

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

Vol. 3 No. 1 2013

JSAE エンジンレビュー

レポート：COMODIA2012 報告

2012SETC 報告

公益社団法人 自動車技術会・編集会議
JSAE エンジンレビュー編集委員会：編著



公益社団法人 自動車技術会

レポート：COMODIA2012 報告	1
2012SETC 報告	7

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長： 飯田 訓正 (慶応大学)
副委員長：村中 重夫 (元日産自動車)
幹事： 川那辺 洋 (京都大学)
委員： 井上 香 (堀場製作所)
小栗 彰 (福井工業大学)
金子 タカシ (JX 日鉱日石エネルギー)
菊池 勉 (日産自動車)
小池 誠 (豊田中央研究所)
小酒 英範 (東京工業大学)
佐藤 唯史 (ケーヒン)
清水 健一 (産業技術総合研究所)
下田 正敏 (日野自動車)
鈴木 央一 (交通安全環境研究所)
沼田 明 (三菱重工業)
平井 洋 (日本自動車研究所)
藤井 厚雄 (本田技術研究所)
山崎 敏司 (編集)

発行所： 公益社団法人自動車技術会
発行日： 2013 年 1 月 20 日
発行人： 新井 雅隆 (群馬大学)
〒 102-0076 東京都千代田区五番町 10-2
電話： 03-3262-8211

レポート：COMODIA2012 報告

Report of International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems 2012

日時：2012.7.23～26

場所：福岡リーセントホテル（福岡）

主催：日本機械学会エンジンシステム部門

協賛：自動車技術会，可視化情報学会，日本液体微粒化学会，日本エネルギー学会，
日本ガスタービン学会，日本燃焼学会，日本マリンエンジニアリング学会，
日本内燃機関連合会，日本陸用内燃機関協会，日本石油学会，触媒学会，
日本セラミックス協会，日本流体力学会，日本計算工学会，日本シミュレーション学会，
ターボ機械協会

藤本 元（同志社大学）、加藤 彰（本田技術研究所）、島崎 直基（いすゞ中研）、辻村 拓（産総研）
JSAE-ER 編集委員会：川那辺 洋、小池 誠

*Hajime FUJIMOTO (Doshisha University), Akira kato (Honda), Naoki shimazaki (ISUZU), Taku TUJIMURA (AIST),
Hiroshi KAWANABE, Makoto KOIKE (JSAE-ER Editing Committee)*

1 エグゼクティブパネルセッション開催報告

1985年に第1回が開催され、これまで7回もの開催の歴史を有するCOMODIAにおいて、初の企画となるエグゼクティブパネルセッションが、国内自動車メーカーであるトヨタ自動車、日産自動車および本田技術研究所のパワートレイン開発部門責任者と欧州の著名なコンサルティングであるFEVとAVLから社長、エンジン研究部門トップ、さらにTier1部品メーカーからはボッシュのエンジン開発担当部門トップを迎えて、powertrain for passenger vehicles: What will be the mainstream in 2030? - Can Internal Combustion Engines survive in the Low CO2 period? - と題して3日間のCOMODIA開催期間の中日である平成24年7月25日に開催された（図1-1）。その開催趣旨、各パネリストの講演、パネルディスカッションについて、その概要について報告する。

1.1 開催趣旨

現在、CO₂低減の観点でプラグインハイブリッド自動車やバッテリー電気自動車などの電動化車両の話が花盛りであるが、福島原発事故の影響でこれまでのCO₂削減の原動力と考えられてきた原子力発電所の日本国内の稼働率が著しく低下し電力の需給バランスに懸念を生じさせている。また日本以外の国々においても原発依存度を再考しているのが現状である。その一方でコンベンショナルなダウンサイジングや内燃機関の効率は確実に向上しており、「第三のエコカー」としてCO₂削減の現実的なソリューションとして非常に重要であると考えている。

そこで、国内自動車各社のパワープラント開発責任者と中立的な立場での欧州コンサルタントおよびTier1部品メーカーの責任者を交えて「2030年の乗用車用パワートレインの主流は何か？」について、2030年までの電動化車両の普及割合、内燃機関においては効率向上予測など、その普及のためにインフラ整備をも含めた課題の解決手法について議論し、将来を正しく予測、聴講者の皆様や市民の皆様にその内容を発信し、正しく理解していただくことを狙いとする。

● 各パネリストの講演（各講演スライドは論文集に収録）

(1) FEV GmbH, CEO of FEV, Prof. Dr. Stefan Pischinger, 講演題目 "The internal combustion engine: the key for future propulsion"

FEV社の社長であり学者でもあるPischinger氏には、多様なエンジン技術要素が詰まった密度の濃い講演をいただいた。特に、ガソリンエンジンではGDIや可変圧縮比技術などと共にドライブレイン技術として新たな電動化メカニズムを有するDCT技術を紹介され、PHEVにおいては、"Power Pack"と"Energy Pack"と呼ばれる二種類のバッテリーを用いた"The Modular Battery"と名付けられた新たなコンセプトをご紹介いただいた（図1-2）。

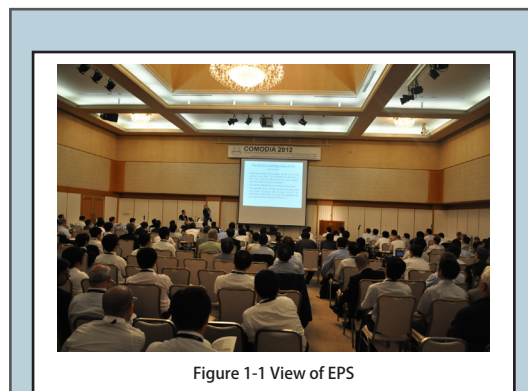


Figure 1-1 View of EPS



Figure 1-2 Lecture of Prof. Stefan Pischinger

(2) トヨタ自動車株式会社第2技術開発本部エンジン先行技術開発部長高岡敏文氏, 講演題目 "Toyota's Strategy for Next Generation Powertrain"

今回の会場となったホテル前のスペースに "86" を展示され、環境車のみならずスポーツカーまで幅広く展開されているトヨタ高岡氏はハイブリッド技術が専門とのことであったが、環境法規制の概要とバイオ燃料の WtW での CO₂ 削減有効性を示された後、トヨタの環境技術のこれまでの歴史と進化について最初に述べられ、将来技術としてディーゼルの deNO_x システムや Di-Air と呼ばれる NO_x 還元技術を紹介するとともに、45%以上という内燃機関の目標効率と低燃費と低排出ガスのエリア拡大を目指されるとの方向性を述べられた。さらに後半には PHEV 含めた電動化車両の進化とその将来についても述べられ、全方位での環境技術をご講演いただいた(図 1-3)。

(3) ボッシュ株式会社常務執行役員ディーゼルシステム事業部開発部門長伊藤悟氏, 講演題目 "Diesel contribution to future clean power train"

今回の講演ではディーゼル技術にフォーカスされ、現在欧州で検討されている RDE などのオフサイクル排出ガス規制と CO₂ 規制動向をご説明された。その後、各種効率向上技術や後処理技術を紹介いただいた後、ディーゼル HEV の CO₂ 排出が各種走行モードに対して変化が少ないこと、さらに商用車での新たな効率向上技術として排熱回収技術と Diesel-Gas エンジンを紹介いただいた。なお、ディーゼルエンジンの将来展望に対して自信をもった伊藤氏のご講演が印象的であった(図 1-4)。

(4) 日産自動車株式会社パワートレイン開発本部パワートレイン第一技術開発部部長平工良三氏, 講演題目 "View of power-train technology for 2030"

トランスミッション技術が専門との日産自動車平工氏からは、マリンや航空機含めた移動体のエネルギー効率と 2050 年までもの内燃機関など乗用車用 PP の CO₂ 削減率と将来の電動化率を示された後、"Powersource Evolution" と称して ICE と各種電動化 PP の CO₂ 削減率と技術課題について述べられ、"Technology Evolution" としては、バッテリー、HEV システムおよびエンジン+ CVT を述べられた。なお、平工氏は今回がこのようなパネルセッション初登壇とのことだったが、内燃機関から EV への展開をテンポよくご講演されたのが印象的であった(図 1-5)。

(5) AVL List GmbH, Senior Vice President, Dr. Guenter Fraidl, 講演題目 "Combustion engines for future powertrain systems"

Fraidl 氏の講演は、まず欧州とカリフォルニアでの乗用車市場において HEV の販売比率が高まるとの 2030 年の予測データを示された後、CO₂ 低減など多様な市場要求に対応するためには、内燃機関、トランスミッションおよび電動化コンポーネントなどを自在に組み合わせることによって対応することが必要であり、それを可能にする "E-FUSION" と呼ばれる新たなコンセプトが提案された。なお、いつもながら AVL 社の講演は、そのプレゼンテーションが魅力的であるが、今回もビジュアル的にも技術的にもスライドから目が離せない講演であった(図 1-6)。

(6) 本田技術研究所四輪 R&D センター第五技術開発室室長長谷川祐介氏, 講演題目 "Towards realization of "joy of mobility" and "sustainable society" for 2030 -Honda's Challenges in the Future Mobility Technology-"

元 F1 エンジニアでもある長谷川氏には、話題のシェールガスを燃料とするため米国を中心に注目を浴びている CNG 車両の取り組みを紹介いただいた後に、"EARTH DREAM TECHNOLOGY" と呼ばれるホンダの VTEC や GDI などを採用した新型ガソリンエンジン群と CVT など PP 環境技術について説明いただいた。さらに後半には、エンジン展示も行っていた家庭用コージェネに採用されている "EXlink" と名付けられたアトキンソンサイクルを用いたガスエンジンなど、HEMS や ICT まで幅広く展開されている環境技術を紹介いただいた(図 1-7)。

1.2 パネルディスカッション

最初に、モデレータをお願いした同志社大学名誉教授藤本元先生から、

- ・ CO₂ 規制の将来実現可能な数値は？
 - ・ 化石燃料として期待が大きいシェールガスの利用法は？
 - ・ 大学や研究機関の若い研究者への課題提示は？
- また会場からも、
- ・ 内燃機関の効率限界は？

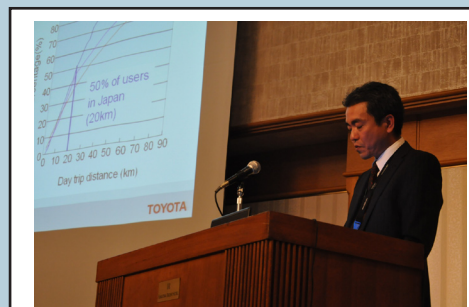


Figure 1-3 Lecture of Mr.Toshifumi Takaoka



Figure 1-4 Lecture of Mr.Satoru Ito



Figure 1-5 Lecture of Dr.Ryozo Hiako



Figure 1-6 Lecture of Dr.Guenter Fraidl



Figure 1-7 Lecture of Mr.Yusuke Hasegawa

- ・開発エリアが拡大する中、リソースはどうか？
- ・将来の燃料コストをどう見て戦略を決定しているのか？
- ・大学の研究に期待することは？

などの質問があり(図 1-8)、各パネリストからは少なくとも 2030 年までは内燃機関中心のパワープラントの時代が続くと共通認識のもと、各社の特徴や立場の違いによる興味深い回答がなされ、3 時間という時間が短く感じられる本セッションであった。

最後に藤本先生から、セッション終了後に予定されているバンケット時刻が迫ってきたこともあり、「本セッションのまとめは各自ですること」とのご指示があり、会場を大きく盛り上げた後、博多金獅子太鼓が準備されているバンケット会場への移動となり、本セッションは終了した(図 1-9)。

なおご多忙にもかかわらずご講演をいただいた各氏およびモデレータをお願いした藤本先生に対して御礼を申し上げる(図 1-10)。(加藤)

1.3 モデレータコメント

従来の COMODIA は研究発表のための国際会議であったが、企業の参加者にとってさらに魅力を増すことを考えて実行委員会が知恵を絞り、COMODIA 史上初企画として本セッションを行った。話題に関してパネリストの日本側担当者の方々と交わした事前準備の効果の故か、各パネリストが 2030 年に向けての各社の技術構想を提示するとともに、大学には何を期待しているかについて議論し、会場の聴講者全員が理解したと思われる。特に若手の研究者および技術者が本セッションを聴講し、今後何を目標にして研究或いは開発を進めるべきかが得られたものと確信している。

初めての経験であり、進行に些か以上の不安を抱いていたが、企画を担当した実行委員の加藤氏、島崎氏が事前に詳細なシナリオを作成して下さったため、滞りなく本セッションが終了した。ここに両氏に謝意を表す。(藤本)

2 ガソリンエンジン

2.1 基調講演に関して

カールスルーエ大学の Spicher 教授がガソリンエンジンの異常燃焼研究の歴史について概説された。Spicher 教授は Douglas Clerk 氏がノッキング燃焼という言葉を使った 1882 年から 130 年に亘る研究の中から、まず、Henry Ricardo 氏の実験、Withrow 氏らの筒内観察を例にとって、20 世紀前半には既に点火栓から離れた未燃エンドガスの自着火が原因であることが判明したこと、ノック抑制剤の四エチル鉛や燃料製法の改良によるガソリンオクタン価向上により、一時的にノッキング研究は停滞したことを述べられた。しかし、有鉛ガソリンの禁止、三元触媒による排気浄化、燃費低減によってノッキングの研究は 1980 年以降再び活発に行われるようになり、最近では筒内噴射を備えた過給ダウンサイジングエンジンの開発が盛んになったため、ノッキングに加えてブレイク問題も再発していること、特に突発的に起きる言わば確率的ブレイクが新たな問題となっていることを説明された。筒内観察により、このブレイク現象は着火位置が一定せず(図 2-1)、いわゆる熱面着火とは異なることから、浮遊オイルや粒子状物質が原因として挙げられているが、未知の点も多く、未だ研究課題が残されていることを指摘された。

近年開発されている過給ガソリンエンジンは平均有効圧力が 2MPa を超え、過給ディーゼル同等あるいは超えるレベルになってきている。そのため、これまでの燃料単体の着火問題から壁面や微小浮遊物質から誘引される異常燃焼に問題が拡大しており、計測・解析の重要性はさらに高く、新たな進展も期待される。今回の COMODIA の中では、ブレイクについて Ewald ら^{2.1)}が燃焼室壁温分布と筒内ガス状態、ブレイクとの連成解析について報告している。未だ検討すべき点が多いと思われるが、実測との比較も試みている。どのような状態がブレイクを引き起こすか、感度がどの程度あるかなど興味深い結果を示している。また、Perlman ら^{2.2)}は Stochastic Reactor Approach を火炎伝播燃焼に導入し、不均一性を考慮しながら高速で計算する手法を試みている。うまく発展できればサイクル毎の燃焼状態や種々のパラメータを含めて異常燃焼を解析する際に有用な手法として期待される。

2.2 Spark-Ignition Engine Combustion

このセッションの発表は 7 件あり、筒内噴射に関する研究が 4 件、ノッキングに関する研究が 2 件、ロータリエンジンの燃焼に関する研究が 1 件行われた。



Figure 1-8 Question from floor, Prof. Alex Taylor



Figure 1-9 View of panel discussion



Figure 1-10 Moderator, Prof. Hajime Fujimoto

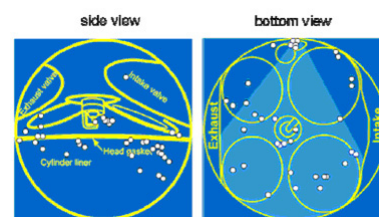


Figure 2-1 Locations of Pre-Ignition

Nagano ら^{2.3)} は定容容器に充填したノルマルヘプタン混合気の一部を点火し、圧縮された他端で発生する自着火をシュリーレン法で観察している。急速な圧力上昇が測定される前には火炎面の移動が一旦遅くなり、火炎面から発するもう一つの密度変化が壁面に向かって伝播する様子が観察されることを示し(図 2-2)、この伝播が完了した後に圧力が急上昇し、燃焼室内に圧力振動が生じることを報告した。火炎面から離れた所が自着火の起点となつたエンジンや急速圧縮装置を用いたノッキングの筒内観察結果とは異なっており、この計測結果との関連性などについて今後の解析が期待される。

Wang ら^{2.4)} はガソリン直噴用マルチホールノズルの微粒化特性について報告した。この研究はガソリンとアルコール 3 種類の燃料温度と噴射圧力により、Re 数と We 数を変えて SMD、DV50 (噴射燃料の 50% が占める粒径) との関係性を調べている。背圧は大気圧で非蒸発噴霧である。Re 数 12500 以上では SMD と DV50 は良く知られているように We 数の関数で現わされるが、それ以下では Re 数と We 数の関数となり、計測結果は燃料種、温度にかかわらず、誤差 14% 以内で同一の関数表記が可能であるとしている(図 2-3)。ノズル諸元が明示されていないのが残念である。うまく記述できているのは同一ノズルで、かつ、計測条件をそろえてあるためと思われる。ほかのノズルについても調べているとのことであり、ノズル形状の影響が付加されると大変興味深い結果が期待できる。

Sato ら^{2.5)} はエタノール 85% 混合ガソリン噴霧についてガソリンとエタノールの分離観察について報告した。実験ではガソリンの代わりにイソオクタンあるいは p-キシレンを用い、エタノールとメチルエチルケトン (MEK) を使い分けている。MEK は動粘度が小さいが、沸点、密度、表面張力はエタノールとほぼ同じである。エタノール、イソオクタンは実験に用いた他の燃料と違って紫外光を吸収しないことを利用し、燃料の組み合わせによって燃料別あるいは噴霧全体の蒸発を計測している方法が興味深い。この際、同時に散乱光を撮影することにより、液層と区別している。計測結果より、p-キシレンの沸点は高いが MEK とのブレンド効果により混合燃料では比較的早く蒸発することが示されている。(小池)

【参考文献】

- 2.1) J. Ewald, M. Budde, B. Morcinkowski, R. Beykirch and Ph. Adomeit, "CAE tool chain for the prediction of pre-ignition risk in gasoline engines", MS3-3
- 2.2) Cathleen Perlman, Simon Bjerkborn, Karin Fröjd and Fabian Mauss, "A CPU Efficient SI In-Cylinder Combustion and Knock Prediction Model Utilizing a Stochastic Reactor Approach, Turbulent Flame Propagation and Detailed Chemistry", MS3-4
- 2.3) Yukihide Nagano, Tetsuya Ohira, Masayuki Oonaka, Yu Uyama and Toshiaki Kitagawa, "One-dimensional Flame Propagation and Auto-ignition of End Gas in Constant Volume Vessel", S11-2
- 2.4) Zhenkan Wang, Min Xu1, David L. S. Hung, Yuyin Zhang, Wei Zeng and Ming Li, "Development of Non-dimensional Drop Size Correlations of SIDI Multi-hole Sprays Using Phase Doppler Interferometry and High Speed Imaging", S12-3
- 2.5) Kiyotaka Sato, Masaharu Chato, Yoshitaka Wada, Tatsuya Fujikawa, Kenta Kitamitsu, Keiya Nishida and Zezheng Li, "Evaporation and Mixture Formation Processes of Ethanol/Gasoline Blended Fuel Spray Injected by Hole-Type Injector for D.I. Gasoline Engine" S12-4

3 ディーゼルエンジン

Organized Session1 の Ultimate thermal efficiency では 8 件の講演発表があった。マツダの Yamashita ら^{3.1)} は、OS1-3: "Thermal Efficiency Improvement by Increasing Compression Ratio and Reducing Cooling Loss" において、圧縮比、気筒数、排気量のパラメータについて燃費最適値の数値シミュレーションによる検討結果を発表した。同一排気量であれば、小気筒数の方が熱損失低減により熱効率が高いことが示された(図 3-1)。圧縮比が 10~40 という範囲での検討結果は新鮮であった。また、筒内壁面層の熱伝導率と比熱が熱効率におよぼす影響に関して(表 3-1, 図 3-2)、通常ピストンでは図示熱効率が最も高くなるのは圧縮比 15~20 であるのに対して、熱伝導率と比熱が小さい条件では、最高熱効率は高圧縮比側へシフトした。本論文での最高図示熱効率は 55.8% (ベース: 46.8%) となり、HCCI + EGR で究極的な高効率燃焼が狙えるとしている。

Organized Session3 の Application of chemical kinetics to combustion modeling で は 7 件の講演発表があった。日産の Teraji ら^{3.2)} は OS3-7: "Numerical Analysis of Effect of

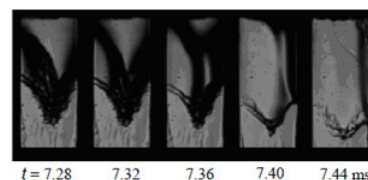
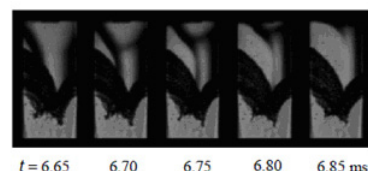


Figure 2-2 Shlieren images at end gas region:
 $\phi = 1.0, P_1 = 0.33\text{MPa}, T_1 = 480\text{K}$

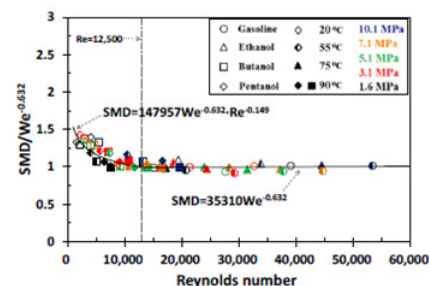


Figure 2-3 Correlations between drop size and non-dimensional numbers

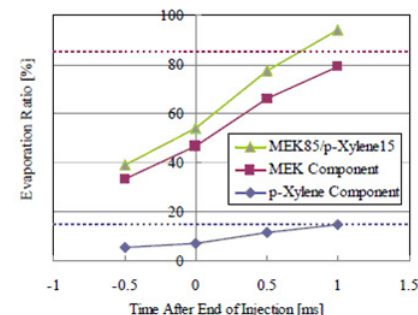


Figure 2-4 Evaporation Ratio of Each Component in Blended Fuel

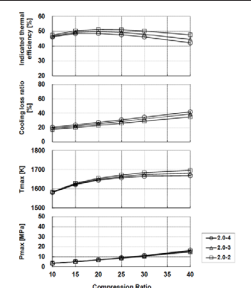


Fig. 3 Relationship between compression ratio and thermal efficiencies, cooling loss ratio, T_{max} or P_{max} when changing cylinder number (NM, IFC=70°ABDC, 2000rpm, $P_1=400\text{kPa}$, $\lambda=3.0$)

Figure 3-1

Table 3-1

Table 4 Specifications of coating

Case	Heat conductivity ratio against aluminum	Specific heat ratio against aluminum
NM	No coating	
VM1	0.001	1
VM2	0.01	0.01
VM3	0.001	0.01

Intermediate Species Diffusion on Low Temperature Oxidation Process in a Homogeneous n-Heptane Mixture”において、化学反応モデルを組み込んだ二次元の DNS を用いて乱れの有無が着火反応過程及ぼす影響を考察した (図 3-3)。HCCI 燃焼はガソリンエンジンを高効率化させる一つの手段であるが、化学反応と乱れの相互作用についての解析的な考察は多いとは言えない。このような状況において、直接計算を用いた解析結果は非常に示唆に富んだ考察を与えた。今後のさらなる発展が期待される。

最後に Executive Panel Session : Powertrain for passenger vehicles: What will be the mainstream in 2030? - Can Internal Combustion Engines survive in the Low CO₂ period? - について触れておきたい。総じて 2030 年も内燃機関の果たす役割が大きい、その効率改善は理論限界に近づいており、損失分 (冷却, 排気, 制動) の回収技術も考えるべきである。さらに当然ではあるが車両全体でのシステム最適化の必要性がより高まる。また、これからの技術者には、機械分野だけでなく、化学、電気、ソフトウェアなど幅広い能力も必要との意見が数多くのパネリストから聞かれた。(島崎)

【参考文献】

- 3.1) Hiroyuki Yamashita, Hidefumi Fujimoto, Masahiko Fujimoto, Tatsuya Tanaka and Hiroyuki Yamamoto, “Thermal Efficiency Improvement by Increasing Compression Ratio and Reducing Cooling Loss”, COMODIA2012, pp. 36-42.
- 3.2) Atsushi Teraji, Takashi Ishihara and Yukio Kaneda, “Numerical Analysis of Effect of Intermediate Species Diffusion on Low Temperature Oxidation Process in a Homogeneous n-Heptane Mixture”, COMODIA2012, pp. 152-157.

4 ガスエンジン

徳島大学の Ali らは「Flame Development and THC of CNG with Hydrogen Addition using Gas-jet Ignition with Two-stage Injection」と題して講演を行った。これは、天然ガスエンジンにおいて高効率化を目指して筒内直接噴射火花点火方式を試みたものであり、幅広いエンジン負荷において安定した運転および低い THC レベルを実現するために、2 段噴射および燃料への水素添加を提案している。図 4-1 は燃焼室、燃料噴射弁および点火プラグの配置の概略であり、エンジン本体は徳島大学で開発された 2 クランクシステムが組み合わされる。図 4-2 は当量比を 0.5 における 2 段噴射の間隔を変化させた際の等内圧のクランク角経過であり、120 サイクル分を表示している。これによると噴射間隔を 31° CA にするとサイクル変動が大きくなるのが分かる。一方、30%の水素を加えると図 4-3 のように変動が小さくなり、図 4-4 のように、排出 NOx および THC を低い領域ができるのが分かる。

産総研の Tsujimura らは「Combustion Analysis for Natural Gas/Diesel Dual Fuel Engine」と題して講演を行った。これは、コモンレールを用いた最新のディーゼル噴射システムを用いて、天然ガスとのデュアル燃料燃焼を行うものであり、実験および数値シミュレーションの両面からの解析を試みている。実験はボア、ストロークがそれぞれ 92mm, 96mm の単気筒ディーゼル機関を用いて行われている。噴射系にはノズル径 0.085mm の 12 孔のピエゾ式インジェクターを用いて、噴射圧力は 50MPa である。図 4-5 はパイロット噴射量を変化させた際の出力に対する性能・排気特性であり、低負荷では THC および CO が高く、高負荷で CO および NOx が高くなるのが分かる。また図 4-6 は IMEP が 0.62MPa における筒内の各化学種の変化を CFD 計算により求めた結果であり、燃焼後に残る THC のほとんどすべてが CH₄ であることなどが分かる。(川那辺)

【参考文献】

- 4.1) Mas Fawzi Mohd Ali, Tomoshi Kaida, Yusuke Ido, Yuzuru Nada and Yoshiyuki Kidoguchi, “Flame Development and THC of CNG with Hydrogen Addition using Gas-jet Ignition with Two-stage Injection”, COMODIA2012, pp. 356-361
- 4.2) Taku Tsujimura, Kenji Aoyagi, Naoki Kurimoto and Yoshiaki Nishijima, “Combustion Analysis for Natural Gas/Diesel Dual Fuel Engine”, COMODIA2012, pp. 380-385.

5 数値解析

ERC の Benjamin A. Cantrell らは「Strategies for Reducing the Computational Time Required for Diesel Engine Simulations with KIVA」と題して KIVA の計算を高速化する方法に

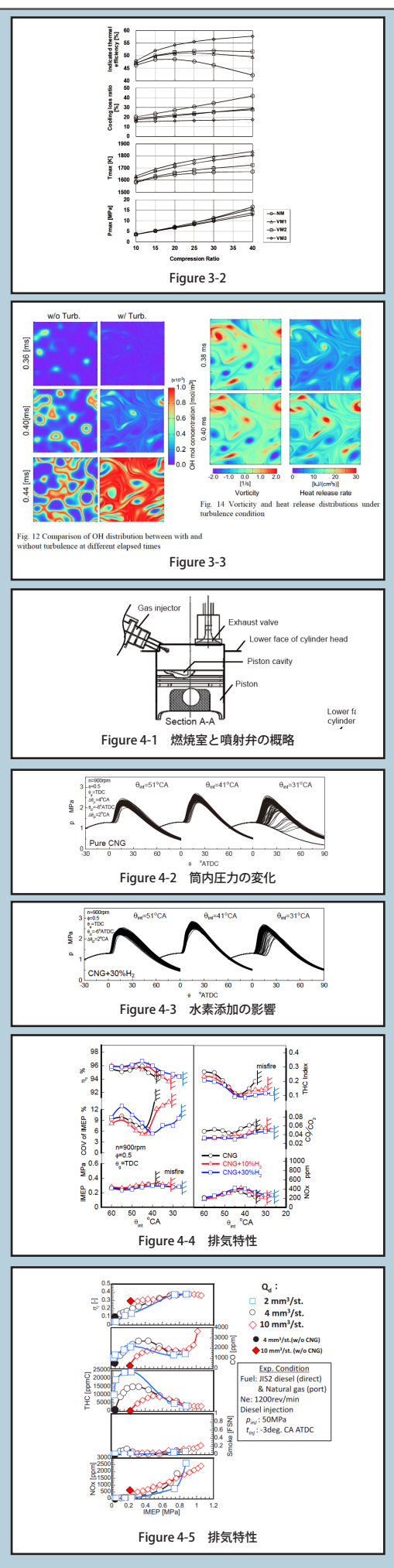


Figure 3-2

Figure 3-3

Figure 4-1 燃焼室と噴射弁の概略

Figure 4-2 筒内圧力の変化

Figure 4-3 水素添加の影響

Figure 4-4 排気特性

Figure 4-5 排気特性

ついて提案している。これは、(1) 動的に時間刻み幅を変更、(2) 噴霧モデルの格子依存性を低減、(3) セクターモデルにおいて円筒座標系を用いない格子系、(4) 化学反応計算を MPI に最適化および (5) 化学反応にグルーピング計算法を適用することによって実現している。図 5-1 は用いた格子系であり、右の非円筒座標系を用いて格子数を減じている。図 5-2 は本格格子系を用いた計算結果であり、円筒座標を用いた結果と同様に実験結果を良く再現できていることが分かる。上述の各要因が計算速度向上に果たした比率を表 5-1 に示す。最終的にはおよそ 90 倍程度までの高速化が図れたとしている。

FEV の J. Ewald らは「CAE tool chain for the prediction of pre-ignition risk in gasoline engines」と題して講演を行った。これは、ガソリンエンジンにおいて燃焼・流動を CFD で解くとともに、シリンダへの熱移動を FEA により連成して解析することにより、プレイグニッションの予測を試みたものである。ここではプレイグニッションは圧縮自着火もしくは、高温壁における着火を対象としており、計算条件は表 5-2 のとおりである。図 5-3 は計算により得られたシリンダヘッドおよびピストンの壁温であり、これにより、自着火に起因するプレイグニッションあるいはメガノックと呼ばれる現象をある程度予測できることを示した。(川那辺)

【参考文献】

- 5.1) Benjamin A. Cantrell, Rolf D. Reitz, Christopher J. Rutland and Yusuke Imamura, "Strategies for Reducing the Computational Time Required for Diesel Engine Simulations with KIVA", COMODIA2012, pp. 36-42
- 5.2) J. Ewald, M. Budde, B. Morcinkowski, R. Beykirch and Ph. Adomeit, "CAE tool chain for the prediction of pre-ignition risk in gasoline engines", COMODIA2012, pp. 152-157

6 燃料, 化学反応

学会 2 日目午前に組まれたセッション "Application of chemical kinetics to combustion modeling 1" では、Miyoshi のグループが開発した詳細化学反応動力学機構の構築の一部を自動化するソフトウェア KUCRS (Knowledge-basing Utilities for Complex Reaction Systems) の構成および最近の概要が紹介された^{6.1)}。現在の KUCRS では直鎖アルカン、単環アルカン、直鎖アルケン、アルコールの詳細な酸化反応機構を構築することができる。KUCRS は主に chemgen, thermgen, trangen, combust という四つのファイルで構成されており、化学種名は SMILE 記述で統一されている。図 6-1 に示すように、chemgen では反応速度則と速度定数を記述した入力ファイルを読み込み CHEMKIN-II フォームの反応式群を出力する。thermgen, trangen では化学種の熱物性データおよび輸送データを出力する (図 6-2)。combust は燃料名と thermgen, trangen の出力ファイルを読み込み、chemgen 用入力ファイルとなる速度則を出力する (図 6-3)。反応機構の構築に重要となる速度則や速度定数についてはユーザーにより任意に手を加えることができるため、ユーザー個々の独自モデルを作るのにも役立つ。一方で速度則や速度定数を基に反応式を書き出す、あるいは熱輸送データの算定といった膨大な作業を自動化することができるため、手作業によるモデル構築でよく見られるタイポ等のミスも少なくでき、モデル構築のスピーディ化と正確性の向上が同時に得られると期待できる。興味深いことに、同セッションの他の 3 講演者 (Ando, Kuwahara, Sakai) は既に KUCRS を使用しており、KUCRS によって構築した詳細反応機構に基づいた反応解析を行っていた。(辻村)

【参考文献】

- 6.1) Akira Miyoshi, "KUCRS - Detailed Kinetic Mechanism Generator for Versatile Fuel Components and Mixtures", COMODIA2012, pp. 116-121.
- 6.2) Hiromitsu Ando, Yasuyuki Sakai, Kazunari Kuwahara, Masanori Furutani and Muyou Syuu, "Global Reaction Mechanism of Alkanes", COMODIA2012, pp. 122-127.
- 6.3) Kazunari Kuwahara, Yoshihiro Hiramura, Shintaro Ohmura, Masahiro Furutani, Yasuyuki Sakai and Hiromitsu Ando, "Chemical Kinetics Study on Effect of Pressure on Hydrocarbon Ignition Process", COMODIA2012, pp. 128-133.
- 6.4) Yasuyuki Sakai, Hiromitsu Ando, Kazunari Kuwahara and Masanori Furutani, "Correlations Between Ignition Delay Times and Research Octane Number of Alkanes", COMODIA2012, pp. 134-139.

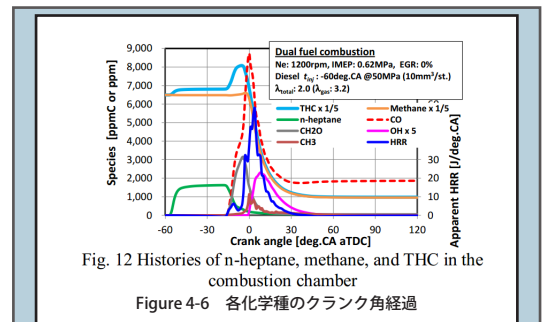


Figure 4-6 各化学種のクランク角経過

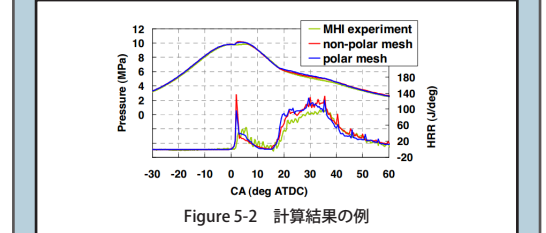
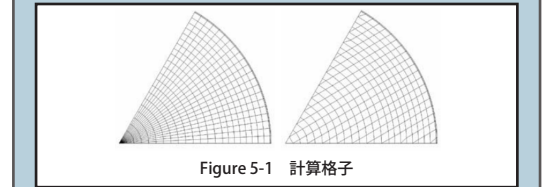


Table 5-1 計算時間の短縮

	dynamic dtmax	non-polar mesh	parallel chem	chem cell groups	total
speedup	3	3.8	5	1.6	90

Table 5-2 計算条件

Operating point	I	II	III
Engine Speed [1/min]	2000	1500	
Engine IMEP [bar]	15	30	
Fuel	iso-octane	RON 95	
Injection system	Piezo (homogeneous)	Multi-hole	
Air/Fuel ratio [-]	1.0		
Compression Ratio [-]	12	10	10
Manifold pressure [kPa]	147	140	319
EVC [°CA]	1mm @ 350°C/A	1mm @ 340°C/A	
I/VV [°CA]	1mm @ 370°C/A	1mm @ 370°C/A	
Spark Advance [°CA/ATDC]	2	6	-12

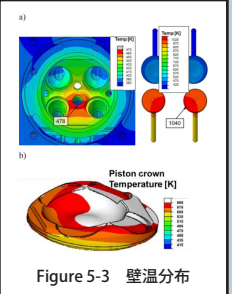


Figure 6-1 chemgen の構成

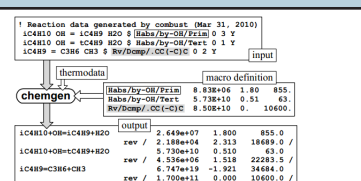


Figure 6-2 thermge および trangen 等の構成

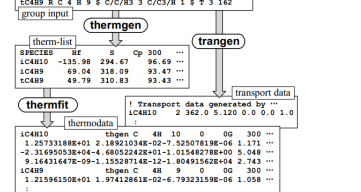
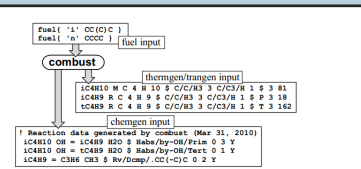


Figure 6-3 thermge および trangen 等の構成



レポート：2012SETC 報告

Report of 2012 Small Engine Technology Conference

日時：2012.10.16～18
場所：Monona Terrace Convention Center (Madison, Wisconsin, USA)
主催：SAE International / 公益社団法人自動車技術会（共催）

飯島 晃良（日本大学）

Akira IJIMA (NIHON University)

1 はじめに

2012年10月16日から18日にかけて、米国・マディソンにある「Monona Terrace Convention Center」にて、SETC 2012が開催された。SETCは、JSAEとSAE Internationalによって共催され、1989年の第1回から数え、今回で18回目を迎えた。この会議は、SAEが主担当の年には米国・欧州地区で、JSAEが主担当の年には日本・アジア地区で開催される。来年度は2013年10月8日から10日にかけて、台北で開催予定である。

この会議は、主に二輪車・農業機械・発電機・船外機などの小型エンジンおよびその応用部品に関する技術に焦点を当てられていることが特徴である。そのため、主に四輪エンジンに焦点を当てられた会議とは、やや趣が異なるように感じる。例えば、2ストロークエンジンや、燃料供給にキャブレターを採用するエンジンの論文発表も盛んである。

今回、プログラム上の論文数（当日キャンセル分を含む）は109編であった。論文の分野別内訳を表1-1に示す。ここでは、会議の概要に加えて、全体のごく一部になるが、幾つかの内容を紹介する。

2 発表内容の一例

Michigan State Univ. の Toulson ら および MAHLE Powertrain LLC の Attard ら より「Visualization of Propane and Natural Gas Spark Ignition and Turbulent Jet Ignition Combustion」¹⁾と題して報告があった。圧縮比 10:1、排気量 400 cm³ で 4 弁ペントルーフ型燃焼室を持つ単気筒可視化エンジンを用いて、副室点火により生じた噴流による主燃焼室の燃焼促進効果について、幾つかの燃料を用いて比較している。燃料には、副室にはガソリンを用い、主室にはガソリンに加えて、メタン、プロパンを用いている。ジェット点火に使用されたイグナイターのモデル図を図2-1に示す。副室ハウジング内に、点火プラグと直噴インジェクタが備えられている。副室の出口は6噴孔であり、点火エネルギーは35 mJである。図2-2に、希薄域での燃焼安定性、図示熱効率、NOx排出率を示す。ジェット点火により総じて希薄域での運転限界が広がり、その領域での図示熱効率、NOx排出率の改善が認められる。図2-3に、燃焼の可視化結果を加工し、火炎の進行状態を示した結果を示す。通常点火状態において、天然ガス（図中の一番左列）よりもプロパン（図中の左から3列目）の方が火炎の広がりが速いと報告している。

北海道大学の Ogawa らにより、「Combustion and Emissions with Bio-alcohol and Nonesterified Vegetable Oil Blend Fuels in a Small Diesel Engine」²⁾と題して報告があった。ボア径 98 mm、排気量 830 cm³、圧縮比 18:1 の四ストローク単気筒エンジンに、低圧 EGR 供

Table 1-1 セッション別論文数（プログラム掲載分すべて）

分野	論文数
Engine Technology	14
Alternative Fuels	13
Engine Controls	10
Measurement and Simulation	10
Two-Stroke Engines	10
Advanced Combustion	8
Diesel Engines	7
HCCI	7
Hybrid Electric Drive, and Fuel Cell	6
Materials	6
Emissions and Environmental Impacts	4
NVH Technology	4
Fuel Supply Systems	3
Collegiate Events	2
Engine and Vehicle Components	2
Vehicle Dynamics	2
Lubricants	1
Total	109

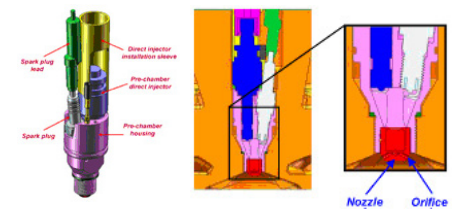


Figure 2-1 ジェット点火イグナイター

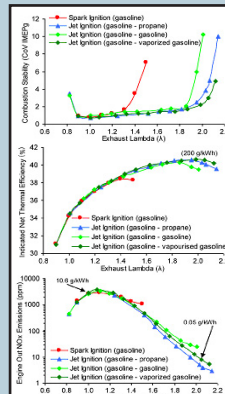


Figure 2-2 希薄域での燃焼安定性、図示熱効率、NOx 排出率

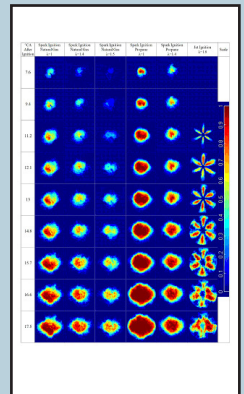


Figure 2-3 燃焼の可視化結果

給系、機械式過給機を備えた実験装置を用い、アルコール (Ethanol, 1-Butanol) と植物油 (非エステル化) の混合燃料を用いた際のパイロット噴射付きディーゼル燃焼の特性を調べている。投入熱量、EGR 率、噴射圧、噴射時期を変化させた系統的な実験を行っている。図 2-4 に示すように、Ethanol と植物油は混合しないが、Butanol と併せて混ぜると、混合することを示している。植物油の粘度が高いため、アルコールと混合することで、粘度を適正化できる。加えて、アルコールは着火性が低いため、着火遅れが長期化し、結果として上死点近傍にて高い等容度で予混合燃焼が可能である。また、パイロット噴射量を増加させ、後燃えを減らす効果もあり、結果として広い負荷領域で図示熱効率が高くクリーンな運転が可能である (図 2-5)。また、同混合燃料を用いることで、低噴射圧で大量 EGR を加えた条件に置いて、無煙運転が可能と報告されている。

大阪ガスの Takashima らにより、「Evaluation of the Effects of Combustion by Multi-Ignition in Natural Gas Engines」³⁾ と題して報告があった。ボア径 110 mm の単気筒エンジンを用い、都市ガス (13A) と空気の予混合気を供給し、通常のスパークプラグで火花点火燃焼させる方式において、多点点火が燃焼に及ぼす影響を調べている。主に、点火プラグの数と点火位置が、希薄燃焼限界と燃焼変動に及ぼす影響を報告している。図 2-6 に示すような、1 点、5 点、9 点点火により、希薄限界を調べた結果を図 2-7 に示す。点火プラグ数の増加に伴い、希薄限界が拡大している。図 2-8 に、点火プラグ数が「点火時期から 5% 熱発生時期までの期間 θ_{ig-5} 」および「見かけの熱発生量が 10% から 90% に達するまでの期間 θ_{10-90} 」に及ぼす影響を示す。1 点点火では、多点点火に比べて、 θ_{ig-5} と θ_{10-90} の双方が長期化しているが、特に θ_{ig-5} の長期化が顕著であることが分かる。また、5 点点火と 9 点点火を比べると、 θ_{ig-5} は若干改善するものの、 θ_{10-90} はほとんど変わらないことが示されている。

Univ. of Wisconsin-Madison の Pohlkamp らにより、「Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) in a Single-Cylinder Air-Cooled HSDI Diesel Engine」⁴⁾ と題して報告があった。ボア径 78 mm、排気量 299 cm³、圧縮比 17:1 の小型空冷四ストローク単気筒エンジンに、軽油の直噴とガソリン予混合気を吸入し、自着火燃焼をさせる、Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) 燃焼方式の特性を、ディーゼル運転と比較している。図 2-9 および図 2-10 に、直噴時期を変化させた際の RCCI の性能を、ディーゼル運転と比較した結果を示す。RCCI により、特に高負荷では高い熱効率を保ったまま、NOx と PM の同時低減が可能である。しかし、特に低負荷ほど燃焼効率、HC、CO 排出、熱効率の悪化が起こる。低負荷では、排気温度が触媒の Light-off Temp. よりも低くなるため、その対策が必要である。例えば、吸気絞りによる吸入空気量制限により、排気温度を増加させることが必要と述べられている。

3 バンケットと UW-ERC 見学

講演会中日の 10 月 17 日の夜より、ウィスコンシン大学の Memorial Union Building にて、バンケットが開催された。

バンケットの開催前に、本大会 SAE 側 Technical Committee Chair の Prof. Jaal Ghandhi により、Univ. of Wisconsin (UW)、Engine Research Center の実験室見学会が開催され、数多くある実験室にて丁寧な説明を受ける機会があった。バンケットでは、UW のマーチングバンドによる演奏が披露された (図 3-1)。

【参考文献】

- 1) Elisa Toulson, Andrew Huisjen, Xuefei Chen, Cody Squibb, Guoming Zhu and Harold Schock, William P. Attard, Visualization of Propane and Natural Gas Spark Ignition and Turbulent Jet Ignition Combustion, SAE 2012-32-0002 / JSAE 20129002.
- 2) Hideyuki Ogawa, Hari Setiaprja, Kosuke Hara, Gen Shibata, Combustion and Emissions with Bio-alcohol and Nonesterified Vegetable Oil Blend Fuels in a Small Diesel Engine, SAE 2012-32-0017 / JSAE 20129017.
- 3) Yoshitane Takashima, Hiroki Tanaka, Takahiro Sako, Evaluation of the Effects of Combustion by Multi-Ignition in Natural Gas Engines, SAE 2012-32-0065 / JSAE 20129065.
- 4) Kyle Pohlkamp, Rolf Reitz, Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) in a Single-Cylinder Air-Cooled HSDI Diesel Engine, SAE 2012-32-0074 / JSAE 20129074.

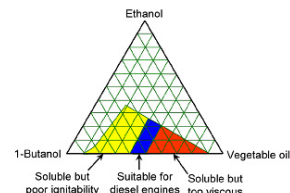


Figure 2-4 エタノール、1-ブタノール、植物油の混合可能域

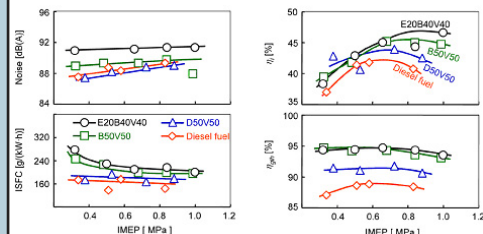


Figure 2-5 エタノール (図中の E)、ブタノール (図中の B)、植物油 (図中の V) 混合燃料の燃焼特性 (ノイズ、図示燃費率、図示熱効率、等容度)

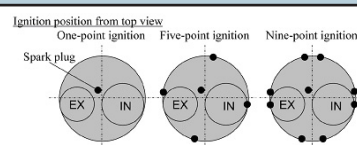


Figure 2-6 各点火プラグ数における点火位置

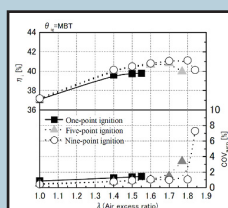


Figure 2-7 多点点火が希薄燃焼特性 (熱効率、IMEP 変動率) に及ぼす影響

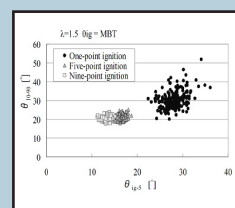


Figure 2-8 多点点火が点火遅れと燃焼期間に及ぼす影響

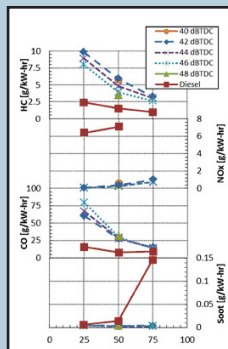


Figure 2-9 RCCI 燃焼による各負荷での排ガス特性比較

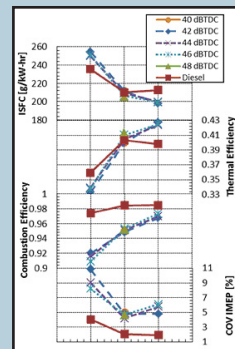


Figure 2-10 RCCI 燃焼による各負荷での性能比較



Figure 3-1 バンケットでの UW マーチングバンドによる演奏