

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 3 No. 2 2013

JSAE エンジンレビュー

特集：「蘇る日本の乗用車用ディーゼル1」

～乗用車用ディーゼルエンジンの現状と将来展望～

～将来のディーゼル燃料～

～ディーゼルエンジン燃焼コンセプト～

：数値シミュレーションから見えること

：解析技術の役割

レポート：自動車技術会秋季大会

NEWS & INFORMATION



公益社団法人 自動車技術会

コラム●エネルギーの大宗を担う石油：金子 タカシ／編集委員	1
特集： 「蘇る日本の乗用車用ディーゼル1」	
～乗用車用ディーゼルエンジンの現状と将来展望～	2
～将来のディーゼル燃料～	5
～ディーゼルエンジン燃焼コンセプト～	
：数値シミュレーションから見えてくること	8
：解析技術の役割	11
レポート：自動車技術会秋季大会	13
NEWS & INFORMATION	19

■ 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 2 月 27 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

●コラム

エネルギーの大宗を担う石油



編集委員
金子 タカシ
Takashi KANEKO

JX 日鉱日石エネルギー（株）
Nippon Oil & Energy Corporation

エネルギー、燃料の基本要件は、環境適合性、供給安定性、経済性のいわゆる3Eである。さらに、東日本大震災を機に3Eの大前提として「安全・安心」が加わり、S+3Eとされる。これらの要件をバランスよく満たしていることが極めて重要であって、環境負荷が非常に小さくても、資源量が極めて限られていたり、極めて高価であったりすれば、広く使用されるエネルギーとはならない。また、安価で資源量が豊富であっても、環境負荷が非常に大きくてはやはり問題である。従来は環境適合性に特化した議論もよく見られたが、震災後の原発問題も含めたエネルギー議論においては、供給安定性や経済性への関心も高まり、特に供給安定性が重要視されるようになった。

石油資源は、こうしたS+3Eを満足するものとして、一次エネルギーの大宗を占める。例えば、震災前の2009年度の国内のエネルギー供給量をみると、石油は 8.80×10^{18} Jで全体の42.1%になる。これと比較すると原子力は 2.41×10^{18} J、11.5%でしかない。最近、脱原発を巡って種々の議論がなされており、その是非、可否をここで論ずることはしないが、「脱石油」については極めて非現実的と断じざるを得ない。今後も少なくとも数十年にわたっては、石油はエネルギーの大宗を担うと見込まれており、重視すべきは石油資源の安定供給、高度利用である。なお、オイルピーク論に代表されるように石油資源の枯渇を懸念する意見もあるが、オイルサンドやシェールオイル等の非在来型石油資源も含めれば十分な資源量があり、枯渇を過度に心配する必要はないと考える。

石油資源の高度利用としては、ガスや石炭を含めたエネルギー資源全体のベストミックスを図るとの観点も含めて、石油資源の特長が活きる分野での利用を優先していくことが挙げられる。また、石油製品は連産品であり、今後の需給構造変化も見越して、連産品間のシフト（重質油を分解してガソリンや軽油にしたり、エネルギー利用と化学品原料利用の自由度を拡大すること等）を考えることも重要である。石油エネルギーの特長はエネルギー密度が高い液体燃料として、運搬性、貯蔵性に優れる点にある。この特長は自動車用をはじめとする輸送用燃料に特に適している。自動車は自らを動かすエネルギー源を搭載する必要があり、エネルギー密度が高いことは本質的な優位性となる。また、石油系燃料は燃料供給インフラが既に整備されているために見落とされがちだが、インフラへの燃料の輸送、インフラでの燃料の貯蔵、インフラでの給油を考えた場合も、さらに原油の輸入や備蓄を考えた場合も、エネルギー密度が高く運搬性、貯蔵性に優れるとの特長が優位であることは明らかである。加えて、石油エネルギーは、高エネルギー密度であっても、原油の採掘、輸送、燃料製造、燃料利用の各段階において、安全、安心を確保する方法が確立されている。

特に自動車用をはじめとする輸送用燃料として、石油エネルギーの優位性は明確であり、利用するエンジン技術と共に当面は主流の位置をゆずることはないと考える。

特集：蘇る日本の乗用車用ディーゼル1 ～乗用車用ディーゼルエンジンの現状と将来展望～

Diesel Revival in Japan

～ Present Situations and Future Trends on Diesel Engines for Passenger Vehicle ～

日産自動車株式会社：木村 修二

Shuji KIMURA (Nissan Motor Co., Ltd.)

1 はじめに

21世紀に入り、環境問題が深刻化する中で、二酸化炭素（CO₂）、窒素酸化物（NOx）など、自動車から排出される排気ガスの改善が望まれてきた。高効率だが、クリーン化が遅れていたディーゼルエンジンも、燃焼制御や後処理システムの革新的進歩によって、排気性能は大幅に改善されガソリン車と同等レベルにまで達するようになってきた。その一方で、ハイブリッドシステムやダウンサイジングターボなどの登場によって、ガソリンエンジンの燃費が大幅改善され、これまで熱効率の優位性を大きな武器としていたディーゼルエンジンを取り巻く環境も大きく変化しようとしている。

本報では、ディーゼルエンジンの本来の特性、および最新のディーゼル技術について解説しながら、世界市場の中で今後、ディーゼルエンジンが取り組むべき課題と将来の方向性について考察する。

2 ディーゼルエンジンの特性

2.1 ディーゼルが高効率の理由

ディーゼルの燃費の良さについて、その本質に基づいて、解説してみよう。

理論熱効率 $\eta_{th} = 1 - \varepsilon^{(1-\kappa)} \times A$

A: オットーサイクル = 1

ディーゼルサイクル = $(\sigma - 1) / \kappa(\sigma - 1)$

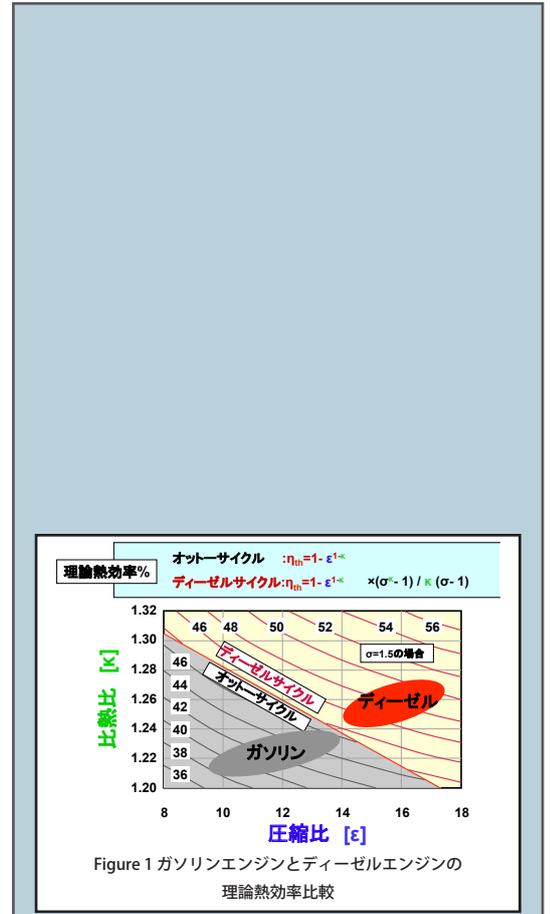
ε = 圧縮比, κ = 比熱比, σ = 締切比 (> 1)

この理論熱効率の式から、オットーサイクル、ディーゼルサイクル共に、圧縮比 (ε) と比熱比 (κ) が大きい程、理論熱効率が高いことが分かる。一般にディーゼルエンジンは、 ε が高くリーン燃焼のため、 κ が大きな値となると知られている。図1に、ガソリンとディーゼルの ε と κ の比較を示す。昨今、直噴エンジンの登場によりガソリンエンジンは高 ε 化しているが、まだ、高 ε 、高 κ のディーゼルの熱効率レベルには達していない。ディーゼルが高圧縮比でリーン燃焼できる理由は、軽油の自己着火特性にある。軽油の場合、温度、圧力があるレベルに到達すると、自己着火に至る。ディーゼルの燃焼過程をみると、上死点付近で燃料が噴射され、ピストンに形成された燃焼室の中で空気と混合、着火に至る。そして、ピストンが下降する際に生じる大きな乱れによって、周囲の酸素を取り込みながらさらに燃焼を続け、完全燃焼に至る。そのため、火炎伝播を必要とするガソリンエンジンのように、予め燃料と空気を 1:1 で混合する必要がないため、リーン燃焼が可能となる。さらに、負荷に応じた空気量制御が不要なため、ポンピングロスがないことも、高効率の要因の一つとなっている。

2.2 軽油のもたらすメリット・デメリット

軽油の特性は、ディーゼルエンジンの高効率の要因である一方、悪影響ももたらしている。表1に軽油のもたらすメリット&デメリットをまとめた。

軽油の大きな特性は、自己着火性に優れている点と、粘度が高いという二点である。着火性の良さは、前節で解説したように、高圧縮比、リーン燃焼を実現し、高熱効率の要因となっている。しかし、とすると、一気に燃焼し、燃焼音を増大させるため、過給機による着火遅れ期間（燃料の噴射を開始する噴射時期から着火が起こる時期までの期間）の短縮や、コ



軽油の特性	もたらす現象	メリット デメリット	高コスト部品
着火性が高い (高セタン値)	高圧縮比化	燃費がいい	—
	未燃HCが少ない		
	リーン燃焼	三元触媒が 使えない	リーンNOx触媒 SCR
	リーン燃焼	三元触媒が 使えない	ターボ化 (着火遅れ、熱容量) 多段噴射
粘度が高い	一気に燃焼する	音がうるさい	—
	蒸発しにくい	微粒化が不可欠 スモークが発生	高圧噴射 フィルター(DPF)

モンレールによる多段噴射等での燃焼制御が不可欠である。一方、高粘度特性は、噴射速度や噴射弁仕様によっては、蒸発や空気との混合に悪影響を与え、高負荷などでスモークが大量に生成されるなどの要因となっている。この対策として、噴霧の微粒化促進のための高圧噴射系や、スモークを除去するディーゼル・パテキュレート・フィルタ (DPF) が必要となってくる。

このように、軽油のデメリットは、ディーゼル特有の高圧噴射系や過給機、後処理技術によって克服されてきた。その一方、ガソリンに対しては、どうしてもコスト高という体質を造り出している。

3 ディーゼルエンジンを支える技術の変遷

一昔前のディーゼル車の印象は、“うるさい”、“走らない”、“汚い”であった。しかし、その悪いイメージは、最新技術で武装した今のディーゼル車にはもうない。本章では、今のディーゼルエンジンを支える最新技術について、欧州市場における乗用車のディーゼル比率の変遷 (図2) と共に解説する。

最もインパクトのある技術革新は、燃料噴射系の進歩にある。1991年、燃費が良いが音がうるさい等の理由で大型用にしか用いられていなかった『直噴式 (DI) ディーゼル』が、乗用車に初めて適用される。それまで乗用車に用いられてきた、燃費が悪いが音が静かな『副室式 (IDI)』に変えて、『直噴式』の適用を可能にした大きな技術革新が、燃料噴射系の高圧化であった。当時の噴射系は、未だカム駆動方式であったが、高圧化できたことで、噴射弁の小噴孔径が可能となり、燃焼騒音、高速域のスモークが大幅に改善された。

第二の噴射系の技術革新は、1997年に登場するコモンレール式噴射系である。これにより、いつでも、何度でも燃料を噴射することが可能となり、“うるさい”といわれていた燃焼騒音の低減においては革命的な進歩をもたらし、欧州での乗用車ディーゼル比率が飛躍的に増加する原動力となった。

さらに、ディーゼルの本質的な課題である“スモーク (=汚い)”の排出量を、燃焼制御だけでは到底達成できないゼロレベルまで改善し、その後のディーゼルの運命を大きく変えたのが、2000年に登場するDPFである。また、近年、リーン雰囲気 (排ガス中の酸素濃度が高い状態) で使用できるNOx触媒も実用化され、NOx低減も、大幅に進んだ。

一方、“走らない”というイメージは、過給システムの進化と共に消える。2006年にルマン24時間レースに初参戦したディーゼル車が優勝し、その後も連続優勝していることは、ディーゼルの動力性能の高さの証明である。

図3には、ディーゼルエンジンの比トルク、比出力の図を示す。初期の“ウエストゲート式”に続いて、“可変ノズル式”が登場し、低回転から高回転までの広い範囲で過給が可能となった。さらに近年、低速用と高速用のターボを直列に配した“2Stageターボ”により、比トルク、比出力は、大幅に改善された。そして、2012年に登場したBMWの3Stageターボシステムは、過給に強いディーゼルの特質を、最大限活かし、250Nm/L、93kW/Lという驚異的な動力性能を実現している。

4 ディーゼルを取り巻く世界情勢

図4に、日本国内のディーゼル乗用車のNOx規制の変遷を示す。1970年代前半、国内の排気規制が導入され、1970年代後半には、三元触媒の登場で、一気に排気性能を向上させたガソリン車に対し、三元触媒が使えないディーゼルの排気規制強化は、大幅に遅れ「ディーゼルは今後生き残れるだろうか?’とまで言われた時代があった。しかし、現在の日米欧の排気規制レベルは、ほぼガソリンエンジンと同等のレベルに到達し、現在それをクリアしたディーゼル車が次々と登場し続けている。

このことは、ディーゼル車が、将来生き残る原動機の一つと成り得たことを証明している。さらに、これまで欧州との排気規制の違いから、ディーゼル車の投入が困難であった日本市場においても、Euro6技術の応用によって、多くのディーゼル車の投入が計画されており、新たな市場としての可能性も出てきている。

一方、世界の排気規制に目を向けると (図5)、日米欧ではガソリン並みの排気性能を要求されるのに対し、他の諸国では、2015年レベルでもEuro4,3、またはそれ以下の規制が多く存在する。また燃料性状に注目すると (図6)、燃料に含有される硫黄濃度も、日米欧では10ppm以下を実現しているのに対し、100ppm、あるいは1,000ppm以上の国も多く存在しており、多様な規制への対応がますます求められている。

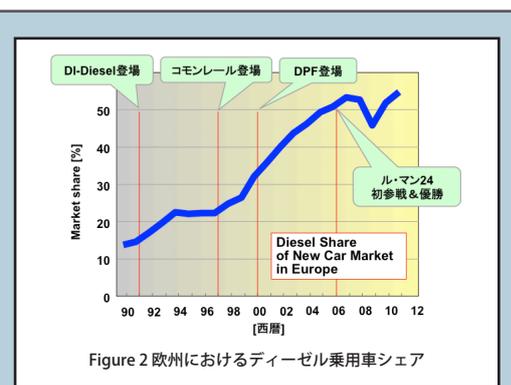


Figure 2 欧州におけるディーゼル乗用車シェア

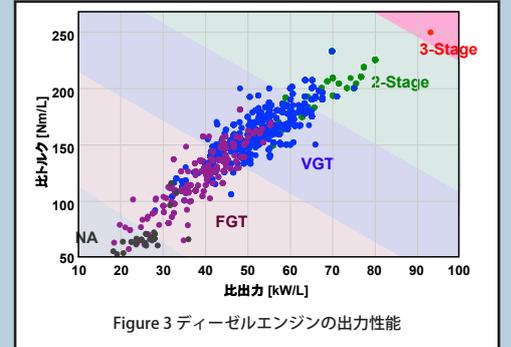


Figure 3 ディーゼルエンジンの出力性能

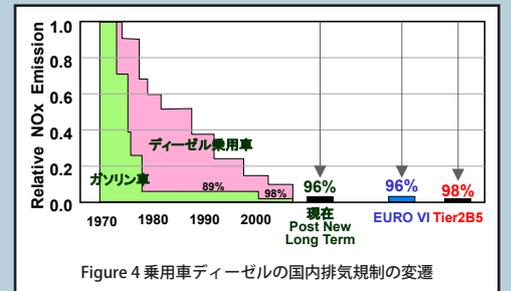


Figure 4 乗用車ディーゼルの国内排気規制の変遷

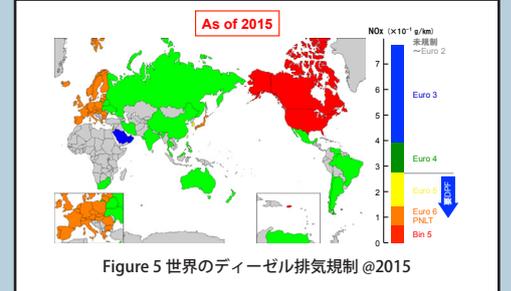


Figure 5 世界のディーゼル排気規制 @2015

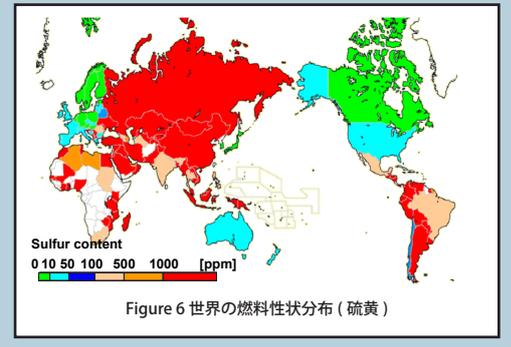


Figure 6 世界の燃料性状分布 (硫黄)

では次に、乗用車の販売動向を見てみよう（図7）。まず日米欧では、2005年時点の3,500万台から2020年の3,700万台へと微増が予想される。一方その他の諸国では800万台から5,600万台へと大幅に増加する。

これらから、世界の乗用車の台数は大幅な増加傾向にあること、特にBRICSなどの新興国の増加が際立っていることがわかる。そして、世界の要求値は、最先端の排気技術を駆使するものから、ロバスト性・粗悪燃料への対応と言った実用性を重要視するものまでと、拡大傾向にあると言える。このように、世界を見ると、よりクリーンな排気性能を要求する地域がある一方、耐久性や燃費といったより実用的な性能を求める地域からの要求も大きくなっていくことが予想され、今後は多様なニーズへの対応が必須となるであろう。

5 ディーゼルの将来展望

1980～2000年にかけて乗用車用ディーゼルは、その排気特性故に将来生き残れるかどうかの危機に直面していた。しかし、DPFやコモンレール噴射系、NOx触媒などの救世主の登場で、その危機を乗り越え、今では、ガソリン車に匹敵する排気性能を実現している。その一方でガソリン車の燃費は、ダウンサイジングターボやハイブリッド車の登場などにより、大幅に進歩し続けている。ディーゼルがその燃費の良さだけを前面に、このままコストアップを続けていけば、いつの日か、ディーゼルがなくなる可能性も否定できなくなる。

しかし、ディーゼルのコスト高の主要因である、高圧噴射系、過給機などは、ディーゼルの本来持つデメリットを克服するために不可欠なものである。コスト削減のために、これらを排除すれば、ディーゼル本来のメリットまでも失ってしまう。

現在のディーゼルのコスト構造を調べてみると、台数効果が出ていない部品が多いことが分かる。それは、台数そのものが少なかったり、車種、地域毎に部品使用を変えたりすることが要因である。また、同時に車種・地域毎の開発が開発費を増大させ、それが償却費の増大にもつながって、大きな問題の一つとなっている。より進む多様化への対応と、エンジンの仕様統合による台数効果の改善という、相反する両立を如何に実現するかが、今後の取り組むべき大きな課題の一つであろう。

そのためには、今後世界的に多様化する要求に対して、エンジンの仕様を増やさずに対応する技術開発が必要である。更なるグローバル化が進み、開発のスピードが要求される将来においては、高機能化する噴射系、過給、後処理システムなどの開発のための人材や技術を確保する必要がある。地球環境に貢献するエコカーを創出するという大局に立てば、企業間の垣根を越えての協力体制も考える時期に来ていると思う。その上で、ディーゼルの本質を捉え、ディーゼルでしか創造できない価値を追及し、次世代を担う動力源を提供していくことが、今後の方向性の一つではないだろうか。

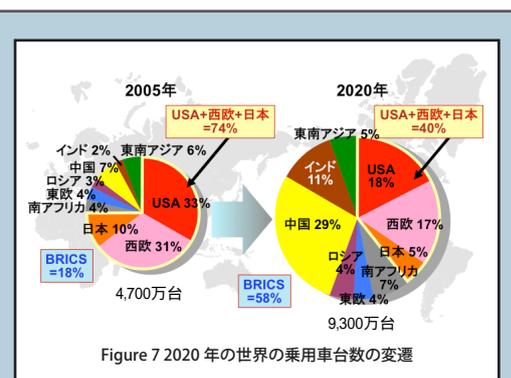


Figure 7 2020年の世界の乗用車台数の変遷

特集：蘇る日本の乗用車用ディーゼル1 ～将来のディーゼル燃料～

Diesel Revival in Japan

～ Diesel Fuel in future ～

J X 日鉱日石エネルギー, JSAE ER 編集委員：金子タカシ

Takashi KANEKO (JX Nippon Oil & Energy)

1 はじめに

燃料,あるいはより広くエネルギーには,図1に示す通り,環境適合性(Environment Protection),供給安定性(Energy Security),経済性(Economic Efficiency)のいわゆる3Eが必要とされる要件であり,一つの観点からではなく,総合的にとらえることが重要である。

本稿では,将来のディーゼル燃料として,軽油から,バイオマスを含む液体燃料の一次エネルギー資源の多様化の動向についてみていく。

2 軽油のサルファーフリー化

ディーゼル車は,熱効率は高いが,排出ガスの中のPMやNOx等の低減が課題とされてきた。燃料品質面からの排出ガスクリーン化対応としては,軽油中の硫黄分の低減が必要とされる。我が国の軽油の硫黄分は,図2に示す通り段階的に引き下げられ,2005年からは石油業界の自主的な取り組みとして,2007年の規制に前倒して「サルファーフリー」といわれる10ppm以下となっている。軽油の硫黄分低減は世界的にも進められており,米国は2006年以降15ppm以下,欧州は2009年以降10ppm以下である。

こうした軽油のサルファーフリー化は,ディーゼル車側で,DPFやNOx低減触媒といった排出ガス後処理装置の性能を十分に引き出すことを容易にし,厳しい排出ガス規制に対応した「クリーンディーゼル車」の導入を可能にした。今後,都市大気汚染へのディーゼル車の寄与は大幅に小さくなるものと見込まれている。

3 乗用車のディーゼルスフト

我が国においては乗用車に占めるディーゼル車の割合は極めて低い。欧州では乗用車におけるディーゼル車比率が高いのとは対照的である。

ディーゼル車は,ガソリン車と比較すると燃費性能に優れるため,乗用車においてガソリン車からディーゼル車への転換が進むと,温室効果ガスのCO₂排出を低減することが可能となる。また,軽油はガソリンと比較すると精製工程でのエネルギー消費,CO₂排出が少ない。これは,図3に示す通り,軽油は原油の常圧蒸留により得られる留分を水素化脱硫した直留基材が主体であるのに対し,ガソリンは常圧蒸留,水素化脱硫に加えて改質や分解等のより多くの処理工程が必要なことによる。したがって,乗用車におけるガソリン車からディーゼル車への転換は,燃費が優れることによる使用段階でのCO₂低減に加え,燃料製造段階でのCO₂も低減できる。

また,連産品であるガソリンと軽油の構成比という観点からも,我が国の軽油の需要がある程度増加してくることは,生産得率上は問題なく,むしろ需給バランスの適正化が図れる。

我が国においては,乗用車にはディーゼル車がほとんどラインアップされておらず,実質上選択肢のほとんどない状態が続いていたが,最近,クリーンディーゼル乗用車の市場導入が拡大してきており,今後の普及が期待される。

4 分解系軽油基材の利用

我が国では,図4に示す通り,エネルギー供給構造高度化法によって,石油精製業者は重質油分解装置の装備率の引き上げが求められている。これは,新興国の石油需要の増加,原油の重質化・需要の白油化,国内需要の減少などの今後の石油を取り巻く内外環境の中で,

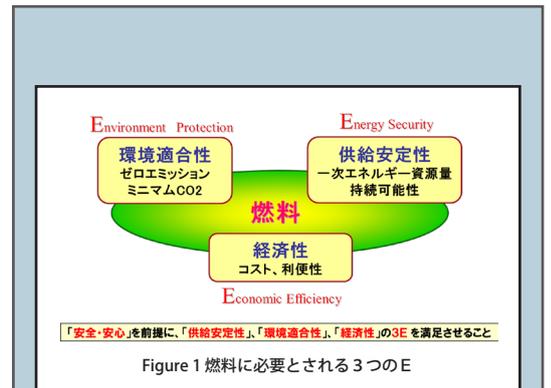


Figure 1 燃料に必要とされる3つのE

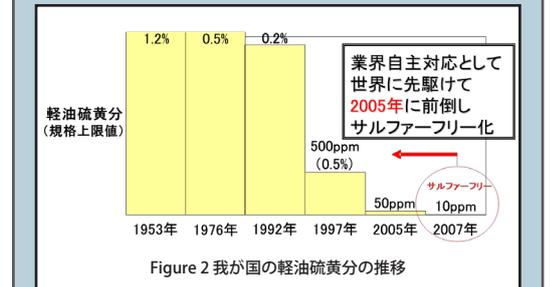


Figure 2 我が国の軽油硫黄分の推移

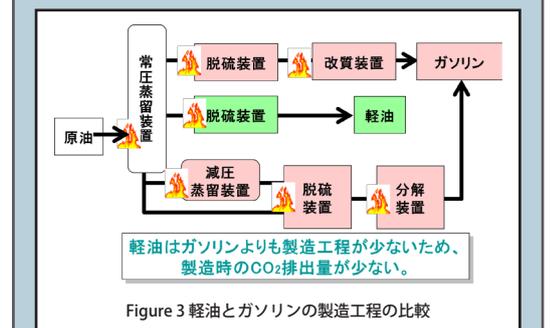


Figure 3 軽油とガソリンの製造工程の比較

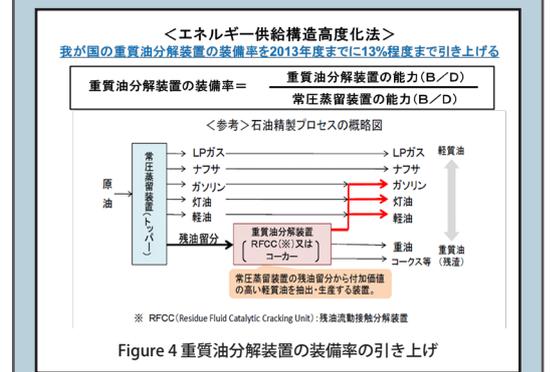


Figure 4 重質油分解装置の装備率の引き上げ

石油資源の有効利用に取り組むための設備面での対応である。

今後は重質油の分解によって得られる分解系軽油留分を、軽油基材として活用することが必要となる。分解系軽油は、一般に芳香族分やナフテン分等の環状化合物が多く含まれており、セタン価が低い。我が国の市場軽油のセタン価は、欧米と比較して高いレベルにあるが、分解系軽油の利用増に伴い、セタン価が低下してくると考えられる。また、こうしたセタン価低下の影響と合わせて、分解系軽油が酸化安定性やコモンレールのデポジット生成等の信頼性に及ぼす影響等も把握して、安全・安心の確保を前提に分解系軽油を活用していくことが重要である。

5 液体燃料の一次エネルギー資源の多様化

自動車用燃料等の輸送用燃料には、エネルギー密度が高く、利便性に優れた液体燃料が適している。こうした液体燃料である軽油やガソリンは、これまでは主に石油資源（原油）から得ていたし、今後も液体燃料の一次エネルギー資源としては石油資源が大宗を占めるものと考えられる。ただし、石油資源が本質的には有限な資源であること、世界的には新興国を中心に液体燃料の需要が伸びていくと見込まれること等を背景として、在来型の石油資源以外からも液体燃料を製造する動き（液体燃料の一次エネルギー資源の多様化）も広がっていくと考えられる。

こうした液体燃料の一次エネルギー資源の多様化の対象は、図5に示す通り、化石資源とバイオマスとに大別することができる。化石資源として、まずはオイルサンド、シェールオイルといったいわゆる非在来型石油資源を挙げることができる。オイルサンドは高粘度のタール状原油を含む砂岩層のことで、カナダではオイルサンドからピッチューメン、超重質油と呼ばれる油が採取されている。シェールオイルは地下にある頁岩（シェール）に含まれている油であり、北米のシェールオイルはWTI原油とほぼ同等の品質であるといわれている。こうした非在来型石油資源は、採掘技術の進歩や、油価高騰による採算性の改善により、生産が広がっている。シェール革命といわれるように、非在来型資源はその膨大な埋蔵量から、資源の供給性や経済性に大きな影響を与える。

液体燃料の一次エネルギー資源の多様化としては、天然ガスを液体燃料化するいわゆるGTL（Gas to Liquid）もある。GTLは、図6に示す通り、一般に、天然ガスを合成ガス（水素と一酸化炭素）に転換する合成ガス製造プロセス、合成ガスからFT（フィッシャー・トロプシュ）合成と呼ばれる化学反応により液体炭化水素（粗油）を合成するプロセス、液体燃料粗油からナフサ、灯油、軽油等を製造するアップグレーディング（水素化処理）プロセスからなる。GTL軽油は、硫黄分を含まない高セタン価のパラフィン系炭化水素である。また、石炭からも合成ガス製造、FT合成により液体燃料化することが技術的には可能であり、CTL（Coal to Liquid）と呼ばれる。GTLやCTLの普及には、液体燃料化することのメリットが、プラント建設コストを含む採算性に見合うかが鍵となると考えられる。

6 バイオ燃料

バイオ燃料は、原料である植物が成長する際に光合成によって大気中のCO₂を固定化するので、温室効果ガスのCO₂の増加を抑制する効果がある。特に京都議定書においては、バイオ燃料の燃焼によるCO₂をゼロカウントとみなすカーボンニュートラルが適用されている。ディーゼル車用として軽油に混合利用されるバイオ燃料は、図7に示す通り、菜種油、大豆油、パーム油等の植物油、あるいはこれらを食用油として利用した後の廃食用油を原料として、メタノールで処理することにより得られる脂肪酸メチルエステル（FAME: Fatty Acid Methyl Ester）が最も広く用いられている。また、これらの植物油等は、水素で処理することにより、軽油中の成分と同じ炭化水素にすることも可能であり、水素化バイオディーゼル燃料（HBD）あるいは水素化植物油（HVO）と呼ばれる。また、植物油ではなく草木類を原料として、ガス化、FT合成により液体燃料化することも技術的には可能である。

FAMEは、原料の植物油によっても構成する成分分布が異なるが、二重結合を持つ、酸素分を含む等、軽油とは特性が異なる点がある。我が国では、表1に示す通り、品質確保法によって軽油中のFAME量は5質量%以下とされ、FAMEを0.1質量%以上含有する軽油にはトリグリセリド、酸価、酸化安定度等の追加の要求品質が設けられている。

5%超の高濃度でFMAEを混合した軽油は、酸化安定性の低下、曇り点より高い温度での析出物、エンジン油希釈等の品質面での懸念点がある。酸化安定性は二重結合を二つ以上持つFAMEの影響が大きく、曇り点より高い温度での析出物は微量成分の影響が大きいとされる。

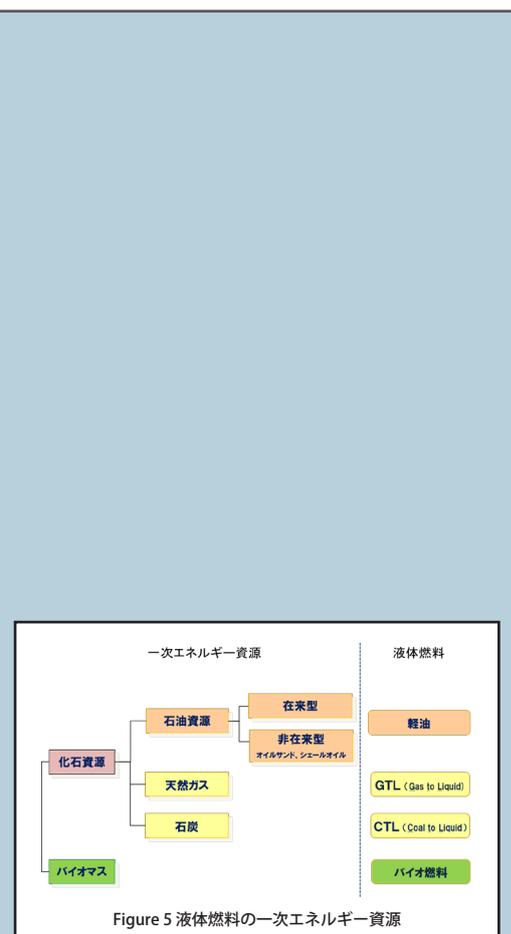


Figure 5 液体燃料の一次エネルギー資源

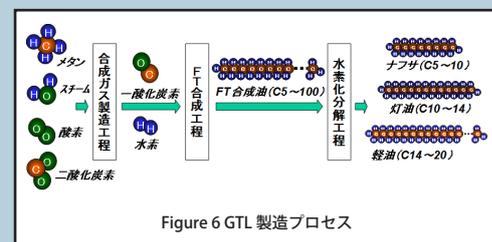


Figure 6 GTL 製造プロセス

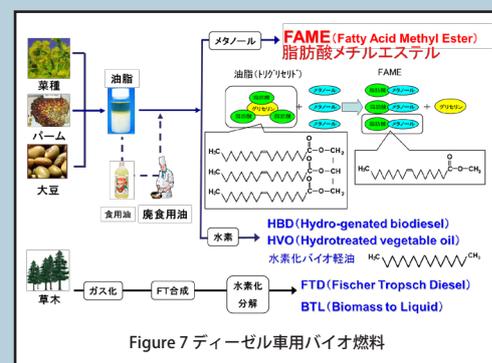


Figure 7 ディーゼル車用バイオ燃料

Table 1 軽油の強制規格（品質確保法）

項目	満たすべき基準	分類
硫黄分	0.001質量%以下	環境(大気汚染防止)
セタン指数	48以上	環境(大気汚染防止)
蒸留性状(90%留出温度)	380度以下	環境(大気汚染防止)
トリグリセリド	0.01質量%以下	エンジンラプル防止
脂肪酸メチルエステル	0.1質量%以下	エンジンラプル防止
メタノール	0.01質量%以下	エンジンラプル防止
酸価	0.13mgKOH/g以下	エンジンラプル防止
不飽和、酢酸及びプロピオン酸の合計	0.003質量%以下	エンジンラプル防止
酸化安定度(注)	85分以上	エンジンラプル防止

脂肪酸メチルエステルが0.1質量%を超え、5質量%以下の場合には「*」の項目も満たす必要がある。
注) 当分の間、酸価の増加の測定方法において測定した数値が0.12mgKOH/g以下である軽油は、酸化安定度の基準を満たすものとみなす

また、FAMEは軽油の重質成分に相当する留分のため、エンジン油中に残存しやすく、エンジン油の動粘度の低下や酸化安定性の低下を引き起こす。このようにFMAEは品質面での懸念点が多く、バイオ燃料の利用においては、水素化等によって軽油と同等品質の炭化水素系燃料に変換することが品質的には望ましいと考えられる。

バイオ燃料の利用拡大には、品質面だけでなく、図8に示すようなより大きな課題がある。第一の課題は、供給安定性、経済性の両立である。廃食用油や農業残渣等を原料として、地産地消でバイオ燃料として利用することは尊重されるべき取組みではあるが、資源量や収集コストを含む経済性の制約から、エネルギー利用全体への寄与度は極めて限定的であることを理解しておくことが重要である。特に少量の資源活用のために、全体のエネルギー供給が過度の制約を受けてはならない。食糧との競合回避もバイオ燃料の重大な課題で、食料価格への波及や耕作地競合といった問題までを含めて考える必要がある。バイオ燃料は、実際には原料収集、運搬、加工等の工程でCO₂の発生がある。よって、そのCO₂削減効果については、カーボンニュートラルではなく、製造から消費までの全過程（ライフサイクル）でのCO₂削減効果で評価することが重要であり、既存燃料に対してライフサイクルでのCO₂削減水準を50%とすることが方向性となっている。

これらのバイオ燃料の課題に対応するために、次世代バイオ燃料の技術開発が進められている。その一つが微細藻燃料で、微細藻は陸上作物と比較して単位面積当たりの生産性が高く、食糧との競合が小さい等、バイオ燃料原料として高いポテンシャルを持つ。

7 まとめ

将来のディーゼル燃料については、在来型石油資源からの軽油が大宗を占め、石油高度利用の観点から分解系基材の軽油への利用が拡大していく。世界的な液体燃料需要増への対応等として一次エネルギー資源多様化の本命は、資源量のポテンシャル等から非在来型石油資源であろう。GTLの利用拡大は採算性が鍵となる。バイオ燃料は資源量、経済性の制約が大きく、利用拡大には次世代バイオ燃料の技術開発が期待される。

ディーゼル燃料は、各地域の資源事情によって品質が多様化していく可能性があり、エンジン側は幅広い品質の燃料への対応が重要になると考える。

- 供給安定性・経済性の両立
⇒ 量の確保、調達コスト、輸入先一國依存
- 食糧との競合回避/環境保全
⇒ 食料価格への波及、耕作地競合
エタノール・・・サトウキビ、とうもろこし等
BDF・・・パーム油、菜種油、大豆油 等
⇒ 森林破壊
- CO₂削減効果の定量化
⇒ 生産～輸送～製造のLCA評価

Figure 8 バイオ燃料の課題

特集：蘇る日本の乗用車用ディーゼル1

～ディーゼルエンジン燃焼コンセプト：数値シミュレーションから見えてくること～

Diesel Revival in Japan

～ *The Concepts of Diesel combustion: Messages from results of numerical simulation* ～

早稲田大学：草鹿 仁

Jin KUSAKA (Waseda University)

1 はじめに

我が国が今後も継続的に世界経済の主役に君臨するためには、自動車産業が日本経済を牽引し続ける現実的なシナリオが必要である。このためには、先進国から新興国まで多様な市場に対応した自動車を限られたリソースで開発し、適正な価格で販売しなくてはならない。環境対応車として位置づけられているクリーンディーゼル乗用車も世界戦略車としてより一層の低燃費化、低公害化を図ることが重要である。本稿では、ディーゼル燃焼の数値計算結果を基に、クリーンディーゼルエンジンの将来燃焼のコンセプトについて考察したので報告する。

2 ディーゼル燃焼の基礎

2.1 燃焼過程

直径 120 mm、厚さ 40 mm の円筒形容器内を雰囲気圧力 2.7 MPa、雰囲気温度 970 K の空気で満たし、噴射圧力 80 MPa にて 17.5 mg の燃料を 3.8 ms 間噴射するケースを計算対象とした。このときのディーゼル燃焼の熱発生率、各化学種の計算結果を図 1 に示す。0 ～ 1.0 ms における低温酸化による緩やかな熱発生後、高いピーク値を有する第一期燃焼が 1.0 ～ 1.5 ms において認められる。これは、噴射された燃料が分裂、蒸発して周囲空気と混合し混合気を形成し、ある化学反応遅れの後に混合気が一気に燃焼するためである。代表的な時刻における温度および当量比の分布を図 2 に示す。図のカラーバーは赤い色が高い値、青い色が低い値を表している。温度 (Temp.)、当量比 (ϕ) の最大値 (max.)、中間値 (med.)、最小値 (min.) の値は図中下部の黒枠内にそれぞれ示している。第一期燃焼期間の $t = 1.3$ ms における温度分布図において、赤色の部分は 2400 K 以上の高温域である。これより、第一期燃焼は燃料噴霧の先端からある程度離れた位置の噴霧軸中心の両側から起こることが示唆される。第一期燃焼後の 1.5 ～ 8 ms の間では図 1 で示されるように緩やかな熱発生が持続した後、熱発生は次第に減衰してゼロとなる。この期間は第二期燃焼期間と呼ばれ、燃料噴射期間中 (0 ～ 3.8 ms) は、図 2 の 2.5 ms の温度分布図で見られるような赤色の高温反応帯が馬蹄状の形態をとる。反応帯内側からは燃料が吹き込まれ高温帯で囲まれているため蒸発し、外側からは酸化剤である酸素が輸送され反応帯上で両者は衝突し反応する。燃料分子は、燃料ジェットによる質量、運動量の付加が燃料分子を反応帯へ供給する駆動力となっている。燃焼速度は燃料分子、酸素分子の拡散 (供給) 速度に依存し、かつ、反応帯の位置は内側からの燃料分子の輸送速度と外側からの酸素の輸送速度がバランスすることで決まることになる。例えば、燃料分子の反応帯への拡散・供給速度が低下すれば、反応帯は内部に進行することになる。このように、第二期ディーゼル燃焼は分子の拡散が燃焼速度を律することから拡散燃焼と呼ばれる場合がある。前述のように、燃料噴射が継続して行われている間は常に上部から反応帯の内側に燃料分子は供給され反応帯に向かって拡散する。当量比分布において赤色部分の存在領域から分かるように、反応帯の内側は当量比が高く高燃料濃度で酸素不足であるのに対し、反応帯外側の燃料濃度は低く酸素が豊富に存在する。また、温度分布と当量比の分布を見比べると、当量比分布の緑色の部分に反応帯が存在することが分かり、当量比 $\phi = 1 \sim 1.25$ 付近で反応帯が形成されていることが読み取れる。燃料噴射が完了した後は燃料供給源がないので、5.2 ms の温度画像のように高温の反応帯は内部の燃料を消費するように内向きへ進行し、馬蹄状の反応帯は崩壊する。そして、図 1 の熱発生率から明らか

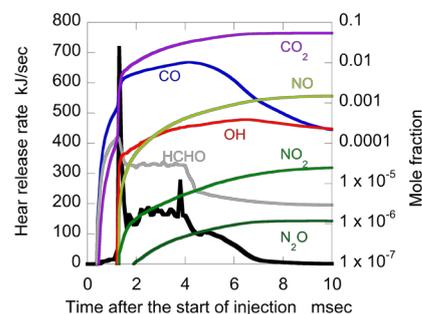


Figure 1 ディーゼル燃焼過程における熱発生率と代表的な化学種の履歴 (噴射圧力: 80MPa, 噴射期間: 3.8 ms, 燃料噴射量: 17.6 mg)

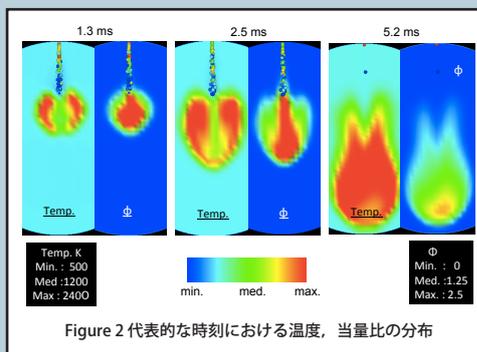


Figure 2 代表的な時刻における温度、当量比の分布

ように、8 ms 付近で燃料を消費しつくし燃焼が完了する。燃焼にかかわる化学種は一酸化炭素 (CO) ,ホルムアルデヒド (HCHO) が、当初、高濃度で生成される。その後、第一期燃焼から CO₂, OH が生成され、CO は CO₂ に酸化される。

2.2 窒素酸化物 NOx の生成過程

図 1 で示したように、NO は混合燃焼終了後から緩やかに生成され燃焼終了とともに一定値に達する。自動車用ディーゼルエンジンの燃焼においては、NO の生成は一般的には下記の拡大ゼルドビッチ反応で記述されるサーマル NO が支配的であることが知られており、主に高温帯で生成される。これらの反応の活性化エネルギーは非常に高く、NO 生成量は温度に対して高い感度を有する。逆にいうと、燃焼温度を低下させることでできれば、NO の生成を抑制することができる。比熱の大きい三原子分子の CO₂ や H₂O を吸気に混入させる排気再循環 (EGR : Exhaust Gas Recirculation) は燃焼による温度上昇を抑制するため、NO 対策として常套的に用いられる手段である。



t = 5.5 ms における NO および NO₂ の濃度分布を図 3 に示す。触媒機能に重要な役割を果たす NO₂ は高温領域で生成されたサーマル NO がより希薄な反応帯外側に拡散し酸化されることで生成される。同図においても、主に既燃領域と雰囲気との界面において NO₂ が生成されているのはこのためである。両者のカラーバーの最大値を比較すると、燃焼過程においては、NO と比較すると NO₂ の生成量は一桁から二桁程度少ないことは明らかである。ちなみに、低温では NO - NO₂ の平衡濃度は NO₂ が大半を占めるため、大気中に放出された NO はやがては NO₂ に変換される。したがって、エンジンの排出ガス中の NO は NO₂ になるものとして排出重量換算されることになる。

2.3 Soot 微粒子の生成過程

Soot 生成質量が最大となる t = 4.0 ms 付近における Soot 濃度分布、粒子密度の分布を図 4 に示す。反応帯内側により包まれた中程度の温度 (2000 K 以下) 域で、かつ、酸素分子の少ない領域で燃料分子が熱分解を起こし、結合が切れた箇所に付加する H 原子等が不足するために重結合物質が生成される。これらの分子は、芳香族等の環状物質を生成し、さらにこれに不飽和炭化水素や環状物質が付加することで多環化し巨大分子化するとされている。そして、分子の炭素数が 100 程度に達すると、変化し、Soot 微粒子の核になると考えられている。さらに、この核に不飽和炭化水素が付加することで核成長し微粒子径は増加することになる。微粒子は排気行程あるいは排気管で互いに凝集し、ぶどうの房状の形状となり排出されることが知られている。

図 4 から、Soot の粒子数は噴霧の中心で高い値となっていることが分かる。これは、特に混合気濃度の高い領域で Soot の核生成反応が促進されているためである。噴射開始から計算終了時である t = 18 ms までの Soot 質量、数密度の履歴を図 5 に示す。Soot の質量は、4 ms 付近で最大値をとった後、酸化反応が進み、最終的にはほぼ酸化されていることが濃度履歴から明らかである。粒子数密度もピーク値をとった後、酸化、凝集により減少傾向に転じていることが分かる。図 5 の 1.8 ms 付近の様子から初期に形成された微小粒子の個数が急激に増加しても、Soot 質量は殆ど増加していないことは興味深い。このような微小微粒子は重量に対する寄与度は少ないものの、肺の深層部に進入することが懸念されており、今後は Soot 質量の排出抑制は勿論のこと、小さな径を有する Soot 粒子の排出個数抑制の対策を講じることが重要である。

3 理想的なディーゼル燃焼コンセプト

以上前章まで、数値計算結果を基にディーゼル燃焼について概説し、NOx および Soot の排出過程を考察した。NOx と Soot の生成ゾーンはそれぞれ、「反応帯上または反応帯外側付近」と「反応帯内部」と異なり、それらの排出特性は二律背反の関係にあることから同時低減が難しいことが知られている。図 6 にディーゼル噴霧におけるある断面の空気過剰率の分布のイメージを示す。図中の黒線が通常のディーゼル噴霧における λ の分布を表している。軸中心では混合気濃度は過濃であり、反応帯外側では希薄になっている。λ_h はこれ以上混合気濃度が薄くなると完全燃焼に至らない希薄限界における空気過剰率、λ_l は Soot 生成のリミッ

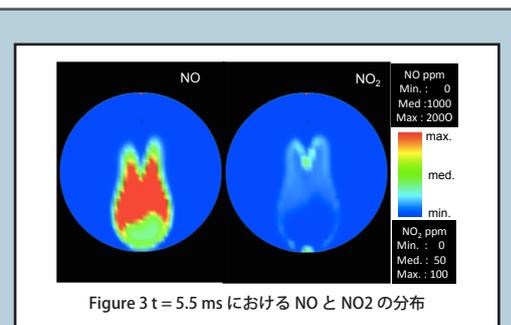


Figure 3 t = 5.5 ms における NO と NO₂ の分布

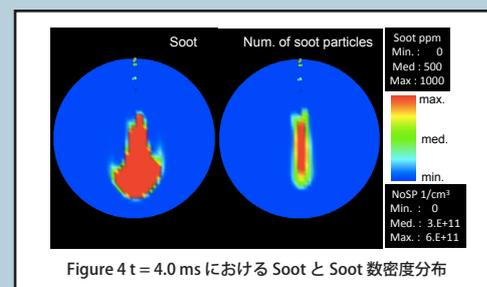


Figure 4 t = 4.0 ms における Soot と Soot 数密度分布

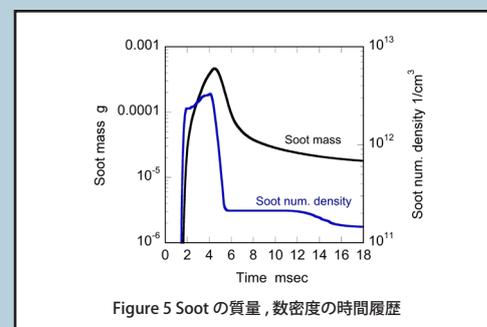


Figure 5 Soot の質量、数密度の時間履歴

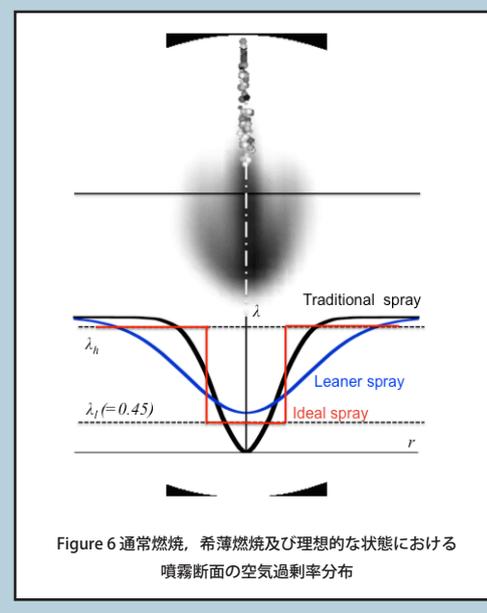


Figure 6 通常燃焼、希薄燃焼及び理想的な状態における噴霧断面の空気過剰率分布

トでこれ以下となると Soot を生成してしまう限界値であり、両者は図中において破線で表されている。黒線で示されるように、通常のディーゼル燃焼では希薄限界以上の混合気は殆ど存在しないが、Soot の生成限界 λ_1 以下の濃い混合気は存在する。このため、噴霧内部に空気を導入することで Soot の生成量を低減をすることになるが、このときの状態を記したのが図中の青線となる。全体的に λ の最低値が上昇し λ_1 を回避しているため Soot は生成しない。しかしながら、希薄限界を超える混合気量が増加するため、未燃燃料や不完全燃焼生成物質が増大し燃費の悪化を引き起こしてしまう。理想的なディーゼル燃焼のコンセプトは Soot 生成を抑制するために局所的な空気過剰率で $\lambda_1=0.45$ 以上となることが求められ、かつ、青色の線のように希薄領域が増大してはならない。例えば、図中赤線のような空気過剰率の分布を混合気内に形成することができれば、Soot、NOx および燃費の同時改善が可能になる。このような混合気を形成するためには、噴射された燃料ジェット内に比較的早い段階で空気を導入し、混合気が過度に分散することを抑制するために、噴霧体積自体はコンパクトにする流体力学的な内部構造が必要であるものと考えている。

4 まとめ

数値流体コードを用いディーゼル燃焼についてシミュレーションを実施し燃焼過程および排出ガス生成過程について概説した。また、理想的なディーゼル燃焼のコンセプトを空気過剰率分布で示した。近い将来、このようなコンセプトの燃焼を有したエンジンが出現することを大いに期待する次第である。なお、本稿で示した燃焼の動画を <http://www.f.waseda.jp/jin.kusaka/simulation.html> に示したので、本稿と合わせてご参照していただければ幸いです。

特集：蘇る日本の乗用車用ディーゼル1 ～ディーゼルエンジン燃焼コンセプト：解析技術の役割～

Diesel Revival in Japan

～ The Concepts of Diesel combustion: The role of Diagnostics and Numerical Simulations ～

京都大学, JSAE-ER 編集委員：川那辺 洋

Hiroshi KAWANABE (Kyoto University, JSAE-ER Editing Committee)

1 まえがき

近年、いわゆる低温ディーゼル燃焼と呼ばれるリッチ無煙燃焼¹⁾やPCI燃焼²⁾等の新たなディーゼル燃焼コンセプトが提案されてきた。これらの多くは、まず基本的なアイディアに基づいて実験的に現象が捉えられ、それに可視化・計測あるいは数値解析の手法を適用することにより、新たな燃焼コンセプトとしてその考え方が確立されてきたと思われる。すなわち、数値解析による試行を用いて新たな現象を捉えるのは、現在のところ、その数値モデルの適用範囲の狭さから困難となっている。一方、これら新コンセプト燃焼法において、さらなる低エミッション、高効率を目指すためには、その最適化の手法として、可視化・計測あるいは数値モデルを用いた解析技術はやはり欠かせないものであろう。本稿では、近年発表された各種の論文からこれらの解析技術に絞って、簡単な解説を行うとともに、筆者の私見を加える。

2 各種解析技術と応用例

2.1 ϕ -Tマップに基づく燃焼解析

近年、数値解析のデータを読み解くにあたってよく用いられるいわゆる“ ϕ -Tマップ”を用いて、ディーゼル排気中のスモークおよびNOxの低減方法を考察する方法は、1988年にKamimotoおよびBaeによって提案された³⁾。図1はその結果の一例であり、過濃混合気をスモーク生成領域よりも高温で燃焼させ、急速に希薄化するとともに温度を下げることによって、スモークおよびNOx生成領域を避けて燃焼させる概念を示したものである。一方、2001年にAkihamaらは過濃混合気を低温で燃焼させることによってスモークおよびNOxの同時低減が可能であることを ϕ -Tマップにより示した¹⁾。図2はCFDで計算された各計算セルにおける (ϕ, T) をあらかじめ作成したマップ上にプロットしたものであり、過濃領域において低い温度にすることによって低スモーク運転が実現していることを示した。このように“ ϕ -Tマップ”は、現象を理解しコンセプトとして確立するには有効な手法であろう。

一方、これらで用いられているマップでは、平衡状態あるいは十分に時間がたった後の各種濃度を用いているために、非定常な燃焼過程の各時刻における排気各成分の生成過程の詳細な議論をする際には注意を要する。すなわち、燃焼の最適化を検討する際には、燃焼過程における混合気の時間履歴あるいはそれに伴って ϕ -Tマップ上の各種領域がダイナミックに変化することを考慮して解析に供することが必要になるであろう。

2.2 COの生成解析および低減方法

NOx低減のために、近年のディーゼル燃焼が高EGRにより比較的低温となるために、未炭化水素やCOの排出が問題となる場合がある。冬頭らは筒内のCO分布を計測するとともに、CFDにより生成過程を解析し⁴⁾、燃焼室形状の提案を行っている⁵⁾。COの計測には2光子励起LIFが用いられ、図3に示すように噴霧燃焼が伴った条件における分布の可視化に成功している。さらにこの結果に基づいてCOの生成モデルを構築し、筒内の流動・燃焼計算に適用した。その結果、筒内におけるCO生成の様子を詳細に明らかにするとともに(図4)、抑制するために燃焼室の提案がなされた。

NOxあるいはスモークの生成および低減方法については、現在まで様々な側面から検討がなされてきているが、とりわけ、NOx低減のために燃焼温度が比較的低下した条件では、こ

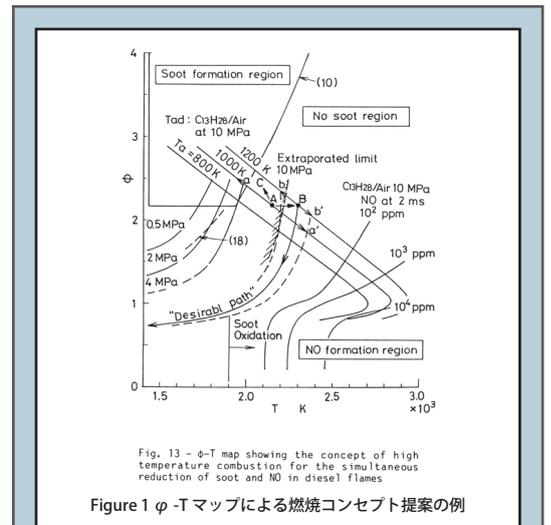


Figure 1 ϕ -Tマップによる燃焼コンセプト提案の例

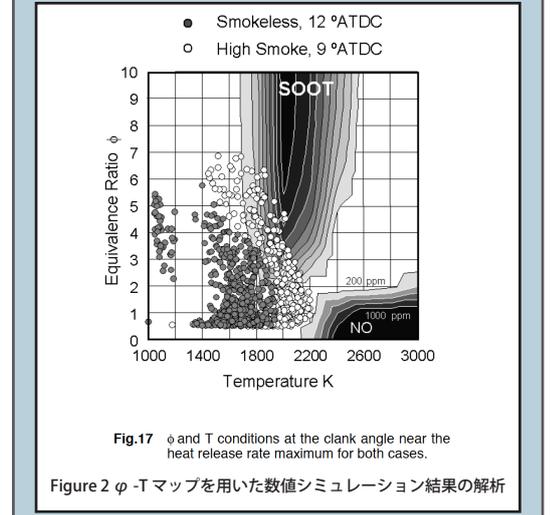


Figure 2 ϕ -Tマップを用いた数値シミュレーション結果の解析

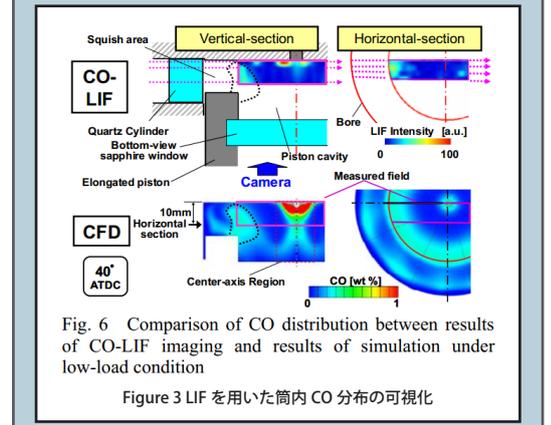


Figure 3 LIFを用いた筒内CO分布の可視化

のように CO あるいは未燃炭化水素等の排出が問題となる場合もあり、今後これらについても、その生成メカニズムを解明するとともに低減方法を検討する必要がある。

2.3 燃焼室壁温の計測

高効率化を目指すためには、熱損失低減は有効な手段の一つであり、壁面温度あるいは熱流束を計測することは重要である。この観点から、熱電対を用いて燃焼室壁の熱流束が計測されている^(例えば6)。この手法では、定量的に求まる壁内部の温度変化の結果に基づいて、熱流束を直接算出するために、非常に高精度であるが、熱電対の取り付けに技術的なノウハウが必要であり、幅広く用いるには困難な面も大きい。一方、近年レーザー誘起燐光を用いて温度を計測する試みがなされている。例えば小酒らは感熱燐光体 (La₂O₂S:Eu) にレーザーを照射した際に、その温度によって燐光の強度、寿命およびスペクトルが変化することを利用して、100℃から 300℃程度の壁温が計測できるとしている⁷⁾。図5はガラス壁面に沿って燃焼する噴霧火炎の直接撮影と壁面背後より得られた燐光強度より求めた温度分布であり、非燃焼条件と比較して示す。また、図6は燐光寿命に基づき計測した壁温および壁面熱流束の結果の一例である。このような手法において、計測精度を向上するのは困難であるが、実際のエンジンでは、定性的な温度分布が計測できるだけでも、データとして有益であるために、このような計測手法のエンジン適用は、熱損失を減じた燃焼方法を検討する上でも重要となるであろう。

3 あとがき

以上、近年のディーゼル燃焼における解析技術をいくつか紹介した。これら計測・解析技術は今後もアイデアの支援、最適化のツールとして利用されるのみならず、制御ツールとしても幅広く用いられる可能性があり、様々な側面からの開発が期待される。

参考文献

- (1) K. Akihama, Y. Takatori, K. Inagaki, S. Sasaki, et al., "Mechanism of the Smokeless Rich Diesel Combustion by Reducing Temperature," SAE Technical Paper 2001-01-0655, 2001.
- (2) N. Shimazaki, T. Tsurushima and T. Nishimura, Dual-Mode Combustion Concept with Premixed Diesel combustion by Direct Injection near Top Dead Center, SAE Paper, 2003-01-0742,(2003).
- (3) T. Kamimoto and M. Bae, "High Combustion Temperature for the Reduction of Particulate in Diesel Engines," SAE Technical Paper 880423, 1988.
- (4) T. Fuyuto, R. Ueda, Y. Hattori, K. Akihama, et al., "Analysis of CO Emission Sources in Diesel Combustion with Multiple Injections", Proc. of COMODIA 2012, EE2-2, (2012).
- (5) 冬頭 孝之・植田 玲子・服部 義昭・水田 準一・秋濱 一弘, 他4名, ディーゼル燃焼のCO排出要因解析(第3報) - CO排出低減方法とその検証, 自動車技術春季大会講演会, 20125208, (2012).
- (6) M. Emi, Y. Aoki, S. Kimura Y. Enomoto, A Prediction Formula for Heat Transfer Coefficient on Combustion Chamber Walls in Internal Combustion Engines, Proc. of COMODIA 2012, LE1-2, (2012).
- (7) 小酒英範, 河内陽平, 大西毅, 相澤哲哉, 感熱燐光体を用いたディーゼル機関燃焼室壁面温度の画像計測, 日本機械学会論文集(B編), 74巻, 738号, pp.490-497, (2008).

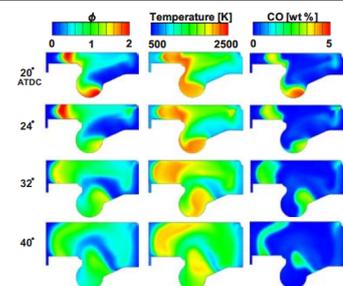


Fig. 11 Simulation results under high-load condition

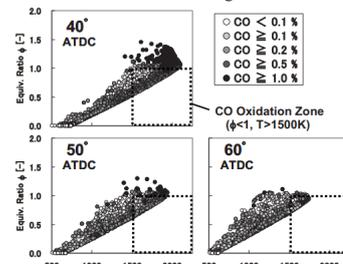


Fig. 12 CO mass fraction distribution on phi-T map under high-load condition

Figure 4 数値シミュレーションによるCO生成解析の結果

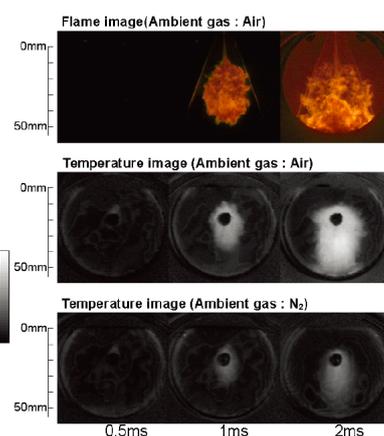


Figure 5 燐光強度による壁温の計測結果

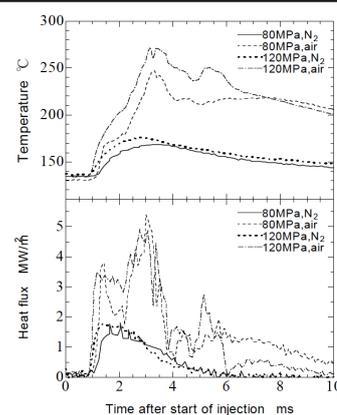


Figure 6 燐光寿命に基づく壁温および壁面熱流束の計測結果

レポート：自動車技術会 2012 年秋季大会

Report of JSAE Annual Congress (Autumn)

日時：2012 年 10 月 3 日～ 5 日
場所：大阪国際会議場
主催：公益社団法人 自動車技術会

JSAE-ER 編集委員会：下田 正敏，佐藤 唯史，清水 健一

Masatoshi SHIMODA, Tadashi SATO, Ken-ichi SHIMIZU (JSAE-ER Editing Committee)

1 はじめに

2012 年 10 月 3 日から 10 月 5 日に大阪国際会議場において，自動車技術会秋季大会学術講演会が開催され参加登録者数 1775 名の参加があった。本稿ではエンジンの排出ガス，燃費およびその周辺に絞って，その中から幾つかについて要約して報告させていただくこととする。

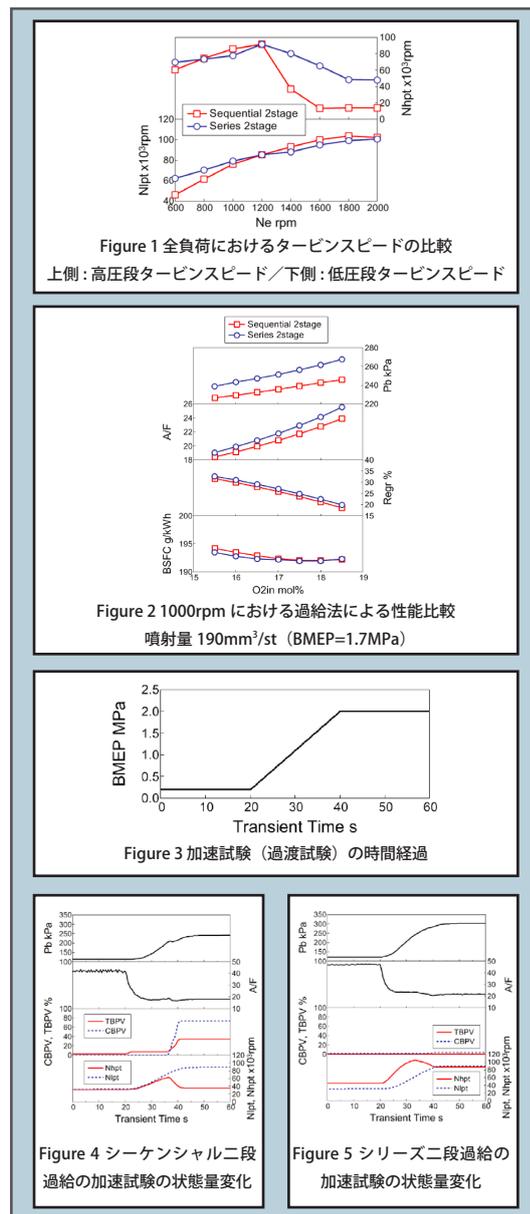
2 ディーゼルエンジン関連

2.1 ディーゼル燃焼

新エイシーの橋本等は「燃料消費率と排出ガスの同時低減を目指した二段過給システムの検討」²⁻¹⁾と題して講演を行った。エンジンは排気量 10.52L の L6，噴射系は最高噴射圧 220MPa のコモンレール式，高圧段と低圧段の過給機はともに無段階式可変容量式タービン，各コンプレッサの下流にインタークーラを装着，EGR は高圧ループと低圧ループを組み合わせた。高圧段過給機のコンプレッサ側とタービン側に夫々バイパス経路を持ちバルブにより高圧段コンプレッサおよび高圧段タービンをバイパスし，低圧段過給機のみで運転が可能なシステムである。このエンジンを用い，高圧段過給機を共通として二つの過給ストラテジの比較を実施した。一つは機関回転速度に応じて使用する過給機を切り替えるシーケンシャル二段過給である。低速重視の高圧段と高速重視の低圧段を選択し中速域で過給機を切り替える。もう一つは低速域より積極的に二段過給を実施できるようタービン容量の小さい低圧段と高圧段を直列に組み合わせたシリーズ二段過給である。図 1 に全負荷相当の各過給機の回転速度のシミュレーション結果を示す。図 2 は両過給法の性能比較である。同等 BSFC となる低圧段 VGT 開度とし，高圧ループの EGR のみを用いて吸気酸素濃度を変化させている。シリーズ二段過給はシーケンシャル二段過給に比較して低酸素濃度（低 NOx）時，燃費の悪化が少ない。また両過給法を過渡特性において比較した。1600rpm において図 3 に示す Ramp Response において状態量の変化をシミュレーションにより予測した。図 4 はシーケンシャル二段過給，図 5 はシリーズ二段過給の場合である。シーケンシャル二段過給は，高圧段タービン回転数 (Nlpt) が上昇した後，下降する。シリーズ二段過給では高圧段タービン回転数 (Nhpt)，低圧段タービン回転数 (Nlpt) とともに上昇しており，負荷変動に容易に追従できると考えられる。

大型商業車用ディーゼルエンジンでは，エンジンの回転数範囲が狭く且つ高過給が要求されることからシリーズ二段過給が一般的であり，今回の検討結果もそれを裏づけることとなった。

日産の西澤等は「ディーゼルエンジンの低温始動性改善策の研究」（第 1 報）副題：多段噴射による燃焼安定性改善の考察²⁻²⁾と題して講演を行った。乗用車様ディーゼルは燃費，出力，



排気の観点から低圧縮比化の傾向にある。その背反として極低温下における燃焼安定性の低下が挙げられる。方策として混合気形成の改善のため多段分割噴射を用いグローブプラグ近傍に注目して検討を行った。供試エンジンは排気量 2.5L, L4, 圧縮比 15 でコモンレール噴射系, グローブプラグ付きである。実機評価は外気温 -15℃でソークし実施した。まず最初に極低温化の燃焼改善に寄与する因子を明確にするため, 表 1 に示す噴射パターンにより図 6 に示すサイクル毎の燃焼解析を実施した。熱発生ピークは二つあり, 最初のピークがパイロット噴射, 2 番目のピークがメイン噴射によるものと考えられる。図中 Example 1 に示すようにパイロット噴射による上死点近傍の熱発生が高いサイクルは, その後のメイン噴射による熱発生も活発な燃焼になる。図 7 に両者のサイクル毎の相関を示す。この結果から極低温化の燃焼改善にはパイロット噴射の熱発生が重要と推察し, 影響因子の検討を行い, グローブプラグ近傍の温度と等量比が重要であり, その最適化により燃焼改善ができると考えた。

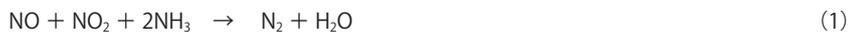
そこで次に多段分割噴射によるグローブプラグ近傍の温度と等量比について数値解析を行った。計算には社内で開発した時間スケール相互干渉燃焼モデル (TI 燃焼モデル, 詳細は続いて発表された第 2 報を参照) を用いた。噴射パターンは表 2 に示すように, 前項で実施したパイロット噴射 2 回のパターンを基点とし No.1, パイロット噴射を 3 回にし 1, 2 回を分割し少量にした No.2, パイロット噴射 3 回で初回噴射量を増やした No.3 の 3 種類を検討した。各噴射パターンによるグローブプラグ近傍の温度, 等量比の変化をクランクアングル毎に整理したのが図 8 である。初回のパイロット噴射量の多い No.3 は Section.1 において蒸発潜熱による温度低下が認められるが等量比が他と比較して高く, Section.2 において温度, 等量比ともになだらかに上昇し燃焼によるものと思われる急激な温度上昇が早く認められる。次に各噴射パターンによるグローブプラグ近傍の温度, 等量比分布状況を図 9 に示すが前項と略同じ傾向が認められる。

次にグローブプラグ近傍の温度と等量比の経過を考慮した代表指標として, 初回のパイロット噴射開始からメイン噴射開始までの平均の温度, 等量比と実機評価の IMEP との関係調べた。図 10 は各噴射パターンにおける算出した平均温度と平均等量比の関係であり, No.3 が平均温度, 平均等量比ともに大きく向上している。図 11 は, グローブプラグ近傍の平均温度と IMEP との関係であり両者は相関があり, 平均温度が高いと IMEP も高まることを確認できた。図 12 は, グローブプラグ近傍の平均等量比と IMEP の関係を示しており両者は相関があり, 平均等量比が高まると IMEP も高まる結果となった。

本研究は, 非常にフレームワークがしっかりした研究であり, 目標の設定, 仮説の構築, シミュレーション, 実験とサイクルが回り, 従来より予想されていたグローブプラグ近傍の温度, 等量比の挙動を明らかにしたうえで, よい結果を得ている。

2.2 ディーゼル後処理 II

日野自動車の佐藤等は「尿素 SCR システムの NOx 性能改善」^{2,3)} と題して講演を行った。大型車において尿素水を還元剤とした NOx 選択還元システムの導入が進んでいるが, 都市内走行や渋滞時などの排出ガス低温時 (200℃以下) の NOx 低減性能をいかに上げるかが重要な課題になっており, そのために SCR 触媒のゼオライト, 鉄系触媒, 銅系触媒の検討を実施した。低温での NOx 低減性能を改善するため以下に示す反応に注目した。

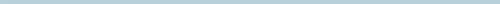
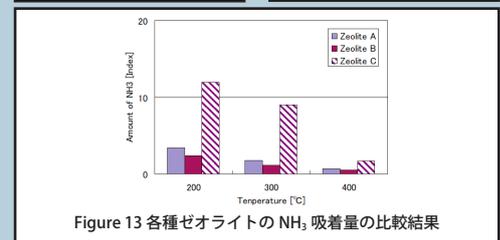
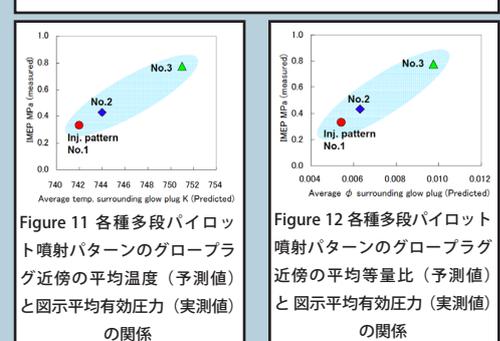
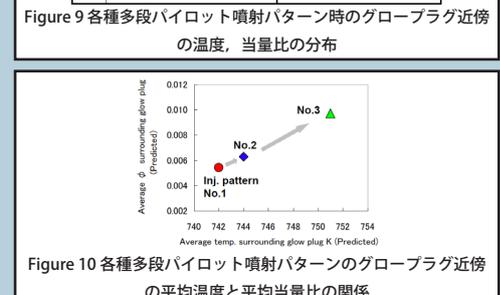
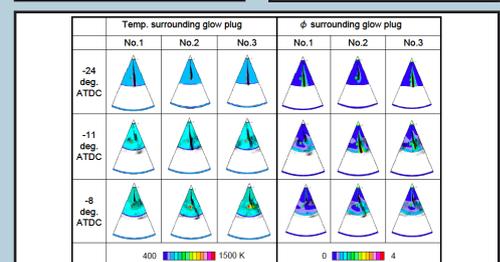
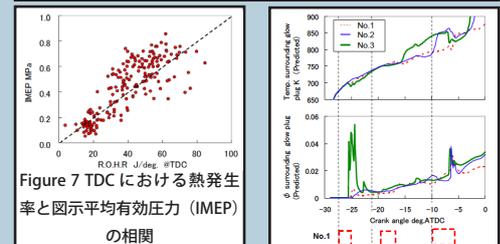
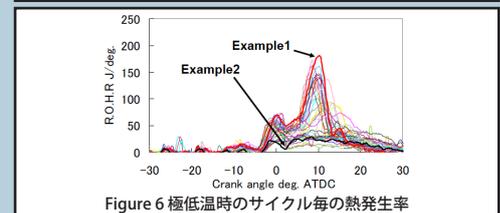


低温領域では前段酸化触媒の活性が低く NO から NO₂ への酸化反応が不十分であり (2) の反応がメインと考えられる。低温域での SCR 反応を活性化するには (1) の反応を促進する必要があると考え, 低温域での NO₂ の増大, NH₃ の供給 (吸着) に注目した。先ず最初に担体の各種ゼオライトを NH₃ 吸着の面より評価したのが図 13 である。次に反応場となる触媒上に NO, NO₂ の吸着量が増加する事により SCR 反応が促進されると考え活性金属 (鉄系, 銅系) 上の NO, NO₂ 吸着量の比較した結果を図 14, 15 に示す。銅ゼオライト触媒は鉄ゼオライト触媒と比較して NO の吸着量が多いが, NO₂ 吸着量はほぼ同等である。低温域では NO が主であるため, NO の吸着量の多い銅ゼオライトが SCR 反応を促進すると考えられる。

続いて SCR 反応で支配的な (1) の反応を促進するため担体の NO から NO₂ への酸化性能を評価した。図 16 に示すように NH₃ 吸着試験で吸着性能の高いゼオライト A とゼオライト C に銅を担持し NO 酸化性能を比較した。いずれも NO 酸化性能は温度とともに増加し NO₂ へ酸化されているがゼオライト C が高性能を示した。同時に NOx 低減性能 (200℃) を図 17

Table 1 エンジンの運転状態

Engine speed [rpm]	1100
Injection pres. [MPa]	50
Fuel Amount [mm ³ /st]	25
Ambient temp. [K]	258
Injection pattern	



に示す。ゼオライト C の NO_x 低減性能が高く、NO 酸化性能の向上が NO_x 低減に寄与していることが示唆された。

最後にこれ等の結果から、ゼオライト C に銅を担持し銅ゼオライト触媒とし、鉄ゼオライト触媒をリファレンスとし各温度域での NO_x 低減性能を評価した。図 18 に NO/NO_x=0.5 での評価結果を示す。200~250℃においてほぼ同様の性能を示している。これは、NO₂ の吸着量が鉄、銅ともに略同様であることにより触媒上に NO, NO₂, NH₃ が共存し、SCR 反応が進んだものと考えられる。図 19 は NO/NO_x=0.85 の評価結果を示す。この条件は、排出ガスが低温の領域で前段の酸化触媒の活性が低く NO から NO₂ への変換が不十分な状態に相当する。本条件では、銅ゼオライトが 200~350℃の温度範囲において鉄ゼオライトに比較的高い NO_x 低減性能を示した。これは前段で述べてきたように銅系触媒が、NO の吸着量が多く、また NO から NO₂ への酸化性能が高く、触媒上に吸着し他 NO を NO₂ に酸化し、SCR 反応を促進したためと考えられる。NO の比率が高い低温領域の実排出ガス条件においては、銅系触媒が NO_x の低減に有効である。

本研究も、SCR 触媒の低温活性の向上のため鉄ゼオライト、銅ゼオライトを取り上げ仮説の構築、担体機能試験、エンジン実機試験とサイクルを回しよい結果を得ている。

2.3 HCCI II

早大の伊藤等は「Dual Fuel 燃焼方式による重量車用エンジンの HCCI 燃焼の制御改善の研究」²⁻⁴⁾と題して講演を行った。HCCI 燃焼には多くの利点があるが、実用化には燃焼制御性の向上が大きな課題である。そこで本研究は、着火補助として少量の軽油を筒内に直接噴射し軽油の自己着火性を用いてガソリン予混合気の着火時期を制御する Dual Fuel 燃焼方式を検討した。実験装置には、従来の単気筒ディーゼルエンジンを用い吸気配管部にガソリンインジェクタを設置しポート噴射を行った。通常のディーゼル燃焼に使用する燃料として CN55 の軽油を、Dual Fuel 用のポート噴射を行う燃料として iso-Octan を用いてガソリンを代表させた。実験条件は表 3 に示すように 1200rpm、負荷は 20%、50%の 2 水準であり、Dual Fuel の場合、軽油とガソリンの投入熱量の合計が一定になるように制御し軽油の総投入熱量に占める割合を 20%とした。20%負荷におけるエンジン性能を横軸ディーゼル噴射開始時期で整理したものを図 20 に示す。同時にその熱発生率を図 21, 22 に示す。軽油の噴射時期が -50, -40deg.ATDC のとき NO_x は非常に低い。また PM も同様に低い。この時の熱発生率は図 21 に示すように一段となっている。これは早期噴射のため軽油混合気が希薄化し十分 iso-Octan 予混合気と混合し、多着火火燃焼に至っているものと推察する。-30, -20deg.ATDC の場合には NO_x の増加が認められ、この時の熱発生率は図 22 に示されるように二段となっている。これは着火遅れが短くなり希薄化が不十分で、さらに二段目の燃焼では急激な予混合気の圧縮着火が生じており、NO_x が増加したと思われる。また THC, CO は非常に高く、この原因は iso-Octan 予混合気の一部によるクエンチ領域の形成と混合気自体の希薄化によるものと思われる。燃料消費率 (BSFC) はどの条件でも比較したディーゼル燃焼より大幅に悪化している。原因は、希薄混合気による燃焼の緩慢化、未燃の THC, CO の大幅増加、過早な着火、燃焼による上死点前の圧力上昇が考えられる。

次に 50%負荷におけるエンジン性能を横軸ディーゼル噴射開始時期で整理したものを図 23 に示す。同時にその熱発生率を図 24 に示す。この図より熱発生は二段になっており、軽油が先に自己着火燃焼を起こし次に iso-Octan 予混合気が着火しているのが分かる。軽油の噴射時期を遅角化すると軽油の熱発生形状に大きな変化は見られず、且つ二段目の熱発生のピークを下げ燃焼期間を長期化している。この結果より今回の実験範囲では Dual Fuel 燃焼は、軽油の自己着火燃焼が燃焼開始源となり、軽油の噴射時期によって熱発生のピークを制御できることが分かる。NO_x, PM ともに非常に低い。これは希薄化、EGR による火炎温度の低下と均一予混合化の促進による過濃領域の低減によるものと思われる。燃料消費率 (BSFC) は -5deg.ATDC の時ディーゼル燃焼にほぼ同等になっているが dP/dθ_{max}, THC, CO は対比するディーゼル燃焼より悪化している。

本研究は、HCCI 燃焼の制御性の改善にガソリンと軽油を用いるという現実的な方法で困難な課題にチャレンジしており、今後の展開が期待される。(下田)

【参考文献】

2-1) 橋本宗昌, 小林雅行, 村山哲也, 内田登: 燃料消費率と排出ガスの同時低減を目指した二段過給システムの検討, 自動車技術会 2012 秋季大会学術講演会前刷集, No.132-12 (2012)

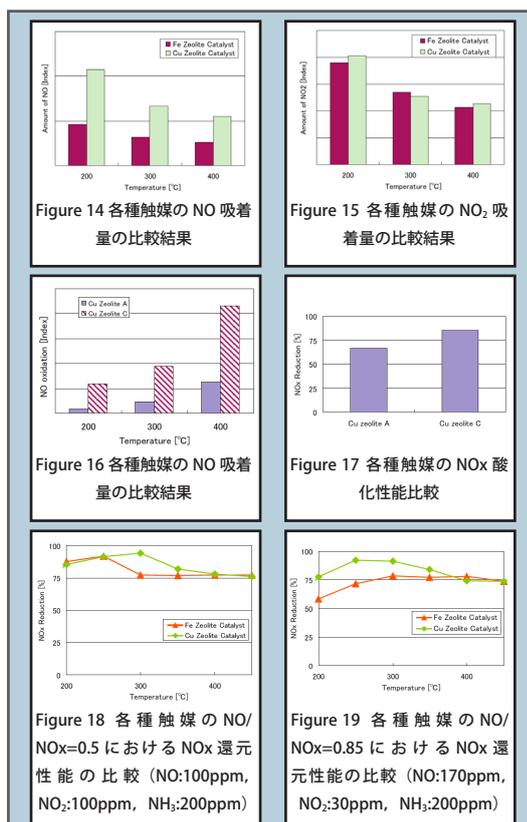
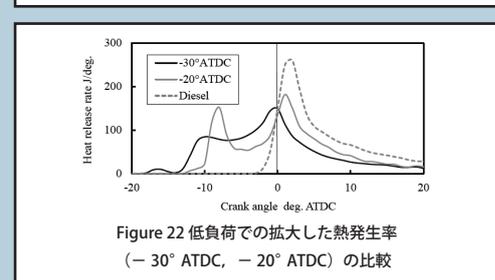
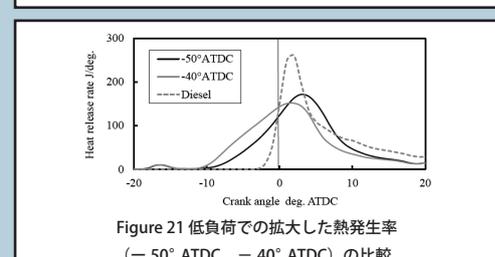
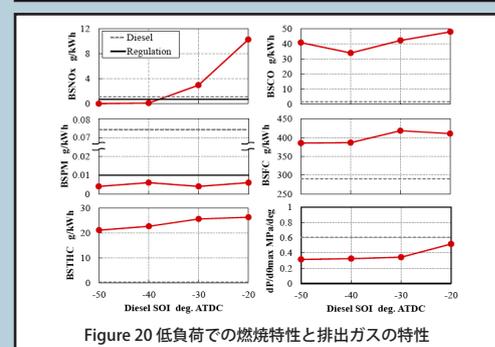


Table 1 エンジンの運転条件

Engine speed rpm	1200			
Load %	25 (low)	50 (medium)		
Boost pressure kPa (gauge)	25	60		
Injection pressure MPa	100	180		
Intake charge temperature deg. C	50	50		
EGR ratio %	Diesel 50	Dual fuel 30	Diesel 40	Dual fuel 45



- 2-2) 西澤透, 今岡佳宏, 飯尾秀一, 長谷川学, 河本桂二: ディーゼルエンジンの低温始動性改善策の研究 (第1報), 自動車技術会 2012 秋季大会学術講演会前副集, No.132-12 (2012)
- 2-3) 佐藤聡, 佐藤信也, 細谷満: 尿素 SCR システムの NOx 低減性能改善, 自動車技術会 2012 秋季大会学術講演会前副集, No.148-12 (2012)
- 2-4) 伊藤紘崇, 金田浩毅, チョウ テイ, 草鹿仁, 大聖康弘: Dual Fuel 燃焼方式による重量車用エンジンの HCCI 燃焼の制御改善に関する研究, 自動車技術会 2012 秋季大会学術講演会前副集, No.93-12 (2012)

3 直噴ガソリンエンジン, 火花点火機関

「直噴ガソリンエンジン」および「火花点火機関」では, 自動車メーカーとサプライヤーを中心に, 実用上の課題解決や排気改善・燃費向上などの研究開発が発表された。その中から4件の講演を紹介する。

内田ら³⁻¹⁾は, 直噴ガソリンエンジンにおける実用上の課題として, 冷間始動や暖機中の失火に着目し, 燃料液滴の付着による点火プラグのくすぶり性を短期間で改善する手法について報告している。ここでは, 燃料液滴を検出する為に, 波長が 2.7 μm である赤外光の吸収を利用しており, 点火プラグ型の光学センサを用いて計測している。図 25 に示すような透過光減衰の波形が計測され, 燃料液滴の通過によるスパイク状の信号から, 点火プラグに飛散する燃料液滴量を定義している。尚, この計測原理の妥当性は, 可視化エンジンを用いた散乱光画像による液滴計測との相関から判断されている。図 26 は点火プラグ近傍に飛散する燃料液滴量が 200 サイクル中の失火回数に及ぼす影響を調べた結果であり, エンジンの冷却水温度にかかわらず, ある燃料液滴量を超えると失火回数が急増する。また, 燃料液滴量は, 混合気が過濃であるほど噴射開始時期の影響を受けやすく, 噴射開始時期を遅角すると急激に増加することを明らかにしている。これらの知見に基づき, 噴射開始時期と空燃比を制御し, 点火プラグに飛散する燃料液滴量を抑制することで, くすぶりによる失火を回避する運転条件に短期間で適合できると述べている。

直噴インジェクタの噴流を筒内流動の強化に活用するファンスリット噴霧において, 壁面付着によるオイル希釈を抑制する為に, 鎗野ら³⁻²⁾は噴霧の燃料分配性に及ぼすノズル内流動の影響について詳細に調査している。図 27 は, 10 倍に拡大したアクリル製ノズルを用いて, サック内の渦挙動を可視化した画像であり, サック容積の削減による渦変動の低減効果を確認するために, サック形状を変更した Type A と, ニードル先端形状を変更した Type B を比較している。Type A および Type B ともにサック容積の削減により, Base と比較して渦スケールの縮小が確認でき, 圧力損失を招く渦変動の抑制に効果を示している。これらの形状を実寸ノズルに適用し, 噴霧形状と燃料付着パターンを調査した結果が図 28 である。Type A は噴霧中央部のペネトレーションが抑制され, 燃料付着は両端に集中するパターンを示しており, サック先端のくぼみ (図 27 中の A 部) が噴孔中央部への燃料流入を妨げていると推察している。この場合の燃料付着量は Base に比べて増加している。一方, Type B は噴霧先端がほぼフラットな形状を示し, 燃料付着パターンも両端に偏ることなく, Base と比較して燃料付着量は減少していることから, サック容積の削減とともに燃料分配の均質化が, 壁面付着の抑制に有効であると結論付けている。

伊藤ら³⁻³⁾は将来の粒子数規制を見通し, PM の排出量が多い直噴ガソリンエンジンの対応手段として, パティキュレートフィルタ (以下 GPF) を適用した場合の有効性について報告している。GPF の適用は大別して, 既存の三元触媒後に追加する方法と, 三元触媒をコーティングした GPF に置換する方法があり, ここでは前者を選択している。図 29 は直噴ガソリンエンジンを搭載した Euro5 規制対応車両の各走行試験モードにおける排出粒子数であり, どの走行試験モードにおいても GPF を適用することにより, 排出粒子数は規制値以下に低減されている。GPF 適用の懸念は, 圧力損失の増加による燃費の悪化, 即ち CO₂ 排出量の増加であるが, 図 30 に示された各走行試験モードにおける CO₂ 排出量は, GPF を適用した場合でも若干の増加に止まっている。これは, ディーゼルエンジンと比較して PM 排出量が少ない直噴ガソリンエンジンの特徴から, PM が堆積していない初期の圧力損失低減に着目し, セル構造や基材特性を最適化した為である。加えて, 容量の最適化に改善の余地があることを示唆しており, 今後の研究開発が期待される。尚, GPF 再生に関する会場からの質疑に対して, 触媒温度が 500 $^{\circ}\text{C}$ 以上であれば, 減速運転時の燃料カットにより再生可能であると述べている。

更なる燃費向上と低 NOx 排出を両立する燃焼コンセプトとして, 園ら³⁻⁴⁾は均質希薄混合

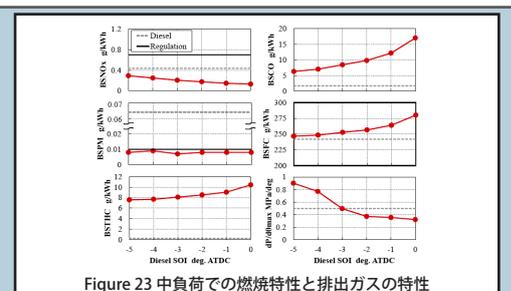


Figure 23 中負荷での燃焼特性と排出ガスの特性

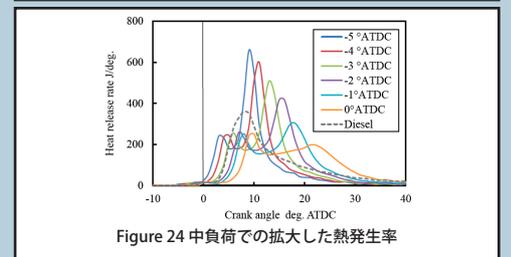


Figure 24 中負荷での拡大した熱発生率

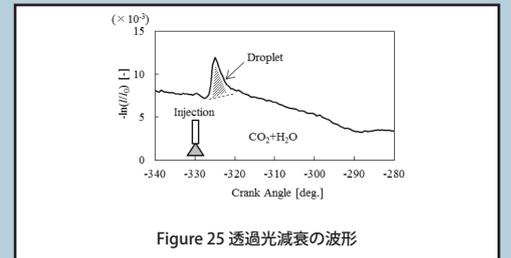


Figure 25 透過光減衰の波形

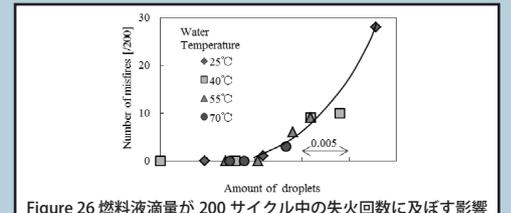


Figure 26 燃料液滴量が 200 サイクル中の失火回数に及ぼす影響

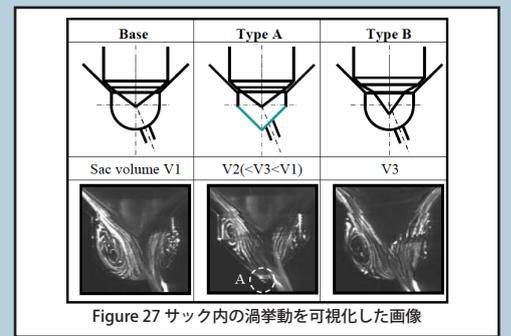


Figure 27 サック内の渦挙動を可視化した画像

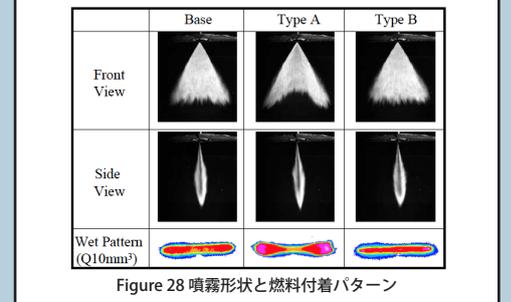


Figure 28 噴霧形状と燃料付着パターン

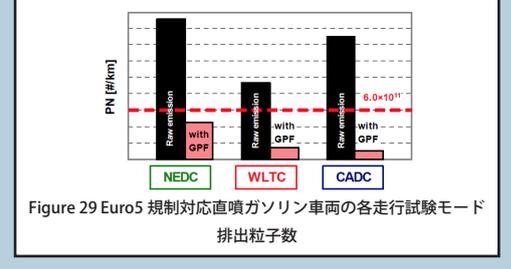


Figure 29 Euro5 規制対応直噴ガソリン車両の各走行試験モード 排出粒子数

気 SI (以下 HLSI) 燃焼方式を提唱し、量産型エンジンへの適用を検証することで、実用化の可能性を示唆している。図 31 は、圧縮比と吸気温度の組み合わせ 4 種類について、単気筒エンジンをを用いた試験結果であり、空燃比や圧縮比・吸気温度にかかわらず、上死点での筒内温度 (T_{TDC}) が約 1150K 以下になると、図示平均有効圧の変動率が 6% を超え、希薄燃焼限界に至ることが示されている。さらに、単気筒エンジンをを用いた試験結果の詳細な検討や、反応計算による層流燃焼速度と未燃ガス温度の検討から、上死点での筒内温度が 1000K 以上となる運転条件において、均質な希薄混合気でも安定的な燃焼が得られることを見出ししている。著者らはこの燃焼コンセプトを HLSI 燃焼と呼称し、量産型エンジンへの適用を検証しており、図 32 に示すように、空燃比がおよそ 30 の希薄混合気において、低 NOx 排出かつ図示燃料消費率が少ない安定的な燃焼を得ている。この際、吸気温度の制御は用いず、高圧縮比化などのエンジン諸元見直しや、多段点火などのシステム変更により実現している点が興味深い。(佐藤)

【参考文献】

- 3-1) 内田健児, 藤川竜也, 榎山謙二, 小野裕史, 山川正尚: 透過光減衰による直噴ガソリンエンジンのプラグくすぶり性評価方法の開発, 自動車技術会 2012 年秋季大会, No.134-12 (2012)
- 3-2) 鎌野素成, 神田睦美, 松村恵理子: 噴流活用ガソリン直噴エンジンの開発 (第 3 報), 自動車技術会 2012 年秋季大会, No.134-12 (2012)
- 3-3) 伊藤義孝, 下田岳秀, 青木崇志, 柴垣行成, 結城一也, 坂本浩文, C. D. Voct, 松本祐, W. Heuss, P. Kattouah, 牧野幹生: 直噴ガソリンエンジンにおける低圧力損失フィルターによる粒子状物質排出低減, 自動車技術会 2012 年秋季大会, No.134-12 (2012)
- 3-4) 園比呂志, 近藤卓, 橋本公太郎, 英寿, 古谷正広: 均質希薄混合気 SI 燃焼方式 (HLSI) の研究, 自動車技術会 2012 年秋季大会, No.121-12 (2012)

4 EV, HEV, FCV

今大会では、2015 年からの普及を前に、実用時の FCV に関連の発表数が目立ったほか、電動車両普及の成否を左右する電池の寿命や PHEV 関連の研究に注目すべきものがあつた。

野村らは 1 トンクラスの市販セダンの駆動系を 660cc のエンジンとモータ、発電機、バッテリー等で置き換えたレンジイクステンダ型の改造 PHEV (約 22% の重量増) を用いて、エンジンの制御方式が車両の性能に与える影響を走行シミュレーションと試験車両による走行試験の両面から検討した⁴⁻¹⁾。制御方式は、Charge Sustain モード (CS モード、HEV 動作時) 時にエンジン・発電機を①電池の SOC が 30 ~ 40% の条件下で効率最大の一定負荷で運転する Constant 制御と、②電池の SOC が 40% 以下で駆動負荷が一定の負荷以上の条件下で要求負荷に追従して運転する Variable 制御の 2 種類の比較を行っている。車両性能の評価は、国土交通省が定めた 7 項目の評価指標 (① Charge Depleting モード (CD モード、電池を消費する EV 走行主体の動作時) での走行距離、② CD モードの燃費 (ブレンド型のみ)、③ CS モードの燃費 (HEV 動作時の燃費)、④ 複合燃費 (平均的な走行距離を走行した際の“参照”燃費、⑤ 外部充電エネルギーでの走行距離 (ブレンド型の場合のみ)、⑥ 走行終了後、満充電状態に外部から充電した電力量、⑦ CD mode での電力消費率、レンジイクステンダ型であるので②と⑤は不問) で行っている。

シミュレーション結果では Constant 制御の方が CS 燃費と複合燃費が 5% 良好であった。各要素の寄与についての検討から、Constant 制御はエンジンの高効率点での連続運転による高効率化の反面、電池の充放電電力量の増大により電池の損失が増大する傾向があり、両者のどちらが支配的であるかによって結果が影響を受けるとしている。しかし、車両による走行試験では Constant 制御と Variable 制御に有意差がないという結果が得られ、この原因が Constant 制御でのエンジン起動時の過応答によるもので改善可能としている (図 33, 34)。また、搭載電池容量の増加によって CS モード燃費、複合燃費とも Constant 制御の優位性が高くなるが CS モード燃費には最大になる電池容量が存在することを示した。パラメータが多いシステムのごく一部についての検討ではあるが興味深い。

曾根らは、東北から九州までの広い範囲で実施された種々の業種での 91 台の業務用電動二輪車の実証試験で車両側に収集された 24 ヶ月分の情報 (走行距離、充電回数、充電開始時の電池残量、電池の最高最低温度、電池の容量減少量) から、電池の寿命に関する情報を解析した結果について報告した⁴⁻²⁾。24 ヶ月の走行距離は平均 5200km、最大 13000km で、

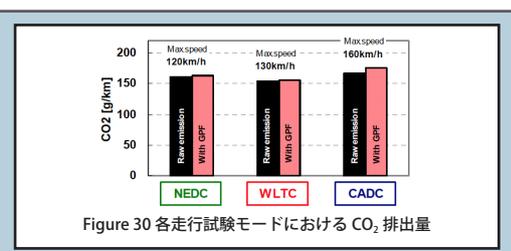


Figure 30 各走行試験モードにおける CO₂ 排出量

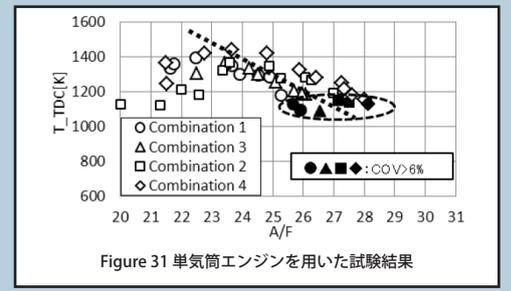


Figure 31 単気筒エンジンをを用いた試験結果

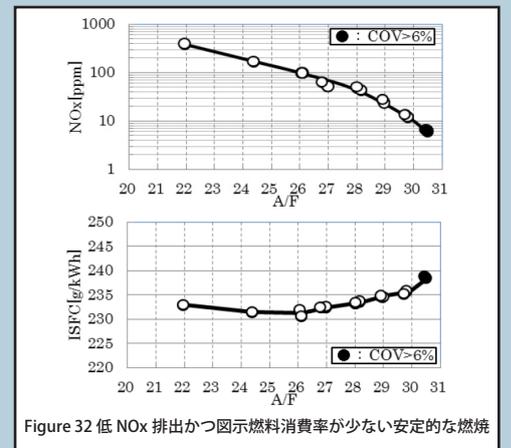


Figure 32 低 NOx 排出かつ図示燃料消費率が少ない安定的な燃焼

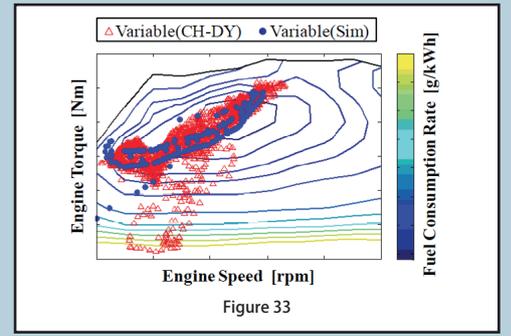


Figure 33

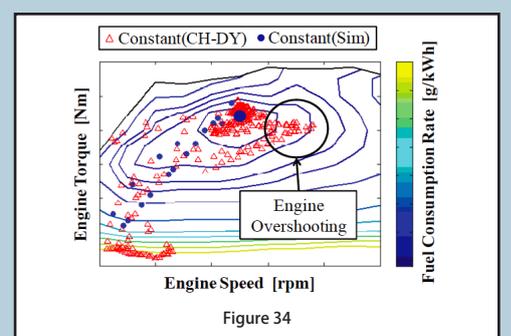


Figure 34

一日あたり5～11kmから30kmまで広範囲にわたっており、充電方法は業種によって急速充電のものと普通充電のものに分かれ、両者を併用する例はなかった。いずれの場合も頻繁な充電が多く、平均3回/日、多いものでは5回以上の例もあった。

これら様々な使用状態でのデータを利用して、容量減少（寿命の低下）を左右する要因を検討している。走行距離や充放電回数との相関は低く（図35）、経過日数が支配的で、その値は単セルの経年劣化データから推測したレベルに近く、電池単体でのサイクル耐久試験結果とは乖離が大きいとしている（図36）。電池特性の劣化に繋がるセルのアンバランスに関しては、充電回数が多い車両が、充電回数の少ない車両よりセルのアンバランスが小さく抑えられており、セル容量均等化が充電完了時に行うシステムであることから頻繁な均等化が有利であるといえる。

隅田らは、既発表のPHEVに加えて、BEV、HEVのモード走行時の電池の挙動を模擬出来る車両のシミュレーションによって、車両の性能と電池の劣化度の関係を求め、各々の形態の車両で許容可能な電池の劣化度を提示している⁴⁻³⁾。BEVは一充電走行距離が20%低下する容量維持率80%、HEVは燃費が20%低下する最大出力維持率40%を許容値としている、PHEVではCDレンジの大きさと複合燃費が評価対象となるが、電費と燃費の双方の効果を勘案して、CO2排出量が20%悪化する容量維持率が50%を許容値としている。会場から、考え方はよしとするものの、性能低下の基準値に違和感を持つとの意見もあった。

加地らは、ユーザーがLiイオン電池を使用する際にその劣化度を評価出来るモデルについてその構想を発表した⁴⁻⁴⁾。図37に示すように、Liイオン電池の劣化が進行すると容量の低下、内部抵抗の増加による電圧低下、拡散による電圧降下がある。性能評価指標であるエネルギー密度とパワー密度を左右する容量と内部抵抗の劣化を指標としたモデルを、劣化加速試験結果から求める方法について述べている、最終的にはEVの実使用時のデータからモデルを修正し、より現実的なモデルを得ることを想定している。（清水）

【参考文献】

- 4-1) 野村 啓紘, 木野戸 秀将, 黄 夙良, 金子 竜也, 紙屋 雄史, 大聖 泰弘 (早稲田大学), 沢田 直見, 安川 幹男, 竹腰 史彦, 津島 亮 (スズキ): レンジエクステンダ型プラグインハイブリッド車におけるエンジン制御方法最適化の検討, 自動車技術会 2012 年秋季学術講演会前刷集, No.114-12 (2012)
- 4-2) 曾根 崇史, 林 達生 (本田技術研究所): 業務用電動二輪車の実用化のための実証実験 (第二報), 自動車技術会 2012 年秋季学術講演会前刷集, No.112-12 (2012)
- 4-3) 隅田 祐介, 松村 広基, 楊 瑋翔, 紙屋 雄史, 大聖 泰弘 (早稲田大学), 森田 賢治 (日本自動車研究所): 各種電動車両に搭載したリチウムイオン蓄電池の許容劣化度に関する検討, 自動車技術会 2012 年秋季学術講演会前刷集, No.112-12 (2012)
- 4-4) 加地 健太郎, 田中 謙司 (東京大学大学院), 秋元 博路 (Korea Advanced Institute of Science and Technology), 張 静 (東京大学大学院), 今村 大地 (日本自動車研究所): リチウムイオン電池の劣化のモデル化に関する研究 (第1報), 自動車技術会 2012 年秋季学術講演会前刷集, No.112-12 (2012)

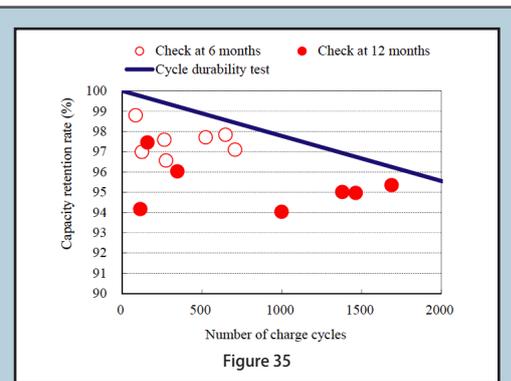


Figure 35

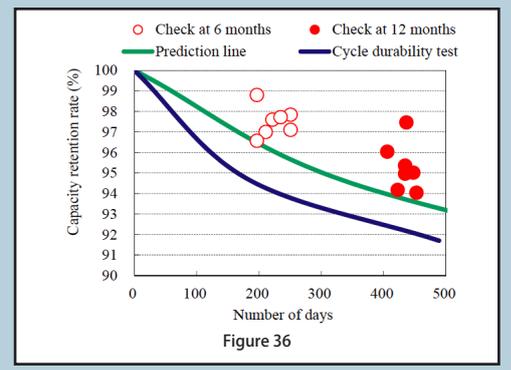


Figure 36

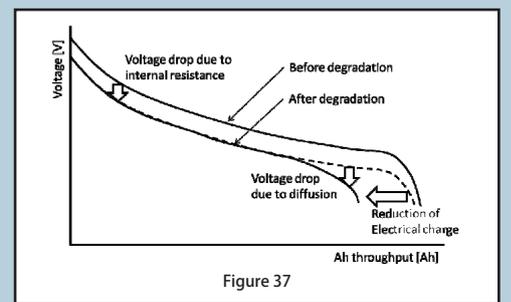


Figure 37

NEWS & INFORMATION

A クラスをフルモデルチェンジ●メルセデス・ベンツ日本

メルセデス・ベンツ日本は、メルセデス・ベンツ「Aクラス」を7年ぶりにフルモデルチェンジし、発売を開始した。「A 250 SPORT (シュポルト)」は、AMGが開発の初期段階から携わったハイパフォーマンスモデルで、最高出力210PSのハイパワーを誇る新開発2.0L直列4気筒直噴ターボエンジンを搭載する。「A 180 BlueEFFICIENCY」および「A180 BlueEFFICIENCY Sports」には、最新の1.6L直列4気筒直噴ターボエンジンを搭載。最新の直噴システム「BlueDIRECTテクノロジー」やECOスタートストップ機能(アイドリングストップ機能)により、最高出力122PS(従来比+6PS)、最大トルク200Nm(従来比+45Nm)の動力性能を実現しながら、燃費は15.9km/L(JC08モード)と従来モデル比で約34%向上した。メルセデス・ベンツ日本(株): <http://www.mercedes-benz.co.jp/>



新型メルセデス・ベンツ Aクラス

協業に関する正式契約を締結●BMW, トヨタ

BMWグループとトヨタ自動車は、長期的な戦略的協業関係構築の一環として、「燃料電池(FC)システムの共同開発」「スポーツカーの共同開発」「軽量化技術の共同研究開発」に関する正式契約を締結した。本契約は、昨年6月に締結した覚書に続くもの。加えて、昨年3月に開始した次世代リチウムイオンバッテリー技術に関する共同研究について第2フェーズ段階としている。

FCシステムについては技術の普及を共通の目標とし、中長期的な協力を進めていく。2020年を目標に、両社の技術を持ち寄り、FC車の普及拡大を目指し、FCスタックシステムをはじめ、水素タンク、モータ、バッテリーなど、FC車の基本システム全般の共同開発を行う。また、FC車の普及に必要な、水素インフラの整備や規格・基準の策定に向け協力していく。

ポストリチウムイオンバッテリー技術においては、エネルギー密度や燃費の面で、現在のリチウム電池の性能を大幅に超えるリチウム空気電池を共同研究する。

ビー・エム・ダブリュー(株): <http://www.bmw.co.jp/jp/ja/>

プラグインハイブリッドカー A3 e-tron ●アウディ

アウディは2013年3月に開催されるジュネーブモーターショーにおいて、プラグインハイブリッドカー A3 e-tronを発表する。150kW(204hp)の最高出力と350Nmを誇りながら、プラグインハイブリッド車向けECE規格によって計測された平均燃費は66.67km/L(1.5L/100km)で、これによってCo2排出量も35g/kmを達成した。搭載されているガソリンエンジンは、110kW(150hp)を発揮する改良型1.4L TFSIエンジン。このエンジンと出力75kWのモータが、クラッチを介してリンクする。このモータは、新開発された6速e-Sトロニックトランスミッションの内部に搭載され、フロントアクスルにパワーを供給する。二つのパワーソースはそれぞれの特性を活かし、お互いに補完する。モータは、ピークトルクをスタートから2000rpmまでの間で供給し、TFSIエンジンは1750rpm~4000rpmの間で最大トルクを発揮する。ガソリンエンジンだけで走るモード、モータだけで走る電気モード、さらには両者を使ったハイブリッドモードの3種類での走行が可能となる。

アウディ ジャパン(株): <http://www.audi.co.jp/jp/brand/ja.html>



アウディ A3 e-tron

Hybrid Air 搭載のC3 ●シトロエン

シトロエンはジュネーブモーターショーの出展概要を発表し、今回、圧縮空気とガソリンエンジンを組み合わせた「Hybrid Airテクノロジー」を搭載する『C3』のプロトタイプを展示する。「Hybrid Air」はPSAプジョーシトロエンとボッシュが共同開発した新世代のハイブリッドテクノロジーで、圧縮空気とガソリンエンジンという二つのエネルギーソースを持つハイブリッドシステム。2.9L/100kmという低燃費を実現するという。将来的には大型車にも対応できるシステムというが、まずは1.2Lの3気筒エンジンと組み合わせた小型車から採用されることも発表された。システムは、ガソリンエンジン、ギヤボックス、モータ、圧縮空気タンクなどで構成される。ハイブリッド・エアでは二次電池を使わず、圧縮空気がバッテリーの役割を担うという。なお同ショーではプジョーからもHybrid Airシステムを使った「2008Hybrid Air」も展示される予定。プジョー・シトロエン・ジャポン(株): <http://www.citroen.jp/#/index>, <http://www.peugeot.co.jp/>



C3Hybrid Air プロトタイプ

米シリコンバレーに研究拠点●ルノー・日産

ルノー・日産アライアンスは18日、米国カリフォルニア州シリコンバレーにあるサニーバール市に、総合研究所機能の一部を担う主要海外研究拠点として、「日産総合研究所シリコンバレーオフィス」(Nissan

Research Center Silicon Valley, NRC-SV) を開設した。日産における R&D グローバル展開の一環であり、世界の先端企業や大学の研究機関が集結するシリコンバレーに研究拠点を新設することにより、最先端の研究コミュニティとの連携による、将来のニーズに応える快適なモビリティ社会の実現に貢献する研究を進めることが可能となる。主な研究分野は、1. 安全でストレスのないモビリティの実現のための自動運転車両の研究、2. エネルギーおよび時間効率を最大化する、インフラやインターネットなどの外部環境とつながる車両の研究、3. 自動運転車両やつながる車両で実現するモビリティ体験を、より快適なものにするためのインターフェース技術の研究。また、同拠点では上記研究活動に関連し、コネクテッドビークル サービス企画・先行開発やユーザーインターフェース先行デザイン活動も行われる予定。

日産自動車 (株) : <http://www.nissan.co.jp/>

燃料電池車技術の商品化を加速させるための合意書に調印 ●ダイムラー、ルノー・日産アライアンス、フォード

ダイムラー AG、フォード、日産自動車は 1 月 28 日、燃料電池車 (FCEV) 技術の市販化を加速させるための 3 社間の合意書に調印した。今回の合意の目的は、FCEV 技術の開発に関連する投資コストを低減させながら、共通の FCEV システムを共同で開発すること。各社は本プロジェクトに対し、均等に投資を行う。デザインの共通性を最大限に高め、ボリュームを活用し、スケールメリットによって効率性をもたらす戦略により、早ければ 2017 年に世界初の手ごろな価格の量産型 FCEV を発売する予定としている。

日産自動車 (株) : <http://www.nissan.co.jp/>

ガソリン車 No.1 の低燃費 33.0km/L ●スズキ

スズキは、軽乗用車「アルト エコ」に低燃費化技術を採用し、2WD 車はガソリン車 No.1 の低燃費 33.0km/L、新たに設定した 4WD 車は 30.4km/L を達成し、3 月 4 日より発売した。今回の「アルト エコ」の一部改良では、スズキの次世代環境技術「スズキグリーン テクノロジー」を新たに採用した。減速エネルギー回生機構「エネチャージ」や、さらに効率的に進化した「新アイドリングストップシステム」の採用により燃料消費を抑えた。車両重量を 2WD 車比で 20kg 軽量化したほか、エンジン・CVT のさらなる高効率化、空気抵抗などの走行抵抗を低減する技術を投入し、2WD 車はガソリン車 No.1 の低燃費を達成した。また、今回新たに設定した 4WD 車を含め、「アルト エコ」全機種をエコカー減税の免税対象車とした。

スズキ (株) : <http://www.suzuki.co.jp/index.html>

ディーゼルエンジンの触媒技術で触媒学会賞●マツダ

マツダの研究者は、このたび、ディーゼルエンジンから排出されるすすを主成分とするパティキュレートマター (PM) を除去する高酸素イオン伝導性 PM 触媒技術において、触媒学会より、平成 24 年度触媒学会賞 (技術部門) を受賞した。触媒学会賞 (技術部門) は、触媒に関連する工業技術に関して著しい研究業績を挙げた個人に贈呈されるもので、今回の受賞はマツダとして初の受賞となる。本技術は、欧州向けのクリーンディーゼルエンジン搭載車などに 2008 年から採用されており、2012 年に日本国内でも発売した新世代クリーンディーゼルエンジン「SKYACTIV-D (スカイアクティブ ディー)」搭載車にも使用されている。受賞対象：「高酸素イオン伝導性 ZrNd 系酸化物を用いたパティキュレート燃焼触媒の開発と実用化」。受賞者は馬場 誉士、山田 啓司、高見明秀 (マツダ技術研究所)、石原 達己 (九州大学大学院) の各氏。触媒表面だけでなく触媒内部の酸素を活性酸素として PM の燃焼に利用するという新しいメカニズムを用いて、燃焼速度が速く、耐熱性も高い PM 触媒を開発した点が高く評価された。白金や燃料の使用量を減らしながら効率的に PM を燃焼できる同技術は、「SKYACTIV-D」の低燃費化やディーゼルパティキュレートフィルタ (DPF) ユニットの小型化にも貢献している。

マツダ (株) : <http://www.mazda.co.jp/>



スズキ アルトエコ