必要としている。

田内らは、非接触給電システムのコイル供給用に開発した高周波電源について紹介した⁵⁻⁸⁾。車両の移動によって、車両側、地上側の両コイル間の結合係数や負荷が大きく変動するので、高速応答性と高い安定性が必須で、これに加えて省エネの観点から高効率求められる。目標効率の確保を目的に試作された開発機の定格出力での効率は FET ベースのものも SiC ベースのものも、目標を上まわる 96% 以上が得られたが、今後、未達の力率改善とともにシステムとしての最適化を図っていくとしている。間欠的な負荷が多い運用から、今後、無負荷や部分負荷での効率にも留意すべきと考える。

一連の非接触給電の発表は中間発表で、具体性に欠ける面もあるが、規格化に対応できる技術であるか否かという目で、関連分野技術者の協力または批判を伴うフォローが必要なテーマかも知れない。(清水)

【参考文献】

- 5-1) 自動車技術会 2015 年春季大会: Engine Review Vol. 5, No. 4, 2015, p8-9, (Michael Weissback らの解説)
- 5-2) 湯田平 裕文: 48V エコドライブシステムの CO2 削減効果, 自動車技術会 2016 年春季学術講演会講演予稿集, No. 20165434
- 5-3) 自動車技術会 2015 年秋季大会: Engine Review Vol. 6, No. 2, 2016, p13-14, (久保田らの解説)
- 5-4) Black D. T., Calverley S. D., Birchall J. G.: The Delivery of Magnetic Powersplit Technology, 2016 JSAE Annual Congress Proceedings (Spring), 20165062

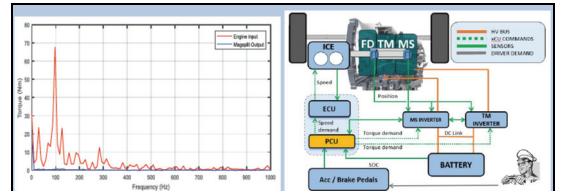


Figure 5-10 MPPTによるクラシク軸のねじれ振動の抑制 (2気筒ディーゼルエンジン、周波数軸表示)

Figure 5-11 MPPTの制御ブロックの概要

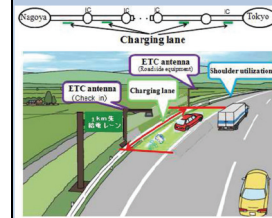


Figure 5-12 非接触給電システムの高速道路への導入イメージ

Figure 5-13 給電システムの概念図

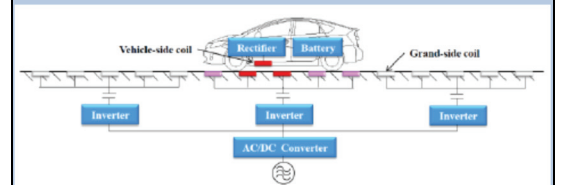
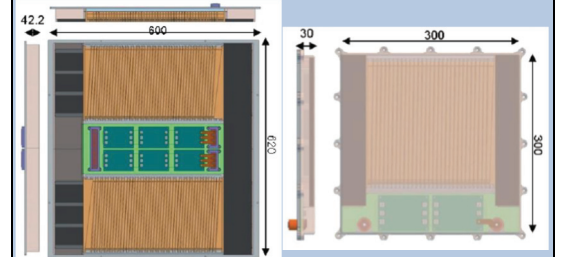


Figure 5-14 給電システムのインバータと電源の配置イメージ



(a) 地上側コイル (b) 車両側コイル
Figure 5-15 25kW 走行中非接触給電用コイルの構造

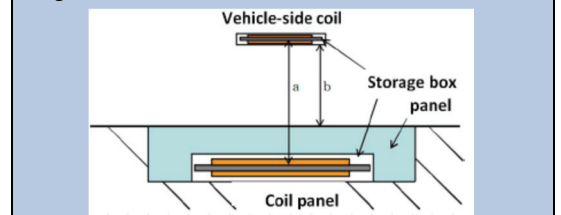


Figure 5-16 地上用コイルパネルの構造

5-5) 田中 薫, 松森 弘之, 石間 勉, 保田 富夫, 金子 裕良, 古関 隆章: 電気自動車用 25kW 走行中非接触給電システムの開発, 自動車技術会 2016 年春季学術講演会講演予稿集, No. 20165064

5-6) 藤田 稔之, 保田 富夫, 岸 洋之, 金子 裕良: 電気自動車用 25kW 走行中非接触給電システム用地上側コイル及び車両側装置の開発, 自動車技術会 2016 年春季学術講演会講演予稿集, No. 20165065

5-7) 神谷 恵三, 伊東 祐二, 風戸 崇之, 保田 富夫, 岸 洋之, 藤田 稔之: 電気自動車用走行中非接触給電送電コイルの道路敷設技術開発, 自動車技術会 2016 年春季学術講演会講演予稿集, No. 20165066

5-8) 田内 良男, 石間 勉, 高木 聖二, 保田 富夫, 岸 洋之, 藤田 稔之: 25kW 走行中非接触給電システム用高周波電源の開発, 自動車技術会 2016 年春季学術講演会講演予稿集, No. 20165067

6 燃料技術と燃焼

茨城大学の田中ら⁶⁻¹⁾より, 他成分の化学種が混合された燃料の自着火特性とその反応論的解釈に関する発表がなされた。ガソリン, 軽油などの実用燃料は, 複数の化学種の混合燃料であるため, それらの詳細化学反応モデルを構築するためには, 異なる構造を持つ燃料が混合した際の着火特性を, 詳細に理解する必要がある。本研究では, 異なる燃料を混合し, またその混合割合を変化させた際の着火特性に及ぼす影響を急速圧縮機(RCM)による実験と反応解析によって調べている。対象の燃料は, イソオクタンをベース燃料として, そこにそれぞれノルマルヘプタン, ジイソブチレン, トルエン, ETBE を混合したもので, 主としてガソリンサロゲート燃料組成を想定している。RCM による実験と, 反応数値解析によって, 各燃料の組み合わせにて燃料の混合割合を変化させた際の着火遅れを取得し比較した結果, 実験と計算とで定性的に同様の傾向を示すことを確認した上で, その反応論的な解釈について, 反応数値解析で詳細に検討している。図 6-1 に, 各燃料の混合割合と着火遅れ(イソオクタン単体での着火遅れを 1 として規格化したもの)の計算結果を示す。なお, 反応モデルには, 橋本らのガソリンサロゲート反応モデルを用いている。各燃料とも, 混合割合に対する着火遅れの変化が線形ではない。特に, ジイソブチレンを混合した際には, 混合割合が増加すると一旦着火遅れが増大したのち, さらに混合割合が増えると逆に着火遅れが短くなる挙動を示している。この理由をより詳しく調べるために, 図 6-2 に低温酸化反応発生までの着火遅れ τ_1 および低温酸化反応から自着火までの時間 τ_2 に分けてプロットした結果を示す。ジイソブチレン混合燃料の着火の特異性には, τ_2 の変化が影響していることが示されている。さらに, 各反応中の OH の消費割合を解析した結果, 着火遅れの変化に強く影響する成分による OH の消費が高くなる傾向にあることから, OH を多く消費する燃料成分の着火性が, 混合燃料の着火遅れに対して最も影響すると指摘されている。これらの規則の理解や多成分混合燃料への適用などによって, 実用燃料のより高精度かつ普遍性が高い反応モデルの開発につながる事が期待される。(飯島)

【参考文献】

6-1) 田中 光太郎, 酒井 康行, 成毛 政貴, 金野 満: 二成分燃料の混合比率と自着火に関する反応速度論的解釈, 自動車技術会 2016 春季大会, No. 20165383

7 潤滑油, 潤滑技術とトライボロジ

本セッション I は燃料潤滑油部門委員会によるオーガナイズドセッションである。潤滑油やトライボロジに関する 5 件の講演があった。エンジンの小型化, 高出力化により信頼性に対する要求が高まっていること, また燃費向上のために摩擦損失に対する期待が高まっていることなどから, 近年, 潤滑油やトライボロジを扱うセッションは盛況である。

英国ルブリゾールの Gahagan ら⁷⁻¹⁾から, 潤滑油中の添加剤による銅の溶出を評価する新しい手法が提案された。添加剤の中にはエンジンやトランスミッションを構成する部品中の銅系の材料を腐食させ溶出させるものがある。この評価のため, 一般的には, 銅片を供試油に浸して添加剤の銅に対する攻撃性を調べる手法がとられている。ここで提案された手法は, 図 7-1 に示すように銅の線材を供試油に浸し, そこに電流を流して腐食による抵抗の変化を測定することで, 攻撃性を評価するものである。ここではこの手法を ATF (Automatic Transmission Fluid)

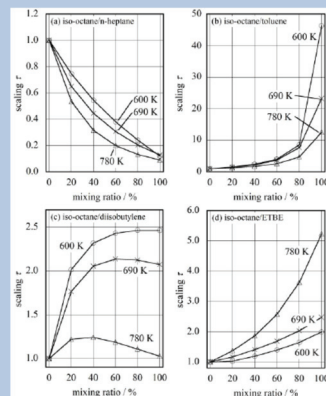


Figure 6-1 各燃料の混合割合と着火遅れ

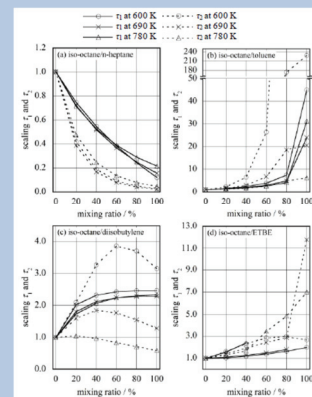


Figure 6-2 各燃料における着火遅れ特性(低温酸化反応発生までの遅れ τ_1 および低温酸化反応から自着火までの遅れ τ_2)

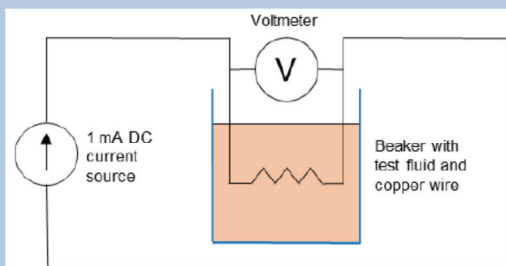


Figure 7-1 潤滑油添加剤の銅に対する攻撃性測定装置

に適用した事例が紹介されている。6種の ATF について銅線の抵抗値の変化を調べた結果が図 7-2 に示されている。200 時間にわたり供試油に浸漬した銅線の抵抗値を測定した結果である。図より ATF の F1 および F2 で抵抗値が増加していることが分かる。図 7-3 にはグラフ中に示された 6 種の ATF に浸漬された銅線の SEM 写真が示されている。抵抗値の増加が最も著しい F1 は、表面の腐食も著しく、F1 に次いで抵抗の増加が大きかった F2 も、F1 ほどではないが、表面が腐食されている様子が示されている。これらの結果から、供試油に浸漬された銅線の抵抗値変化は、同線の腐食の度合いと良い相関を示すことが述べられている。この手法では従来の手法と異なり腐食の時間的経過が観察できる。また評価時間短縮の可能性も期待させられる。

東北大学の宮本ら⁷⁻²⁾からは、摺動部のシミュレーション手法として、マルチスケール・マルチフィジクスシミュレーションが紹介された。この手法は、分子動力学から弾性流体力学シミュレーション手法を統合したものである。その概念図を図 7-4 に示す。これにより摺動表面での原子・分子レベルの現象から表面粗さや摺動面形状が影響を及ぼす現象を連成して解析することができる。これを行うにあたり分子動力学法の計算速度向上が課題であったが、計算モデルの簡略化により従来の 1000 万倍の高速化に成功し、本連成解析を可能とした。本計算手法を活用することで得られる成果に興味をひかれるが、本講演では計算手法の紹介にとどまり、具体的な活用事例が示されなかった点が残念であった。(伊東)

潤滑油、潤滑技術とトライボロジ II では、特にオイル消費をキーワードとした研究 4 件が集められ、集中的な発表、討論が行われた。エンジンの低燃費化の流れの中でエンジンオイルの低粘度化が必須とされているが、一方でオイル消費の増大につながるものが問題とされている。この課題の解決には、オイルが移動し消費につながる過程の理解が重要であり、この分野の技術者にとって非常に関心の高い課題となっている。本セッションは春季大会の最後の時間帯に設定されていたが、最後の発表まで会場はほぼ満室の状態、聴衆の興味の高さが伺われた。なお発表は、蛍光法によりピストンリング周りのオイル流れを可視化した実験的研究、ピストンリング挙動を連成してエンジンオイルの流れを解析した数値計算の研究などの、オイル消費のメカニズムを探る研究発表が 2 件と、オイルリング下の油膜圧力をスカート部上端の油穴で制御し、オイル消費の削減につなげようという試み、3 ピースオイルリングのサイドレール外周形状を変更することにより、オイル消費を削減しようとする試みの 2 件の対策技術につながる発表が行われた。ここでは、オイル消費のメカニズム解明につながる 2 件の発表について紹介する。

大黒から「高ピストン速度領域におけるピストンリング周辺のオイル上がり現象の連続蛍光撮影」⁷⁻³⁾と題して、平均ピストン速度を従来の 3 倍近くまで高速化した可視化エンジンと、高速度カメラを使った二次元の蛍光画像撮影手法を組み合わせた実験による、オイル上がりの可視化結果について紹介があった。平均ピストン速度が 18m/s を超える領域で潤滑油消費が急増する現象が知られているが、この原因を可視化により明らかにしようとする試みられたものである。振動対策を行うことにより、20.2m/s の最大平均ピストン速度で、通常のエンジンと同等の筒内圧に耐えられるガラスシリンダの可視化エンジンが実現できている。一方、可視化には潤滑油の蛍光法が採用されている。蛍光法は潤滑油中に溶解された色素の蛍光強度が油膜厚さに比例することを原理とする手法で、油膜厚さの検討に多用されている。従来の方法では、1 点の蛍光強度の時間変化を連続的に計測する手法と、二次元的な分布を示す瞬間画像を得る手法が主流であり、後者では 1 サイクルに 1 枚の画像を時間を少しずつずらしながら取得して、疑似的な連続画像を得る手法も使われていた。これらに対してこの研究では、図 7-5 に示すように、光源としてブルーレーザーを使用し、高速度カメラと組み合わせることにより、クランク角度 1 度ごとの連続画像を得ることに成功している。図 7-6 は 2 種類の回転数における時系列画像の一例であるが、2ND ランド部の油量が上昇行程で増加し、下降行程で大幅に減量すること(図中 b 部)、また TOP ランド部の油量は高速化により大幅に減少していることが明らかにされ(図中 a 部)、TOP ランドに到達した潤滑油が慣性力により燃焼室内に飛散していることを推察している。またリング背面からのオイル移動なども検討されており、オイル上がり、オイル消費の現象に新しい知見を与える発表であった。今後が期待される。

星野らは「オイルリング周りのオイル流れに関する研究」⁷⁻⁴⁾と題して、3 ピース式オイルリング周りのオイル流れの数値計算を試みた結果を報告した。潤滑油消費量を低減するためにはそのメカニズムの理解が必要であるが、可視化による実験的検討では視野などに制限があり、計

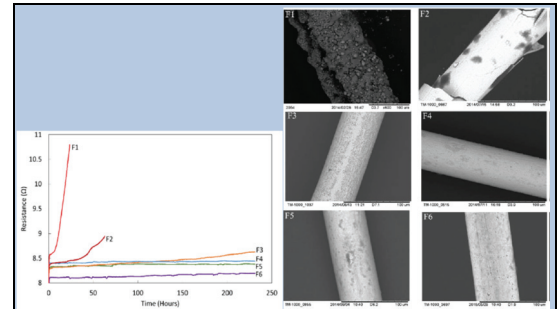


Figure 7-2 Fig 7-1 による測定結果 Figure 7-3 試験後の銅線の SEM 写真

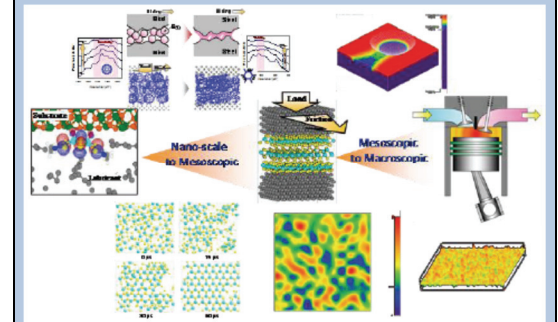


Figure 7-4 マルチスケール・マルチフィジクスシミュレーション概念図

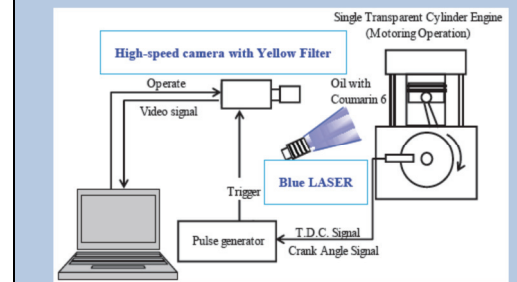


Figure 7-5 蛍光画像連続撮影システム

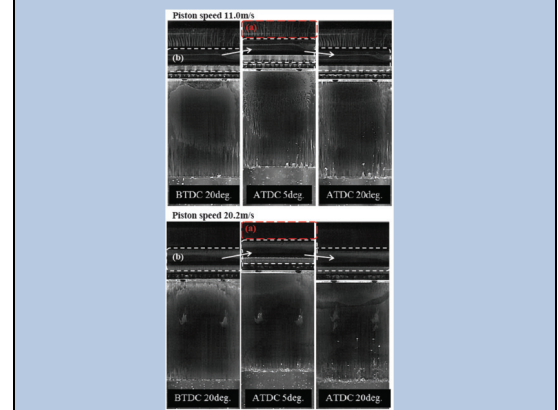


Figure 7-6 ピストン速度 11.0m/s と 20.2m/s のオイル分布の比較

算による検討が期待されている。しかしオイルの挙動にピストンリングの挙動が大きな影響を及ぼすために、この解析は非常に困難を伴うものとなる。このために実際の検討例は限られており、また 2 ピースオイルリングを対象とした検討はあるものの、3 ピースオイルリングとオイルの挙動を解析した事例は少ないのが現状である。このような背景から、著者らは市販の構造解析ソフト(CAE)と流体解析ソフト(CFD)の連成解析機能を用いて、3 ピースオイルリング周りの流れの解析を試みたものである。計算負荷の制限から二次元の軸対象モデルとして計算を行い、図 7-7(a) に示すようにオイルリングのパーツ側の計算メッシュを CAE ソフト側で作成して時間進展挙動を解析する。一方図 7-7(b) に示すように、オイルリング周りの流路のメッシュを CFD 側で作成して時間進展挙動を解析する。両者の間で力と変位の情報を相互に転送し、収束を待つて次の時刻に時間ステップを進める方法である。紹介された計算結果によると、低回転数の場合の方が連成計算の影響が大きく表れている。また図 7-8 に示すように、3ピースオイルリングのサイドレールの動きにより、リング溝内の油が3rdランドに押し上げられる結果なども再現できるようになっている。世界でも最先端の計算であり、今後の進展に期待したい。(畔津)

内燃機関は熱効率の更なる向上が重要であり、エネルギーの損失の低減に向けて様々な技術が開発されている。摩擦損失の低減においても、エンジンしゅう動面の形状、コーティング、表面テクスチャリングなどへの新技術の導入に加え、更なる潤滑油の低粘度化などが次々に導入及び検討されている。摩擦損失低減技術は熱効率向上で重要であるが、一方で、潤滑油消費(Lubrication Oil Consumption ;LOC)等の背反事象の低減及び設計に使用できる解析モデルの開発も重要である。このような背景において、2016 年春季大会では、この LOC に関する複数件の論文発表があった。これらの論文のうち以下の発表を紹介する。

大黒 隆他らの「高ピストンスピード領域におけるピストンリング周辺のオイル上がり現象の連続蛍光撮影」⁷⁻³⁾は平均ピストンスピードが 18m/s を超える領域における LOC の解析モデルの構築を対象としている。理由はこの領域では LOC が急増することが多くの研究で明らかとなっているが、そのメカニズム説明のための実験実証が困難だったことが理由の一つである。この論文では、この運転領域でのオイル上がり現象、特に外周の油膜厚さとピストンランド部のオイル挙動を高速度カメラによる連続撮影と二次元蛍光法による油膜厚さの定量化技術を新たに構築している。

表 7-1 は実験用可視化エンジンの仕様で、特筆すべきはピストンスピードが従来の 7m/s から 20.2m/s とし、また過給装置を用いて実際に即した筒内圧力になるようにした(詳細設定値は不明)。表 7-2 は蛍光剤による発色を利用した撮影法の新旧の比較一覧で、今回の連続蛍光法は従来の二次元蛍光法に比べて特に従来法では困難であったリング摺動面の油膜厚さや、ランド部のオイル挙動と油膜厚さを連続かつ定量的に計測可能としている。図 7-9 は今回の実験で用いた二つのピストンリング構成による LOC の比較で、スタンダードのパッケージに比べてオイルリングのみサイドクリアランスを広げた仕様による LOC 量は 18m/s を超える高速域で急増することを確認し、この原因を調べている。

観察事例を図 7-10(ピストンスピード 11m/s、排気上死点近傍)に示す。図中(a)はオイルリング溝からのオイルの 3rd ランドでの滞留状態、図中(b)はトップランドと 2nd ランドでの油膜の状態(流動状況は不明)、図中(c)はピストンのオイル戻し穴からオイルが排出されてシリンダ壁に付着している様子である。観察結果と併記されている油膜厚さが、連続蛍光撮影法による成果である。この観察結果と油膜量の補足から、比較を行った 11m/s と 20.2m/s の油膜挙動の結果をまとめている。即ち、図 7-11 は 2nd ランドにおけるクランク角度違いによる油量比較で、圧縮上死点後(図中 ATDC20deg)に油量が減少していることから燃焼室内へ飛散量を示し、高速域での飛散油量が低速域より多いことを示している。また、図 7-12 は各ピストンスピードと各リングの油膜厚さの算出結果で、リングしゅう動部における油膜厚さは速度による依存性が少ないこと、また、オイルリング溝部を基準としたサイドレールのストローク方向の挙動の算出値から高ピストン領域でのオイル上がり(消費量)の主な要因はリング背面からであると、本観察を行っている。図 7-13 は図 7-9 で示したオイルリングのサイドレール部のクリアランスがスタンダードと拡大仕様における連続蛍光撮影法による結果で、図 7-13 の油膜厚さの図中ハッチング部で明確なように、サイドクリアランス拡大仕様はスタンダードに比べて 2nd ランドおよび 3rd ランドの油量が多く、オイルリングのクリアランス設定が高速領域での LOC 量に大きく影響していることを実験によって明らかにしている。

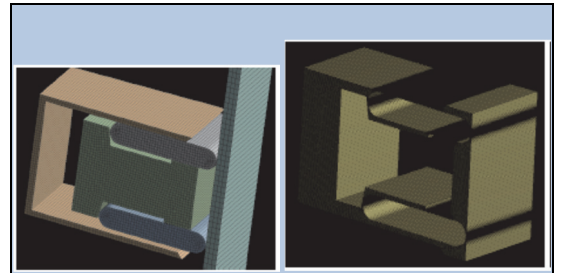


Figure 7-7(a) CAE 用計算メッシュ Figure 7-7(b) CFD 用計算メッシュ

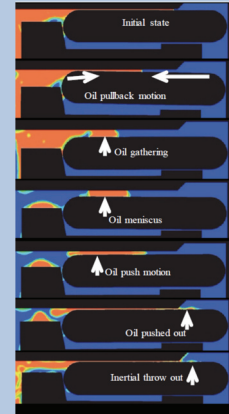


Figure 7-8 オイルの挙動

Table 7-1 可視化エンジンの諸元

Bore*Stroke	Previous φ94×83mm	Development φ94×110mm
Average Piston speed(max)	7m/s	20.2m/s
Cylinder Pressure(max)	2MPa	Engine equivalency Glass
Cylinder	ENEOS FINE MOTOR OIL SN SAE 5W-30	ENEOS FINE MOTOR OIL SN SAE 0W-20
Engine Oil		

Table 7-2 連続蛍光撮影法の計測システムの比較

Method	Conventional Methods		New Measurement Method
	Two Dimensional Fluorescence Method	High-speed Photography	
Camera	CCD camera with 11.1	High-speed camera	High-speed camera
Light	No lamp	Mercuride	Blue LASER
Photography	Still	Each degree	Each 1/6 degree
Timing	720fps. Rev		
Purpose	Measurement of Oil Film Thickness	Observation of Oil Flow	Observation of Oil Flow, Quantification of Oil Flow and Calculation of Oil Film Thickness
Example			

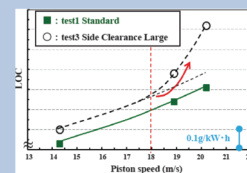


Figure 7-9 LOC (オイル消費)の実験結果

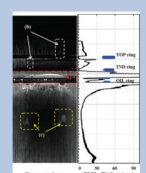


Figure 7-10 排気上死点近傍の連続蛍光撮影の計測結果

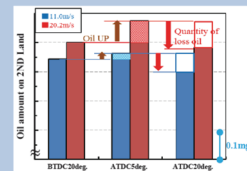


Figure 7-11 ピストンスピードの違いによるセカンドランド部の油量変化

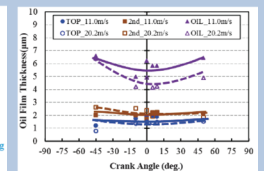


Figure 7-12 ピストンスピードに対する各リングの油膜厚さの違い

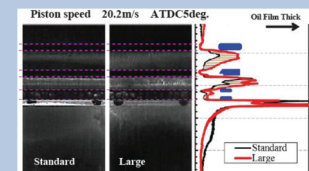


Figure 7-13 サイドクリアランスの違いによるリング周りの油膜厚さの比較

このような研究はオイル消費増加の実証はもとより、複雑な解析モデルとなるリング部でのオイル輸送の解析モデル構築にも有効であり、設計に資する今後の展開が非常に期待できる。(三原)

【参考文献】

7-1) Michael P. Gahagan, Gregory J. Hunt: New Insights on the Impact of Automatic Transmission Fluid (ATF) Additives on Corrosion of Copper, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165337

7-2) 宮本 明, 荒木 佳也子, 小原 幸子, 石澤 由紀江, 大串 巧太郎, Patrick A. Bonnaud, 三浦 隆治, 鈴木 愛, 宮本 直人, 畠山 望, 八木 和行, 久保 百司: 量子論からの積上げによるマルチスケール・マルチフィジックストライボロジーシミュレータの開発と応用, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165338

7-3) 大黒 隆, 林昌 樹, 酒井 俊行, 川合 清行, 山本 匡吾: 高ピストンスピード領域におけるピストンリング周辺のオイル上がり現象の連続蛍光撮影, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165340

7-4) 星野信, 佐藤和希, 臼井美幸樹, 歌代健一: オイルリング周りのオイル流れに関する研究, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.20165342

8 新しい計測診断技術Ⅲ(新しい流れ計測技術)

本セッションでは、新しい流れ計測技術として、エンジンシリンダ内における流動計測手法が 2 件講演されている。ここでは、高速 PIV 計測事例ならびに点火プラグ実装型 LDV プローブによる計測事例に関して紹介する。

「吸気切換えデバイスにより誘起されるエンジン筒内流動の高速 PIV 解析」⁸⁻¹⁾と題し、大倉(本田技術研究所)らにより時間分解能 10kHz で計測した高速 PIV 結果を用いて、吸気切換えデバイス(TCV: Tumble Control Valve)の効果を検証している。この際、時間フィルタ法を用いることで、サイクルごとの変動と乱流成分を分離している。近年、ガソリンエンジンでは、熱効率向上を目的に大量 EGR や均質リーンバーン燃焼コンセプトが研究されている。これらのコンセプトでは、大量 EGR や希薄燃焼により燃焼速度が低下しており、エンジンシリンダ内の流動を強化することで強い乱れ場を形成し、できるだけ火炎伝播速度を確保する試みがなされている。ただし、大量 EGR や希薄燃焼はサイクル変動を引き起こす要因となるため、エンジンシリンダ内流動をサイクル変動と乱れ成分に分離することが重要となる。本報では、乱流成分分離法におけるカットオフ周波数の影響(図 8-1)を丁寧に説明している。TCV が乱流成分へ及ぼす影響を明らかにするために、平均流成分の速度と時間フィルタ法により得られた乱流運動エネルギーの空間分布を提示している(図 8-2)。そして、TCV を用いた場合の火炎構造を乱流予混合燃焼ダイアグラムにより予測している(図 8-3)。講演予稿集では TCV の影響のみが記載されているが、講演では EGR が大量に入った場合に Broken reaction zones に移行する可能性を示していた。これらの知見は更なる高効率化に向けて有用なデータになるとともに、この解析手法はエンジンシリンダ内乱流計測を試みている多くの研究者、技術者への助けとなるだろう。

一方、「プラグ型 LDV プローブを用いた実機エンジン筒内流動計測」⁸⁻²⁾と題し、西山(イマジニアリング)らにより、点火プラグ実装型 LDV 計測システムによる燃焼時点火プラグ近傍流速ならびに乱れの計測事例が報告されている。講演では、著者らがいままでに開発してきたモータリング時での点火プラグ近傍流動計測を目的とした LDV プローブの紹介、モータリング/ファイアリング時の高速 PIV 計測手法についても紹介されていた。特に、可視化エンジンを用いることでファイアリング時における高速 PIV も試みられている(2016 年度秋季大会で報告予定のこと)ことも報告された。LDV では点計測になり、PIV による得られる面情報と同時計測することができれば、点火プラグ近傍での乱流挙動を時・空間解析が可能になると推測できる。点火プラグ電極を有する光学系(図 8-4, 8-5, 8-6)を構築することで、ファイアリング時における点火プラグ近傍流動を把握することは今後の大量 EGR の影響等を評価する上で有用な技術となる。本報では、モータリングとファイアリングにおける点火プラグ近傍での流動に対して、詳しく報告されている(図 8-7)。今後は、点火プラグ近傍での流速変動と燃焼変動との関連性を評価する予定とのことであった。

連続する 2 件の講演を聴講した方々は、エンジンシリンダ内での流動と乱れの関係を興味深

Figure 8-1 カットオフ周波数が乱流成分へ及ぼす影響

Figure 8-2 乱流エネルギー分布

Figure 8-3 乱流予混合燃焼ダイアグラムによる乱流火炎構造の予測

Figure 8-4 点火プラグ型 LDV 計測システムの概略図

Figure 8-5 点火プラグ型 LDV プローブ

Figure 8-6 点火プラグ型 LDV プローブの計測点

く聴講できたと思う。熱効率の大幅な向上のためには点火プラグ近傍のみならずエンジンシリンダ内乱れを正確に計測することが特に重要になると思われる。(河原)

徳島大学の出口ら⁸⁻³⁾は、エンジン筒内で燃焼するときの温度と化学種の濃度分布の関係を明確にすることを最終目的として、半導体レーザ吸収法を筒内に応用し、CT化するにより二次元時系列温度計測を実現可能であることを示した。本手法では、広い波長域を高速でスキャンする手法を用いており、吸収のない波長で都度キャリブレーションを実施していることとなるため、汚れや光路の屈折などに強いという特徴を持つ。また、今回は温度のデータを中心に発表が行われたが、化学種の濃度分布も二次元で計測できる可能性を持つ。図 8-8 に筒内のレーザ光のパスと光学系を示す。エンジンのヘッドとライナの間に光学系を挟み込むことにより 16 本のレーザ光を実エンジンに通すことに成功しており、また、リング状の石英ガラスを 4 分割することによって、耐圧力性能を向上している。実験では、燃焼を伴わないモータリングと、燃焼を伴う条件、さらに、排ガス再循環を伴う条件で行われた。図 8-9 にモータリング時の一つの光路における温度の時系列測定データを示す。圧力から断熱条件で計算された温度により一致を示しており、高速の計測が可能であることが示されている。表 8-1 の条件下で着火条件での温度変化を図 8-10 に示す。各条件で燃焼による温度上昇を確認できる。これらの条件 2 のデータを 2D の温度分布に換算した図を図 8-11 に示す。レーザの本数が 16 本と少ないためややぼんやりした印象を受けるが、2D での温度の分布を捕えることが出来ており、今後、本数の増加により、詳細な 2D の温度、濃度分布を時系列で計測できる可能性を示している。(古谷)

【参考文献】

- 8-1) 大倉 康裕, 鬼丸 裕美, 佐藤 誓祐, 浦田 泰弘, 店橋 護: 吸気切換えデバイスにより誘起されるエンジン筒内流動の高速 PIV 解析, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20165344
- 8-2) 西山 淳, 古井 隆, 池田 裕二: プラグ型 LDV プローブを用いた実機エンジン筒内流動計測, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20165345
- 8-3) 出口 祥啓, 高木 琢, 神本 崇博, 岡本 智美, 渡邊 直人: CT 半導体レーザ吸収法を用いたエンジン筒内の 2 次元温度分布リアルタイム計測, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 20165193

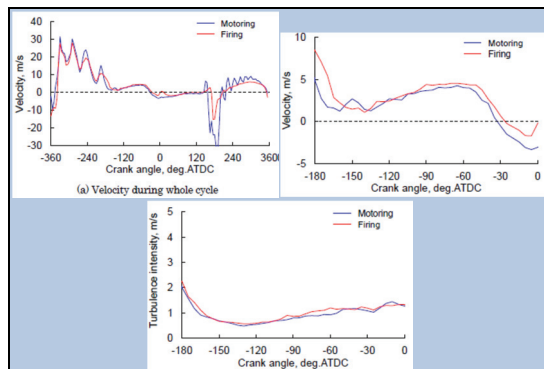


Figure 8-7 モータリングとファイリングにおける点火プラグ近傍での流動

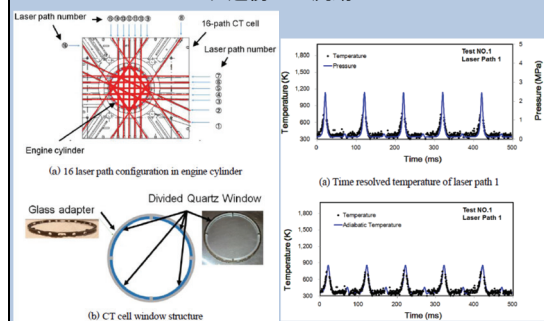


Figure 8-8 筒内でのレーザ光のパスと光学系

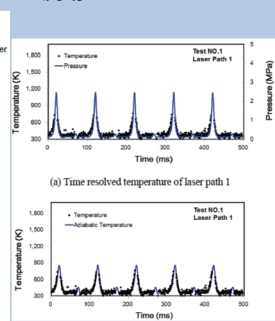


Figure 8-9 モータリング条件下での一光路における温度の時系列測定結果

Table 8-1 実験条件

Test NO.	Operation	Revolution (rpm)	Mean effective pressure (kPa)	EGR ratio (%)
1	Motoring	1200	-	-
2	Firing	1200	200	0
3	Firing	1200	400	0
4	Firing	3000	500	0
5	Firing	2000	300	0
6	Firing	2000	300	17

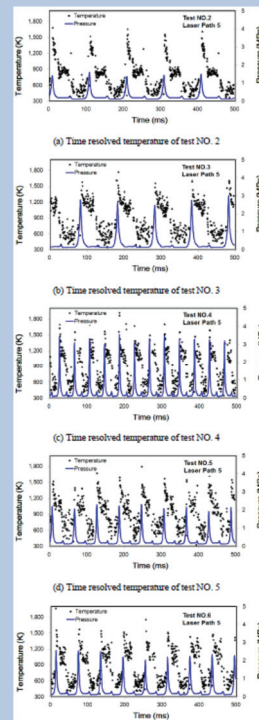


Figure 8-10 着火条件での温度の時系列測定結果

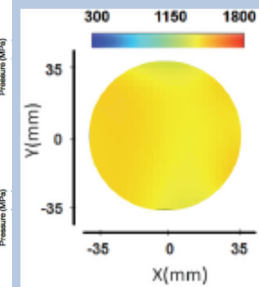


Figure 8-11 換算された 2D の温度分布