

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 4 No. 4 2014

JSAE エンジンレビュー

レポート特集：  
自動車技術会 2014 年春季大会  
Report of JSAE Annual Congress -Spring-

自動車技術展 人とくるまのテクノロジー展2014  
AUTOMOTIVE ENGINEERING EXPOSITION  
21日(水)・22日(木) 10:00~18:00  
23日(金) 10:00~17:00  
●パシフィコ横浜・展示ホール ●主催：公益社団法人自動車技術会



公益社団法人 **自動車技術会**

- コラム : ● 変わるもの変わらないもの : 鈴木 央一 / 編集委員 1  
Changed things and un-changed things
- Report : 自動車技術会 2014 年春季大会 2  
Report of JSAE Annual Congress -Spring-  
小池 誠, 小酒 英範, 佐藤 唯史, 清水 健一,  
下田 正敏, 野口 勝三, 藤井 厚雄 (編集委員),  
紙屋 雄史 (早稲田大学)

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

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

発行所: 公益社団法人 自動車技術会  
発行日: 2014 年 9 月 30 日  
発行人: 竹村 純 (三菱自動車工業)  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2  
電話: 03-3262-8211

●コラム

## 変わるもの変わらないもの

*Changed things and un-changed things*



鈴木 央一

Hisakazu SUZUKI

(独) 交通安全環境研究所  
National Traffic Safety and  
Environment Laboratory

漢詩の有名な一節で「年々歳々花相似たり、歳々年々人同じからず」というのがある。自動車技術会の春季大会は、毎年5月にパシフィック横浜で実施することは広く定着している。私は今年を含めて22年連続で参加している。ただ、20年余りの期間を俯瞰して思うことは、大会を取り巻く環境などは年とともに大きく変化している一方で、不謹慎な見方かもしれないが、それに比較すると講演は「相似たり」という感想である。

会場周辺の状況でいうなら、当然20年前には、みなとみらい駅はなかったし、桜木町駅から歩くにしても、クイーンズスクエアがなかったので陽か雨を浴びて歩いた。そしてパシフィック横浜周辺は更地と工事現場ばかりで、昼食をとるのも苦労した。また、今年87523人もの人が来場し、一大イベントと化した感のある「人とくるまのテクノロジー展」も、定着前はまだブースも来場者も少なく、春季大会の「おまけ」的なイメージだった。ということで、少なくとも会場周辺のレストランの数と人とくるまのテクノロジー展の来場者数に関しては20年間で「桁違い」に増えた。

それに対して・・・、私が20年前の1994年春季大会で初めて発表した時のタイトルは

「過給ディーゼル機関のEGR時の燃焼および排出ガス挙動の解析」

で、その2年後の1996年春季大会での講演タイトルは、

「均一予混合圧縮着火ディーゼル機関に関する研究(第1報) - 実験用ディーゼル機関による予混合燃料併用時の燃焼および排出ガス挙動について -」

である。中身はともかく、タイトルだけなら今あってもさほど違和感はないように思う。もちろん同じなわけではないけれども、「桁違い」であるよりは「相似たり」に近いのではないだろうか。

その差を生む理由は何だろうか。その最大のものは、みなとみらい地区ができたばかりでいわば「成長期」であったのに対して、自動車技術は一世紀以上を経てすでに「壮年期」であったことが挙げられよう。20年以上が経ち、みなとみらい地区の店の数が今から倍々ゲームで増えることもないだろう。ともに壮年期に入った、ということになるかもしれない。ただ、自動車技術のすごいところは、100年以上にわたって多くの世界トップレベルの頭脳を集積して競争しつつ、今でも進化を続けていることだ。例えば携帯電話などは、本格的な普及はここ十数年のことだが、機能的にはすでに飽和状態に近づきつつある。それを対象に技術開発を生涯の仕事にしようとしても、ソフトはともかくハード面についてそれで飯の食える人はほんの一握りだろう。それに対して、自動車技術はすでに壮年と書いたが、老境に入るのは何十年も先だろう。前述の筆者の講演についても、タイトルこそ今でも・・・と思うが、試験装置の技術水準や解析レベルは、今時の水準からは見劣りするといわざるを得ない。一見大差なくても中身の技術は着実に進化している。まさに「壮年期」といえよう。これからは多くの人が車に関する技術開発を生涯の仕事にしていくことは当面変わらない。技術者の端くれとして、そういう業界にいることは幸せというのだろう。

# 自動車技術会 2014 年春季大会

Report of JSAE Annual Congress -Spring-

日時：2014 年 5 月 21 日（水）～5 月 23 日（金）

会場：パシフィコ横浜・会議センター

主催：公益社団法人自動車技術会

小池 誠, 小酒 英範, 佐藤 唯史, 清水 健一, 下田 正敏, 野口 勝三, 藤井 厚雄 (編集委員)

紙屋 雄史 (早稲田大学)

Makoto KOIKE, Hidenori KOSAKA, Tadafumi SATO, Ken-ichi SHIMIZU, Masatoshi SHIMODA, Katsumi NOGUCHI,

Atsuo FUJII (JSAE ER Editorial Committee)

Yushi KAMIYA (WASEDA University)

## 1 フォーラム

### 日本の乗用車用エンジン技術の優位性は維持できるか？

#### 一乗用車用エンジン研究会の活動と産学官の連携一

本フォーラムでは、2014 年からは開始される自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE: Research Association of Automobile Internal Combustion Engines) の活動をベースにエンジン技術の優位性維持についての報告とパネルディスカッションが行われた。同時に、内閣府が主導する SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) の一つに設定されている革新的燃焼技術についても説明された。直前の 19 日に AICE 設立発表会があり、SIP の公募開始も 6 月に控えていたことを考えると、フォーラムのタイミングとしては絶妙であったと言えるのではないだろうか。AICE については、OEM8社が複数年に亘り共同研究体制を議論し、研究組合設立に至ったことに対して関係者の努力に敬意を表したい。また、エンジンを対象とした燃焼研究が SIP のような国主導の大きなプログラムとなることは、筆者の知る限り過去に例がない。日本の自動車技術・産業は世界の中でも大きな影響力を持っており、この強みを維持していくためにも国のサポートがあって然るべきとも言える。欧州では自動車分野に投資することは産業・経済基盤を維持・発展させるだけでなく、諸外国からの委託研究、留学などを誘起する効果もあることから、成功例として積極的に継続的投資が行われている。日本の自動車関係各社からも欧州への研究開発費が増加していることは既に報告されている通りである。産学官一体となった技術開発が一過性で終わらないことを期待するものである。

プログラムは、はじめに産学連携活動の母体となった内燃機関共同研究推進委員会の活動の中から、ガソリンエンジンについての取り組みをトヨタ自動車の中田 浩一氏が説明した。熱効率 50%へのアプローチと産学連携トライアルとして実施した PM 生成メカニズム解明の成果が報告された。続いて、ディーゼルエンジンの後処理について同じくトヨタ自動車の福間 隆雄氏から、共有課題として選定した DPF のスート堆積モデル、冷間時の白煙生成メカニズム、EGR デポジット生成要因解明について説明があった。経済産業省の石井 孝裕氏の活動報告の後、SIP について内閣府政策参与(トヨタ自動車)の杉山 雅則氏が、AICE について理事長(本田技術研究所)の天津 啓司氏が、その趣旨を説明された。最後に早稲田大学の草鹿 仁先生より大学の役割と将来の役割についての報告があった。

産学連携体制には AICE と SIP の二つがあるが、共に燃焼技術の高度化による熱効率向上 (目標最大熱効率: 50%)、温暖化ガスの二酸化炭素排出削減を大きな目標に挙げており、AICE と SIP の区別がやや分かり難かった感がある。パネルディスカッションの中でもどちらに向けてのコメントであるか分からない場合があった。マスコミを介してある程度情報が出ているだけに、フォーラムの前半で両者の違いや運営について明確に説明しておいた方が聞く側にとっては有難かったのではないだろうか。また、AICE が主導する研究が具体的にはどのような経路を辿って行われていくか、大学の研究・教育は今とどう変わるのか、研究成果はどのように使われていくかの説明がもう少しあってもよかったと思う。特に研究成果を製品開発に繋げ

内燃機関共同研究推進委員会でスタートした協調テーマ群	
検討委員会、分科会	協調テーマ
自動車長期戦略策定分科会	自動車に関する将来社会システムの予測調査 欧米、インド、中国の自動車・エンジン研究戦略の調査 エネルギー動向の調査 将来社会システムの予測調査
内燃機関共同研究推進委員会企画WG	シミュレーションを用いた熱効率50%フジビリティスタディ 直噴ガソリン機関のPM発生現象のモデル化
内燃機関の熱効率向上分科会	ノックの機構解明に関する研究 ノック発生メカニズムの解明 ノック発生モデル改良と新規作成
エンジン計測/CAE技術分科会	モデルベース開発における計測・CAEツールの有効活用に関する研究 直噴ガソリン機関のPM発生現象のモデル化
エンジンデータベース構築分科会	エンジンデータベース構築 A/Golf 1.4Lガソリンエンジンの合同調査 (車両熱流れ計測)
エンジントライボロジー分科会	低摩擦を支える表面処理技術の研究開発 摩擦環境の評価、計測手法とモデル化の研究
エンジンオイルメンテナンスに関する研究分科会	オイルメンテナンスに関する研究 オイル劣化の研究技術資料の作成 オイルメンテナンス情報共有

Figure 1-1 協調テーマ群

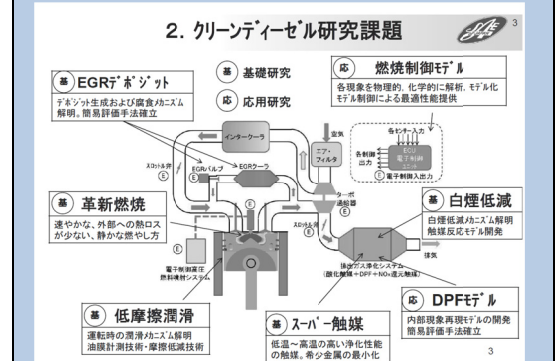


Figure 1-2 クリーンディーゼル研究課題

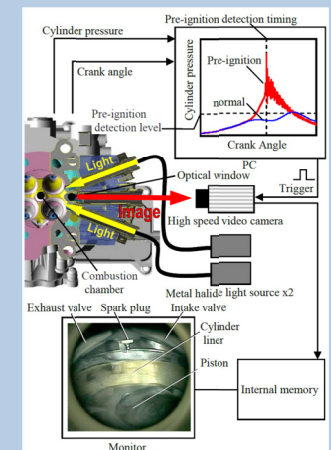


Figure 2-1 可視化エンジンシステム

るプロセスは重要で、欧州では AVL や FEV などエンジニアリング会社が大きな役割を果たしているし、開発した計測法を計測装置にまとめ上げるメーカーや数式モデルをシミュレーションプログラムとして提供するメーカー、部品やサブシステムに反映するサプライヤーの発展を促している。産学連携はキャッチアップから始まるようであるが、日本に適した独自の方式を探し出す必要がある。そのためにも大津理事長のまとめにもあるとおり、更なる輪の広がりを期待したい。(小池)

## 【参考文献】

1-1) 日本の乗用車用エンジン技術の優位性は維持できるか？, 自動車技術会 2014 春季大会フォーラムテキスト(2014)

## 2 先進ガソリン機関技術

今回の大会では先進ガソリン機関技術 I ~ V の 5 セッションが開かれ、グローバル環境の改善に寄与できる基礎的研究および技術開発に関する 28 件の講演が行われた。これらのセッションは関心度が高く、多くの講演にて 300 席近い座席が満席、立ち見の状態も見受けられた。その中から 5 件の講演を紹介する。

「過給 SI エンジンにおける LSPI の可視化解析」<sup>2-1)</sup>と題し、泉(日本自動車部品総合研究所)らにより、エンジン筒内の可視化技術を用いた LSPI 発生メカニズム解析が報告された。着火のプロセスを解明し、筒内の壁面から剥離したデポジットのかけらが着火源となるメカニズムを明らかにしたと述べている。図 2-1 に示す可視化エンジンシステムを新規開発し、鮮明な画像で LSPI 前後の一連のサイクルを捉えている。LSPI 前サイクルからの代表的な筒内圧力波形と画像を図 2-2 に示す。LSPI サイクルでは吸気行程から浮遊物がみられ(図 2-2(b)), 上死点付近において浮遊物周囲の混合気が着火する様子を確認している(図 2-2(c))。LSPI の着火源として、燃料に希釈されたオイル滴説があるが、今回観察した LSPI サイクルにおいて、圧縮行程中のクレビス周辺から液滴が飛散したと明らかに識別できる結果は得られなかった。実験結果と考察から図 2-3 に示すような LSPI 発生メカニズムを推察している。ライノウエットで生成されたデポジットが剥離して空間中を漂う。燃焼にさらされてデポジットのかけらが燃えて高温化するが、その表面の炎は排気行程で消散する。ただし反応が緩やかに継続し、圧縮行程中に酸化反応速度が増し、周囲の混合気へ着火に必要なエネルギーが放出されると、混合気の燃焼が開始すると述べている。会場からは、油滴が直接原因で LSPI が発生するのではないのか、といった質問があったが、LSPI はオイルや燃料がデポジット化したものによる、複数サイクルにまたがる着火プロセスであるという新たなメカニズムを提案した。

「ダウンサイジング過給ガソリンエンジンへの Low Pressure Cooled EGR システムの適用」<sup>2-2)</sup>と題し吉田(日産自動車)らによる発表があった。過給域の燃費改善のポイントとして①ノック抑制、②排気ガス温度低減、③比熱比の向上の三つを挙げ、今回 LP-EGR (Low Pressure Cooled EGR) を新開発エンジンへ適用したと報告している。適用可能な EGR システムを図 2-4 に示す三つを候補として検討し、表 2-1 に示す得失比較結果から、LP-EGR を選定している。EGR 率コントロールについて、定常時 EGR バルブ開度が同じならば吸入空気量によらず、EGR 率が一定であることを示している。また過渡時の応答遅れ問題を解決するため、EGR バルブ開度を補正する制御を開発したと述べている。会場からトルク 0 N・m までの急減速時の失火対応は、どのように行っているのか、と質問があり、それを考慮した EGR マップを作成し、スロットル制御も行っているとの回答があった。

また上記 LP-EGR システムをガソリンターボエンジンとして世界初採用したエンジンの開発「新型高効率 4 気筒 1.6L 直噴ガソリンターボエンジンの開発」<sup>2-3)</sup>と題し松井(日産自動車)らによる講演があった。表 2-2 に新旧エンジンの主要諸元を示す。新型エンジンには、表 2-3 に示すような技術を新たに採用している。鏡面ポア溶射シリンダブロックは、鋳鉄ライナがなくなることによる軽量化だけでなく、熱伝導率向上によりノッキング抑制にも効果がある。可変容量オイルポンプは、電制油圧制御により低負荷領域の吐出圧を下げることで、流体仕事の低減を図っている。今回の要素技術採用により、先代に対し 12% のフリクション低減を実現し、新型エンジンの燃費性能は、先代に対し 10% 以上向上したと報告があった。

「小型車用 新 L4 ガソリンエンジンの開発」<sup>2-4)</sup>と題し鈴木(本田技術研究所)らによる発表があった。今回新たに環境性能向上を狙った、最大熱効率 39% のハイブリッド車用 1.5L PFI エン

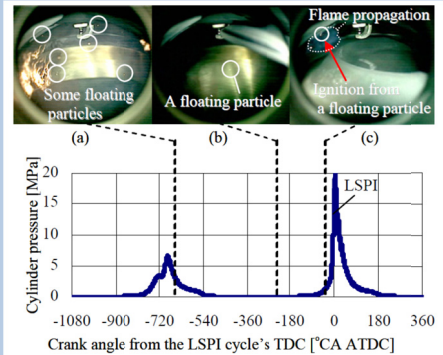


Figure 2-2 浮遊物からの LSPI サイクル観察結果

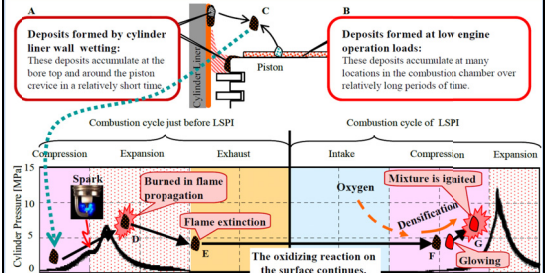


Figure 2-3 新 LSPI メカニズムの概要

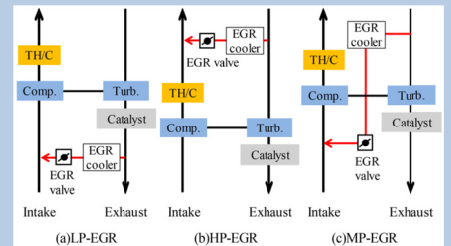


Figure 2-4 EGR システムの概念図

Table 2-1 クールド EGR システムの比較

	LP-EGR	HP-EGR	MP-EGR
Width of EGR Area in Turbocharged Region	++	-	+
Knocking Suppression	++	+	+
Exhaust Gas Temperature Reduction	++	+	+

Table 2-2 エンジン主要諸元

	2 <sup>nd</sup> gen. MR16DDT	1 <sup>st</sup> gen. MR16DDT
Engine Type	Inline 4	—
Displacement (cc)	1618	—
Bore × Stroke (mm)	φ79.7×81.1	—
Compression Ratio	10.5:1	9.5:1
Max Power (kW / rpm)	140 / 5600	—
Max Torque (Nm / rpm)	240 / 1600 - 5200	240 / 2000 - 5200
Max Revolution (rpm)	6400	—
Emission Level	JPN : H17 ULEV USA : LEV2-ULEV EU : Euro6d	JPN : H17 ULEV USA : LEV3-ULEV EU : Euro5
EGR	Internal & External (low pressure system)	Internal
Cylinder Block	Spray coated and mirror finished bore	Iron liner
Valve Train	DOHC 16 valves with Intake(*) & Exhaust CVTC *equipped with intermediate lock	DOHC 16 valves with Intake & Exhaust CVTC
Aspiration	Turbocharger	—
Fuel Supply System	Direct Injection	—
Fuel Type	Premium	—

CVTC : Continuously variable valve timing control

Table 2-3 主要新要素技術

Adopted technologies	Objectives		
	Fuel economy	Emission	High output
DIG system	X	X	X
Low pressure cooled EGR system	X		
Alumite coated piston crown surface	X		X
Piston ring made of high conduction material (top)	X		X
Aluminum cylinder block with spray coated and mirror finished bore	X		X
Intake(*) & exhaust CVTC system *equipped with intermediate lock function	X	X	X
Swirl control valve	X		
Compact turbocharger integrated with exhaust manifold		X	X
Electronic waste gate valve	X	X	
Coolant thermal management controlled by electronic rotary valve	X		
Variable displacement oil pump (VDOP)	X		
DLC coated piston ring (top/oil)	X		
Hybrid coated piston skirt	X		
Teflon coated rear oil seal	X		
Decouple damper alternator pulley	X		
0W-20 Lubrication engine oil	X		
DLC : Diamond like carbon			

ジン(LEB)と、走りの楽しさ実現を狙った、最高出力 97kW の DI エンジン(L15B)を同一骨格で開発したと述べている。表 2-4 に新型エンジン LEB と従来型エンジン LDA の主要諸元を示す。燃費向上技術としてアトキンソンサイクル、クールド EGR、吸気 1 パルプ休止 VTEC、ピストン頭部形状最適化を採用している。さらに図 2-5 に示す低フリクション技術を採用することで、従来型 1.3L エンジン以下のフリクションを達成し、2000rpm エンジン軸トルク 89Nm の運転ポイントで、BSFC 214g/kWh を達成したとしている。

「ESTEC 1 NR-FKE エンジン開発」<sup>2-5)</sup>と題し倉内(トヨタ自動車)らにより、ハイブリッド用エンジンに用いられている低燃費技術を転用した、従来車用エンジン熱効率向上の技術アプローチと、新開発 1 NR-FKE について講演があった。高圧縮比化とアトキンソンサイクルによる熱効率向上は、背反としてトルク低下を招く。従来車用エンジンで、これらの技術を採用するためには、エンジン性能低下の克服が必須であると説明している。表 2-5 に新開発 ESTEC 1NR-FKE エンジンと現行 1NR-FE エンジンの諸元を示す。エンジントルク低下対策としてエキゾーストマニホールド形状最適化、発砲ゴム付ウォータージャケットスペーサ、燃料噴射タイミング最適化により図 2-6 に示すように従来比 +1Nm のトルク向上を果たした。また熱効率も、ハイブリッド用エンジン同等の 38% を達成したと報告があった。(野口)

### 【参考文献】

- 2-1) 泉 桂広, 青木 文明, 飯塚 基正, 岡田 吉弘: 過給 SI エンジンにおける LSPI の可視化解析, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演会前刷集, No.54-14, (2014)
- 2-2) 吉田 慎一郎, 小林 眞里, 中原 洋一郎, 平井 直樹, 土田 博文, 高木 大介: ダウンサイジング過給ガソリンエンジンへの Low Pressure Cooled EGR システムの適用, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演会前刷集, No.54-14, (2014)
- 2-3) 松井 義典, 相吉澤 英二, 堀 健一, 仲津 周一, 伊東 輝之: 新型高効率 4 気筒 1.6L 直噴ガソリンターボエンジンの開発, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演会前刷集, No.91-14, (2014)
- 2-4) 鈴木 雅樹, 早川 修一, 石原 祥道, 進藤 俊洋: 小型車用 新 L4 ガソリンエンジンの開発, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演会前刷集, No.91-14, (2014)
- 2-5) 倉内 孝, 山田 哲, 高木 功: ESTEC 1 NR-FKE エンジン開発, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演会前刷集, No.91-14, (2014)

## 3 先進ディーゼルエンジン

### 3.1 先進ディーゼルエンジン制御技術

田中ら<sup>3-1)</sup>は筒内圧力センサ付グロープラグを用いた、拡散燃焼・予混合圧縮着火燃焼の切替制御について発表した。センサの詳細構造については、抜き刷りに掲載されていないが、グロープラグの発熱体に働力を計測するもので、グロープラグとしてのヒータ機能を有しながら筒内圧力計測を可能としている。図 3-1 は、基準センサとしてピエゾ型圧力センサとの同時計測を行い、 $dP/d\theta$  について両センサによる計測値の相関を示した図である。これより開発センサ(GIPS と称する)は基準センサに対しほぼ同じ結果が得られることが分かる。このセンサを用いて、拡散燃焼から予混合圧縮着火燃焼への切替制御を実施し、その効果を実証している。この切替制御では、第 1 段階では  $dP/d\theta$  を一定値以下に保つように燃料噴射時期を制御し、その後の第 2 段階においては燃焼位相を一定に保つように燃料噴射時期を制御する。これにより、切替直後の燃焼騒音のスパイク的な上昇を抑え、さらに定常状態における燃焼位相制御で熱効率向上を狙う。図 3-2 には GIPS センサを用いた切替制御の有無が燃焼と排気の時間変化に与える影響を示す。切替制御を行うことで、予混合圧縮着火燃焼への移行直後の燃焼騒音( $dP/d\theta$ )の増加と  $NO_x$  の増加を大幅に低減できることが分かる。一方、未燃炭化水素(THC)と CO は増加している。これらの排出抑制のため、グロー加熱による燃焼改善を行っている。図 3-3 には筒内圧計測によるフィードバック制御とグロー加熱を同時に行った場合と、グロー加熱しない場合との比較を示す。この図から筒内圧センシングによる燃料噴射時期のフィードバック制御とグロー加熱による燃焼促進により、THC と CO の増加を抑えつつ、 $NO_x$  と燃焼騒音を低減することが可能であることが分かる。以上により GIPS センサを用いた燃料噴射制御の有効性が示された。(小酒)

Table 2-4 ハイブリッド車用エンジン主要諸元

Engine type	Developed	Previous
	LEB	LDA
Cylinder configuration	In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore x Stroke (mm)	73.0 x 89.4	73.0 x 80.0
Displacement (cm <sup>3</sup> )	1497	1339
Crank journal diameter (mm)	46	50
Compression ratio	13.5 : 1	10.8 : 1
Valve train	DOHC i-VTEC Hydraulic VTC	SOHC i-VTEC
Number of valves	4 per cylinder	2 per cylinder
Valve diameter (mm)	29x2 / 25x2	35x1 / 30x1
Intake/exhaust		
External EGR system	Cooled	Hot
Water pump	Electric	Mechanical
Engine oil	Low viscosity	0W-16
Fuel injection type	Port injection	Port injection
Fuel	Regular(RO91)	Regular(RO91)
Max. power(kW/rpm)	81/6000	65/5800
Max. torque(Nm/rpm)	134/5000	121/4500

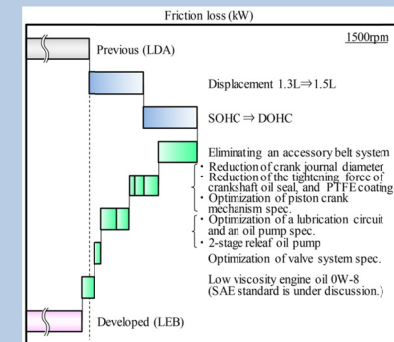


Figure 2-5 フリクション低減技術の効果

Table 2-5 1NR-FKE エンジン諸元

Unit	1NR-FKE (ESTEC)	1NR-FE	
Engine type	in-line 4	←	
Displacement [ml]	1329	←	
Bore x Stroke [mm]	φ72.5×80.5	←	
Compression Ratio	13.5	11.5	
Combustion cycle	Atkinson	Normal Otto	
Fuel Type	Gasoline	←	
Valvetrain System	DOHC 4valve Dual VVT-i VVT-iE (iN)	DOHC 4valve Dual VVT-i	
EGR System	Water Cooled EGR	EGR	
Injector position	Port	←	
Boost	NA	←	
Engine Power	Max Power [kw/rpm]	73/6000	70/6000
	Max Torque [Nm/rpm]	121/4400	121/4000
	Low Speed Torque [Nm/rpm]	105/2000	104/2000
Fuel Consumption	J/C08 km/L	25	21.8
Emission	IW kg	1130	←
		J-SULEV	←

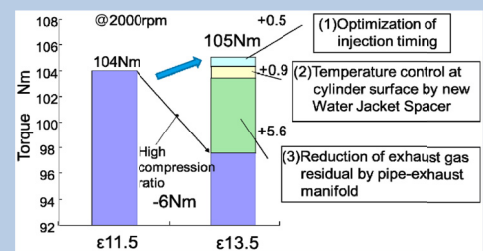


Figure 2-6 エンジントルクリカバーの取組

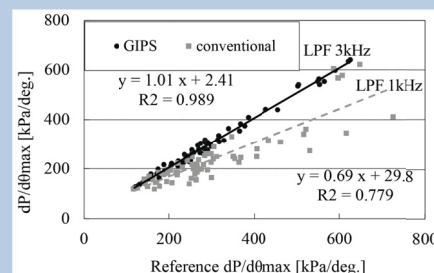


Figure 3-1 GIPS と基準センサによる圧力上昇率の測定値の比較

## 3.2 先進ディーゼル燃焼・後処理技術 I

三菱自動車・北田らは「ディーゼル燃焼計算の実用化研究」<sup>3-2)</sup>と題して講演を行った。筆者らは、早稲田大学で改良された KIVA コードをベースに短時間で熱発生率を求められるように簡素化した燃焼モデルを加えて実用的な時間で計算できるソフトウェアを作成し開発に利用している。しかしパイロットや少量のプレを含めた噴射パターンでは、着火遅れの予測精度が十分でないため、上死点付近の筒内圧を再現できていなかった。これは着火遅れを Livengood-Wu 積分法によるモデル計算(以下、簡易計算と記載)で簡便に予測していることに起因している。そこで表 3-1 に示すような、化学反応計算による計算負荷を極力抑え、着火遅れ時間と着火から化学平衡に至る簡略化素反応モデル(以下、化学反応計算と記載)を作成した。

この両者のメイン1段噴射における計算結果と実測との対比を図 3-4 に示す。条件は 3.2L, 4 気筒エンジン, 3800rpm 全負荷運転での噴射速度, 筒内圧, 熱発生率, 主要化学種のモル分率と NOx 濃度を実測と重ねて示している。それぞれの項目において両計算法ともに実測にほぼ合っている。

次に, 2.2L, 4 気筒ディーゼルエンジンのパイロット, プレ, メインとアフターからなる 4 段噴射で, EGR を 23% 加えた 1500rpm での運転点での両計算結果を図 3-5 に示す。簡易計算のパイロット噴射の燃料は, 実測のタイミングで発熱せず, 次のプレ噴射の燃料と一緒に燃焼するため, プレ噴射後の熱発生が急激になり上死点付近の筒内圧が実測を上回ってしまう。一方, 化学反応計算では, パイロット噴射の燃料から低温酸化反応による発熱が生じ, この影響を受けてプレ噴射の燃焼が穏やかになり, 上死点付近の筒内圧が実測値とほぼ一致し, 化学反応計算の優位性を確認できた。

メイン1段噴射の場合の計算時間は, 2.5GHz パソコンで, 簡易計算7分に対して化学反応計算では6時間以上かかるため, 用途に応じた使い分けの運用が適切と判断している。

京都大学・堀部らは「アフター噴射を用いたディーゼル機関における混合気形成過程の数値解析」<sup>3-3)</sup>と題して講演を実施した。ディーゼル機関にはコモンレール式燃料噴射装置が普及し, 排ガス低減や騒音低減のために多段噴射が活用されている。メイン噴射の直後に少量の燃料を噴射するアフター噴射 (post injection) は黒煙の排出低減に有効とされている。筆者らも単気筒機関において総噴射量を一定にしてパイロット/メイン/アフターの3段噴射を用い, アフター噴射の黒煙低減効果について実験を行っており図 3-6 に示すように, 噴孔数7の噴射ノズルとくぼみ口径の小さいリエントラント燃焼室 (Re 55) の組み合わせではアフター噴射時期  $\theta_{post}$  を早くするほど, 吸気酸素濃度  $\gamma_{O_2}$  が低下するにもかかわらず黒煙濃度 Smoke が低下すること(7 holes nozzle), 噴射ノズル流量一定の下で噴孔数 10 に増やすと早いアフター噴射では黒煙濃度が増加すること(10 holes nozzle), くぼみ口径の大きいリエントラント燃焼室 (Re 60) ではアフター噴射時期を遅らせた方が黒煙濃度が低下することなどを明らかにした。

そこで, 本研究ではこれらの実験結果を対象として 3D-CFD を用いて燃焼過程の数値計算を行い, すずの生成に関連の深い燃料濃度分布を解析し, 機関諸元や運転条件の違いによってアフター噴射に黒煙低減効果の傾向が異なる理由について説明を試みている。

はじめ噴孔数7においてアフター噴射時期を早めると黒煙が低下する原因について考察するためアフター噴射時期  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC と  $21^\circ$  ATDC について計算を行った。燃焼室は標準の Re 55 である。この  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC と  $\theta_{post} = 21^\circ$  ATDC における混合分率  $f_u$  および温度  $T$  の筒内分布のクランク角経過を図 3-7, 図 3-8 にそれぞれ示す。図 3-7 においてメイン噴射はパイロット噴射の燃焼による高温領域に噴射され  $6^\circ$  CA にはくぼみ側壁付近で  $f_u$  が 0.1 ~ 0.2 の辺りで温度が 2000K 近くに上昇することが確認できる。メイン噴射終了後, テール部の混合分率は  $10^\circ$  CA から  $14^\circ$  CA にかけて急速に低くなる。アフター噴射時期が早い  $\theta_{post} = 11^\circ$  CA ではその領域にアフター噴霧が噴射される。アフター噴射時期の遅い  $\theta_{post} = 21^\circ$  CA ではアフター噴射時期にメイン噴霧が巻き上がっており, 混合分率の高い領域にアフター噴霧が噴射される。これらのことから早いアフター噴射時期を用いるとメイン噴霧とアフター噴霧の干渉が小さくなるのでメイン噴霧に取り込まれなかった酸素をアフター噴霧の燃焼に利用でき, アフター噴霧から生成するすすが少なくなり, 黒煙濃度が低下したと考えられる。一方, アフター噴射時期が遅いとメイン噴霧の燃焼によって酸素濃度が低下した領域にアフター噴霧が噴射される事になり, アフター噴霧由来のすすが多くなるために, 黒煙濃度が増加し

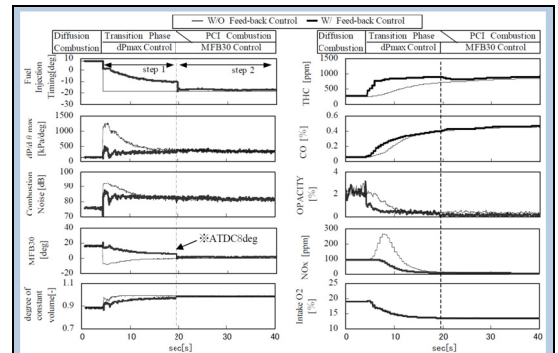


Figure 3-2 燃焼切替における GIPS センサによる筒内圧力計測値を用いた燃料噴射時期制御の燃焼特性と排気特性に与える効果

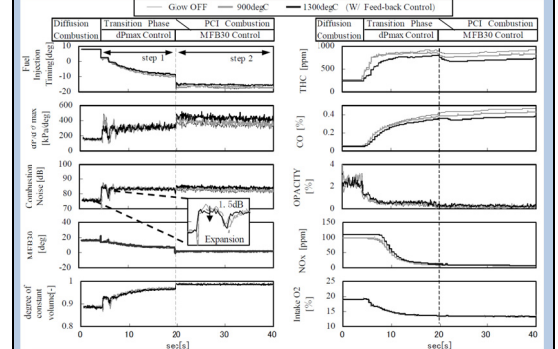


Figure 3-3 筒内圧力センシングによる燃料噴射時期制御とグロー加熱の組み合わせが燃焼切替時の燃焼と排気に与える効果

Table 3-1 簡略化素反応モデル

R	Reaction	A	B	E
1	$nC_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7 + HO_2$	1.00E+16	0	4.00E+04
2	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7O_2$	REV / 1.00E+12	0	0.00E+00
3	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7OH$	REV / 2.51E+13	0	2.74E+04
4	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7COOH$	REV / 3.16E+11	0	0.00E+00
5	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CHO$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
6	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
7	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
8	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
9	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
10	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
11	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
12	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
13	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
14	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
15	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
16	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
17	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
18	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
19	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
20	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
21	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
22	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
23	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
24	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
25	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
26	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
27	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
28	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
29	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
30	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
31	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
32	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
33	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
34	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04
35	$C_3H_8 + O_2 \rightarrow C_3H_7CO_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2H_2O_2$	REV / 3.16E+13	0	1.95E+04

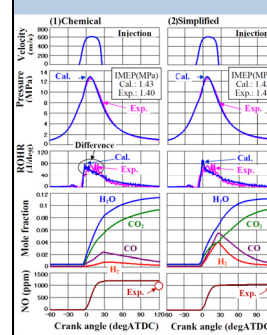


Figure 3-4 メイン1段噴射での化学反応計算と簡略計算の比較 (3.2L 4気筒, 3800rpm, EGR 0%)

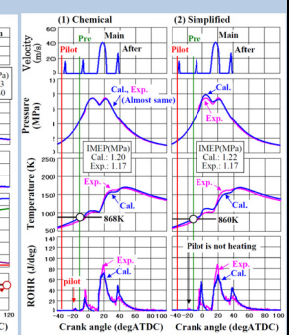


Figure 3-5 4段噴射での化学反応計算と簡略計算の比較 (2.2L 4気筒, 1500rpm, EGR23%)

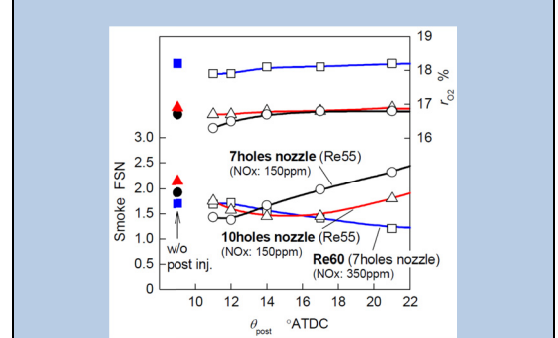


Figure 3-6 アフター噴射の黒煙低減効果

たとえられる。

つぎに、噴射ノズル仕様(噴孔径、噴孔数)を変更した際に、アフター噴射時期に対する黒煙濃度の傾向が変化する原因について考察するため、噴孔径、噴孔数を 0.105 mm および 10 とし、アフター噴射時期  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC と  $21^\circ$  ATDC の条件で計算を行った。両アフター噴射時期における混合分率  $f_u$  および温度  $T$  の筒内分布を図 3-9 および図 3-10 に示す。両者において、メイン噴霧の分布に注目すると、噴孔数 7 の場合に比較して、スキッシュエリアおよびくぼみ底面に沿った混合分率の高い領域の流動が遅く、希薄化が遅い。図 3-9 の早いアフター噴射の場合にリップ付近に存在する混合分率の高い領域にアフター噴霧が噴き込まれる。また、くぼみ底面からのメイン噴霧の巻き上がりが小さいので、アフター噴射時期が遅い図 3-10 の場合にはアフター噴霧は  $f_u$  および  $T$  が低い領域に噴射される。これらから実験結果を考察すると、噴孔数 10 では早いアフター噴射を用いるとくぼみ側壁付近に存在するメイン噴霧火炎に向かってアフター噴霧が噴射され、アフター噴霧は高温で酸素濃度の低い燃焼ガスをエントレインすると考えられる。そのため、アフター噴霧から生成するすすが増加し、黒煙濃度が高くなったと考えられる。アフター噴射時期を遅くするとアフター噴射はメイン噴霧火炎の干渉は小さくなると考えられ、メイン噴霧の燃焼に使わなかった酸素をアフター噴霧で利用できるため噴孔数 7 よりも黒煙濃度が低下したと考えられる。

最後に、くぼみ口径を変更した際にアフター噴射時期に対する黒煙濃度の傾向が変化する原因について考察するため、燃焼室形状を Re60 に変更してアフター噴射時期  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC と  $21^\circ$  ATDC について計算を行った。この場合、両者ともメイン噴霧の燃焼ガスとアフター噴霧の干渉が起こっており明確な現象の差は見られなかった。そのため干渉に起因して黒煙が変化したというよりも、図 3-6 において Re60 の黒煙が変化しているのは EGR 率の変化に伴う吸気酸素濃度の違いに起因するものと推測する。

アフター噴射の黒煙低減効果を総括的に整理した大変有意義な研究と判断する。(下田)

### 3.3 先進ディーゼル燃焼・後処理技術 II

中村ら<sup>3-4)</sup>が、SiC ナノ粒子メンブランフィルタにおけるすす微粒子の酸化過程について、昇温試験や環境制御型透過型電子顕微鏡による酸化過程の観察などにより実験的に調査した結果について発表した。SiC ナノ粒子メンブランフィルタは通常の DPF 表面に、平均粒径 35nm と 800nm の混合 SiC 粒子から構成される壁厚 20 $\mu$ m の層を焼成したものであり、従来 DPF よりも低温で堆積微粒子を酸化させることが可能であるが、その酸化過程は明らかでない。この酸化機構を解明するために、まず SiC 粒子とディーゼル微粒子を模擬したカーボンブラック(CB)粒子の混合物を作成し、これに高温  $O_2/Ar$  ガスを通すことで酸化させ、酸化により発生する CO と  $CO_2$  を質量分析計で計測し酸化速度を求めている。この装置ではガス温度の時間変化を制御することが可能である。これを用いて、SiC 粒子と CB 粒子の混合比を変化させることで、両粒子の接触状況を変化させ酸化に与える影響を調べている。SiC 粒子の割合を増加すると、CB の酸化温度が低温側へ移動すること、SiC 粒子割合が高い場合には酸化開始温度が Pt 担持の有無に無関係になることが明らかにされた(図 3-11)。これより、CB の酸化は SiC 粒子との接触面積に依存し、Pt が担持されなくとも、SiC 粒子と CB 粒子の接触面積を十分に確保すれば Pt 担持の場合と同程度の酸化温度を得ることができることを示している。また、環境制御型透過型電子顕微鏡を用いて SiC メンブラン上のすす微粒子の酸化過程を観察した結果、すす粒子の酸化反応はすす粒子と SiC 酸化物層の界面近傍において優先的に進行することが明らかにされた(図 3-12)。さらに、SiC 上へ吸着した酸素の離脱量を計測した結果、 $500^\circ C \sim 900^\circ C$  において脱離した酸素がすす酸化に寄与していることが示された。Pt 担持により SiC 上への酸素吸着量が増加するため、これにより酸化速度が増加すると考えられる。これらの結果から、図 3-13 に示す、メンブランフィルタにおけるすす酸化機構の概念モデルを提案している。このモデルでは、メンブランフィルタ上のすす粒子の酸化経路として、気相中酸素による酸化と、メンブラン上に吸着された酸素による酸化の二つの経路を考えている。Pt を担持した SiC ナノ粒子は酸化に寄与する酸素をより多く吸着するため接触面積が小さい場合でも酸化反応が進行しやすい。一方、Pt を担持していない SiC ナノ粒子は吸着酸素量が少ないため、酸化反応を低温で進行させるには接触面積を高くする必要がある。(小酒)

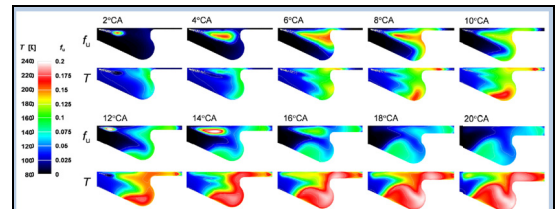


Figure 3-7 混合分率  $f_u$  と温度  $T$  の筒内分布のクランク角経過 (Re55, 0.125mm $\times$ 7 ノズル噴孔,  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC)

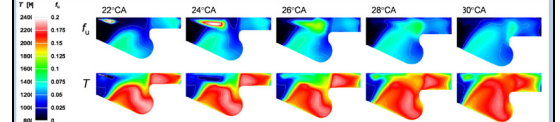


Figure 3-8 混合分率  $f_u$  と温度  $T$  の筒内分布のクランク角経過 (Re55, 0.125mm $\times$ 7 ノズル噴孔,  $\theta_{post} = 21^\circ$  ATDC)

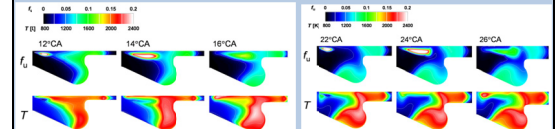


Figure 3-9 混合分率  $f_u$  と温度  $T$  の筒内分布のクランク角経過 (Re55, 0.105mm $\times$ 10 ノズル噴孔,  $\theta_{post} = 11^\circ$  ATDC) Figure 3-11 混合分率  $f_u$  と温度  $T$  の筒内分布のクランク角経過 (Re55, 0.105mm $\times$ 10 ノズル噴孔,  $\theta_{post} = 21^\circ$  ATDC)

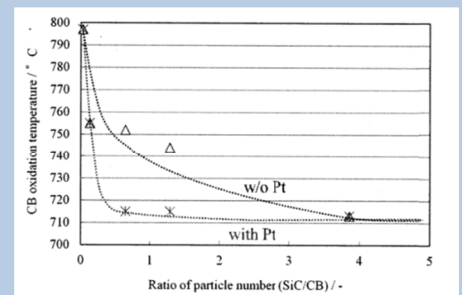


Figure 3-11 SiC 粒子と CB 粒子の混合比が CB 粒子酸化温度に与える影響

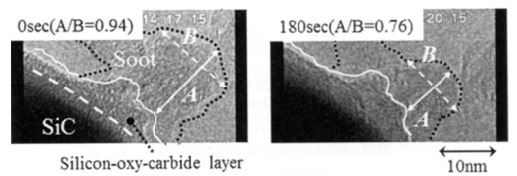


Figure 3-12 環境制御型透過型電子顕微鏡による SiC 上すす粒子の酸化過程の観察画像

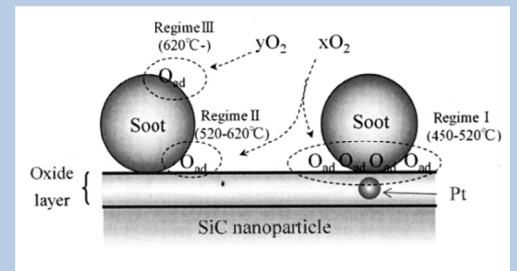


Figure 3-13 SiC メンブランフィルタ上すす粒子の酸化モデル

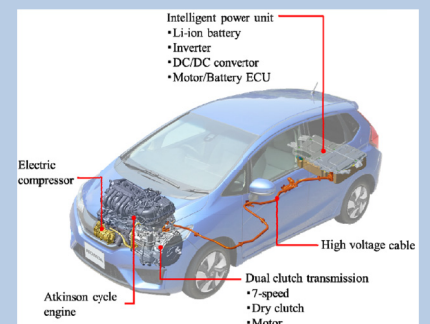


Figure 4-1 モータ内蔵 DCT による 1 モータ HEV



【参考文献】

- 3-1) 田中貴史, 沖中学, 中村敏之, 本間哲治: 筒内圧力センサ付グロープラグによる予混合圧縮着火燃焼移行時の騒音, NOx 制御技術開発, 自動車技術会 2014 年春季大会, No.69-14(2014)
- 3-2) 北田泰造, 口田征人, 林伸治, 川添博光, 酒井康行, 安東弘光: ディーゼルエンジン燃焼計算の実用研究, 自動車技術会 2014 年春季大会, No.88-14(2014)
- 3-3) 堀部直人, 狸塚雄司, 川那辺洋, 石山拓二: アフター噴射を用いたディーゼル機関における混合気形成過程の数値解析, 自動車技術会 2014 年春季大会, No.88-14(2014)
- 3-4) 中村圭介, 大木浩史, 讃井涼子, 日高宣浩, 田中正道, 松本弘昭, 花村克悟: SiC ナノ粒子メンブレンフィルターによるすす酸化挙動, 自動車技術会 2014 年春季大会, No.89-14(2014)

4 最新の EV, HEV 技術

今大会も, “最新の EV, HEV 技術”を冠した 5 セッションのほかに“EV・HEV の要素技術”, “車載用パワーエレクトロニクスコンポーネント新技術 I, II” “自動車用燃料電池”など, 計 9 セッションで電動車両に関連した幅広い発表が行われた。

パワートレインに関しては, 2013 年秋の大会で高効率な変則シリーズハイブリッド<sup>4-1)</sup>を発表した研究所から特徴のある 2 形式の HEV の発表があった。池上らは 1.5L のアトキンソンサイクルエンジンとモータ内蔵のデュアルクラッチ変速機(Dual Clutch Transmission, DCT)を組み合わせたコンパクトスポーツ HEV システム<sup>4-2)</sup>(図 4-1)を紹介した。前述の変則シリーズ HEV が比較的大型のセダンを対象としており, その駆動モータが全負荷域を変速機なしでカバーする BEV 寄りのものであったのに対し, 本件は変速機と組み合わせることで小型の M/G を採用した比較的小型の車両を対象にしている ICEV 寄り(ICEV をアシスト)HEV である(VW の twin up<sup>4-3)</sup>に近い)。

DCT は図 4-2 に示すとおり 2 本の入力軸が出力軸を共有した 6 速 DCT の奇数段軸の端部に, ロータ内に設けた遊星歯車を介してモータを取り付けたもので, リングギヤの固定によって 3 速ギヤと遊星歯車を組み合わせて 1 速のギヤ比を実現している。動作モードは図 4-3 に示すとおりで, EV モード(3 速が中心)で発進し, エンジン始動は EV モードで走行中にクラッチを締結して実現する(締結期間のモータトルクをエンジン起動分だけ上乗せすることで, 起動時のショックをなくしている)。従来の気筒休止機能を付加した CVT 付パラレル HEV に対して, DCT を採用することによって EV モードの出現頻度を高めたこと(エンジン運転時間は 55%減), 最適なエンジン動作点での運転が実現している(図 4-4)ことなどから, 従来比 38%の燃費向上が図られたとしている。

このシステムの効率と性能を左右するモータについて四方らが詳細に発表している<sup>4-4)</sup>。偏平なモータのロータ内に遊星歯車を組み込むため, ステータ巻き線を直接渡り構造(図 4-5)にすることで省スペース化を図り, さらにスペースの問題で困難な磁石の V 型配置(リラクタンストルクの活用の定石)に代わって磁石横に補助突起を設け 36%のトルク密度向上を実現したこと, 負荷率が高くなったモータをトランスミッション油で直接冷却することで連続定格を確保したこと等を紹介している。

矢崎らは, 3.5L V6 エンジンと 3 機のモータを持った全輪駆動ハイブリッドシステムとその基幹をなす左右輪の駆動力配分可能な後輪用モータユニットについて発表した<sup>4-5)</sup>。車両としては図 4-6 に示すように変速機内にモータを持った FF 車がベースで, この後輪に左右独立に駆動可能なコンパクトなモータユニット(図 4-7)を設けたもので, モータの出力は後輪が 27kW×2 に対して前輪は 35kW と小さい。動作モードは図 4-8 に示すとおりで, ①発進や低速クルージングは後輪による EV 走行, ②低エンジン負荷での加速はエンジンを高効率域で動作させ余剰動力を前輪モータで吸収, ③高負荷域ではモータでアシスト, ④減速時は全モータで回生, と定石通りであるが, 姿勢制御が必要な AWD モードでは前輪モータで発電した電力で後輪モータユニットを駆動し, 電池状態の影響を排除している。発表の主眼は機械式 AWD と同等なコンパクトさを実現するために集中巻きモータを採用し, ここで問題となる振動, 騒音を低減する手法を述べているが, ここでは触れない。このシステムは省エネより高性能を優先したものである(BMW の i8<sup>4-3)</sup>に近い)。

また, このシステムは高級車仕様であるにもかかわらず, スペースの都合で 3 台のモータ用インバータを車両中央に搭載することによる雑音問題など, インバータへの要求仕様を如何に

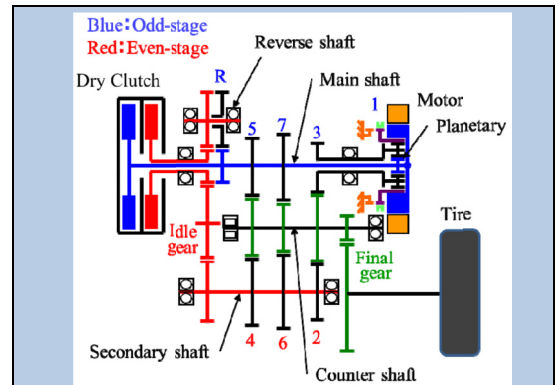


Figure 4-2 モータ内蔵ダブルクラッチ変速機

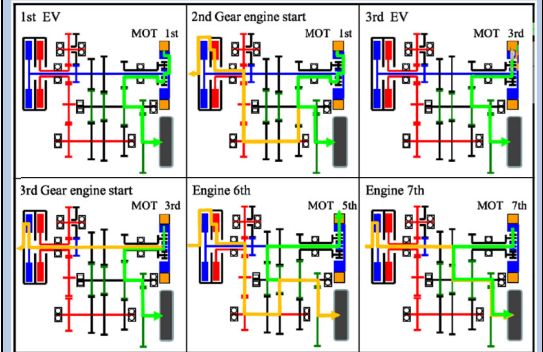


Figure 4-3 モータ内蔵 DCT による HEV の動作モード

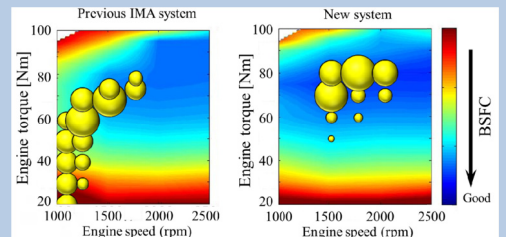


Figure 4-4 エンジン動作点の差 (左:従来の IMA システム, 右:新システム)

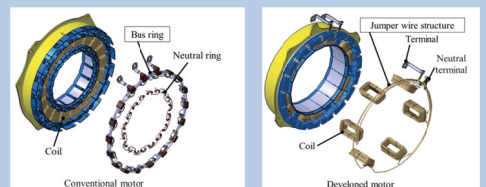


Figure 4-5 ステータ巻き線の渡り線の改善 (左:従来のバスリング, 右:直接渡り線)

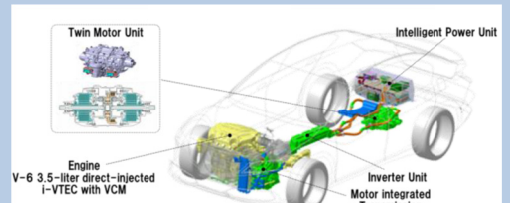


Figure 4-6 全輪駆動スポーツ HEV のパワートレイン

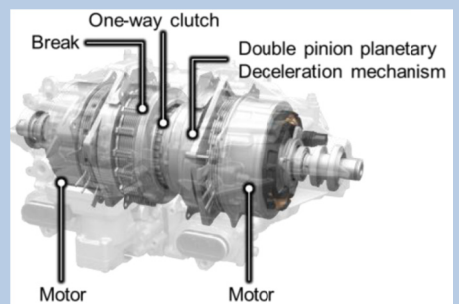


Figure 4-7 後軸用のツインモータユニット

解決したかについても別途発表があった<sup>4-6)</sup>。

非接触給電システムに関して、従来の改良や実用時の障害を排除する研究のほかに、新たな方向の提案があった。従来は車両と充電設備が一对一であることを前提にしていたが、保田らは不特定多数の車両に対応するために充電用コイルが車両の進行方向にずれても効率の変化が少ないシステムについて発表した<sup>4-7)</sup>。詳細の紹介は控えるが、図 4-9 に示すように、路面側に複数の一次コイルを設けて車両の前後方向に長い磁極を構成し、これに対して車両側の 1 個の二次コイルでカップリングするもので、実験設備によって基本的な特性を左右するパラメータについて検討した結果を基に実現可能性について報告した。二次コイルの前後方向変位に対する総合給電効率率は図 4-10 に示すように、一次コイル数とコイル間隔によって要求性能に合わせる事が可能で、実現可能性が高いとしている。

回生制動は電動車両の効率を左右する重要な機能であるが、変動する回生制動能力以上の制動力を油圧制動で補完する協調制御が必須機能である。制動時に操作者に違和感を与えない両ブレーキの協調制御は一般にはブレーキバイワイヤシステムで実現されており、既存の ESC (Electronic Stability Control, 横滑り防止装置) を使用するものとブレーキバイワイヤシステムが ESC 機能までをカバーするものの 2 タイプがあるが、いずれもブレーキバイワイヤシステム用の新規システムが必要でコストが課題となっている。内藤らはブレーキバイワイヤによらない、既存 ESC ユニットの加圧制御の機能を活用した協調制御システムを提案した<sup>4-8)</sup>。一般にブレーキペダルには要求制動力設定器が接続されるのに対し、一般のマスターシリンダに不感帯を設けることによりこのストローク範囲で回生を優先した制御を可能としている(図 4-11, 4-12)。回生での不足分を油圧で補完するロジックについては紹介を割愛するが、この補完油圧の創出を ESC の加圧機能を使用している。このため、加圧ポンプをプランジャポンプから脈動の少ないギヤポンプに変更して違和感のないシステムを実現している。結果としてブレーキバイワイヤシステムに近いエネルギー回収率を確保できたとしている。この提案は、HEV のコストだけでなく、将来、アイドルストップからマイクロ HEV への移行が一般化した際にも重要と考えられる。

そのほか、電欠がないように急速充電器を配置する指針を、一次近似的なシミュレーションによって求めた「交通シミュレーションに基づく急速充電ステーションの適正配置方針」<sup>4-9)</sup>、V2G のグリッドへの貢献の形態とそれによってユーザが得られる利益を精査し、ユーザに受け入れられる可能性について検討した「V2G の経済性と実現のための課題」<sup>4-10)</sup>は、EV の普及を左右するインフラの評価に関するものとして興味深い。(清水)

田島らは、本田技術研究所が研究開発を進めている EV 用接触式大電力走行給電システムにかかわる報告を行った<sup>4-11)</sup>。近年、EV への究極の給電方式として走行中給電に期待が集まっているが、自動車用としては非接触方式を対象としたものが主流であった。そのような状況のもと、本報告では①各種走行中給電方式の優劣比較、②開発した給電システムの詳細、③実車走行テスト結果、の紹介を行い、①については、自動車を対象とした場合には、給電電力・送電距離・位置決め性・安全性確保の観点から「接触式」の「横方向」走行中給電方式に優位性があると結論づけた(表 4-1)。②では、開発給電システムの詳細説明が行われた(表 4-2)。給電については、車両が給電レーンに進入⇒運転手がユニット開閉スイッチを ON⇒ユニットが架線に接触⇒給電スタート、といったプロセスで進むとのことである。③については、会場において動画を中心に大変興味深いプレゼンが行われた(図 4-13)。高速道路 50km 毎に約 2km の給電レーンを設置することにより、EV 航続距離無限化の可能性があることをアピールしていた。さらに、提案方式はコスト面でも有利であり、非接触方式走行中給電の約 20 分の 1 程度に抑えられるとのことである。

東らは、日野自動車が研究開発を進めているコミュニティバス用途の小型 EV バスにかかわる報告を行った<sup>4-12)</sup>。近年、バスの電動化研究が盛んであるが、ほとんどが短期間の試験走行で終了となっている。そのような状況の下、本報告では①エネルギーマネジメントシミュレーションに基づくバスの電動化設計の詳細、②製作した実車両の詳細、③長期間の営業運行時に得られた各種データ、の紹介と分析等を行っていた。①については、はじめに車両の電気・機械系のモデリングを行い、それに基づくシミュレーションにより導入予定ルートに対する諸検討を行った結果を報告した。②においては、2012 年に東京都羽村市と墨田区、そして 2013 年に石川県小松市に導入された同社製小型バス「ポンチョ」をベースとした EV 車両の諸元詳細説明が行われた(図 4-14)。③については、実営業運行時における一年分の電池温度(図 4-

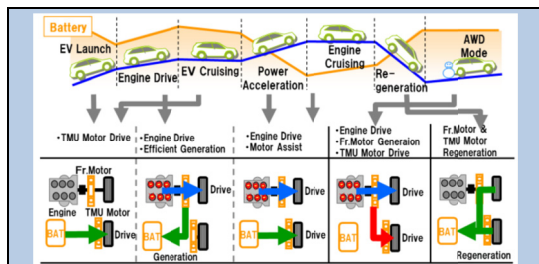


Figure 4-8 全輪駆動スポーツ HEV の動作モード

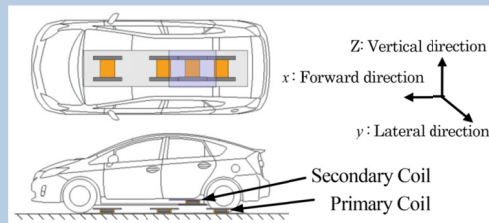


Figure 4-9 多種車両用給電システムのコイル配置

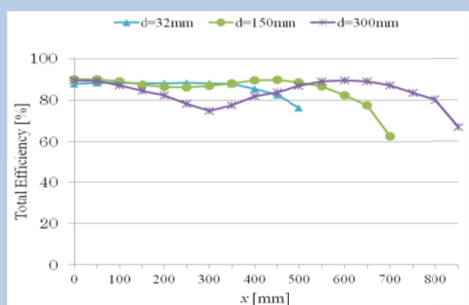


Figure 4-10 車両の位置ずれに対する給電特性

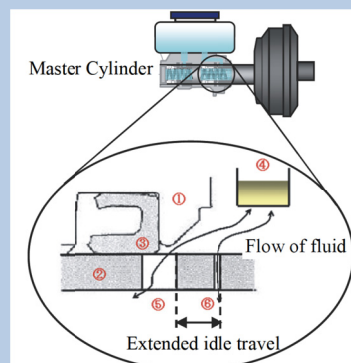


Figure 4-11 協調制御用マスターシリンダー

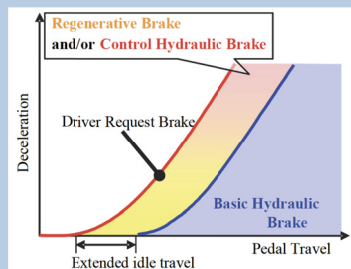


Figure 4-12 ブレーキストロークと協調動作範囲の関係

Table 4-1 Comparison of Electric Supply Capability when a Vehicle is Running

Electric supply system	Non-contact type			Contact type		
	Upper	Lower	Side	Upper	Lower	Side
Electric power	1	2	1	1	3	3
Safety	Human body (Electromagnetism noise)	1	1	1	3	3
	Car	2	2	2	3	3
	Infrastructure	1	2	1	3	1
Convenience	Positioning	1	1	1	3	1
	Lane change	1	1	3	1	1
	Infrastructure Maintenance	2	1	2	2	1
Implementability	Constraint	1	2	1	2	2
	Difficulty	1	1	1	2	1
	Realization time	1	2	1	3	2

3 High score 2 Middle score 1 Low score

15) 放電深度、電費、ディーゼルバスとEVバスのエネルギー費用比較値(図4-16)、等の実測値が紹介され、開発車両の環境調和性や運行費用面での優位性等を定量的に評価していた。乗用車と比較して遅れている商用車分野の電動化技術に係る有益な情報の発信となったため、会場において聴衆の興味関心を集めていた。(紙屋)

### 【参考文献】

- 4-1) 自動車技術会 2013 年秋季大会, JSAE エンジンレビュー, Vol. 4, No. 3(2014)pp7
- 4-2) 池上武史, 横尾健太郎, 齊藤進, 四方哲, 金森伊(本田技術研究所): 新型1モータ SPORT HYBRID システム, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.64-14(2014)
- 4-3) 第43回 東京モーターショー2013, JSAE エンジンレビュー, Vol. 4, No. 3(2014)
- 4-4) 四方哲, 鎌田剛史(本田技術研究所): 新型HEV用モータの開発, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.3-14(2014)
- 4-5) 矢崎学, 中村徹, 津吉智明(本田技術研究所): SPORT HYBRID SH-AWD 用モータ, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.3-14(2014)
- 4-6) 鶴飼伸周, 漆原圭輔(本田技術研究所): SPORT HYBRID SH-AWD 用 Inverter Unit の開発, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.4-14(2014)
- 4-7) 保田富夫, 乗越勇美, 藤田幸一, 砂金富保(テクノバ): 新方式非接触給電システム, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.27-14(2014)
- 4-8) 内藤政行, 大崎慎太郎, 小池康広(アドヴィックス), 森下慎一郎, 全男浩(日産自動車): ESC 回生協調ブレーキシステム開発, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.3-14(2014)
- 4-9) 日渡良爾, 岩坪哲四郎, 池谷知彦(電力中央研究所): 交通シミュレーションに基づく急速充電ステーションの適正配置方針, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.27-14(2014)
- 4-10) 蓮池宏, 新谷隆之(エネルギー総合工学研究所): 交通シミュレーションに基づく急速充電ステーションの適正配置方針, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.27-14(2014)
- 4-11) 田島孝光, 芝端康二, 野口涉, 有賀友恒(本田技術研究所): EV 航続距離延長技術に関する検討, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.28-14(2014)
- 4-12) 東壽志, 伊藤妥, 古藤隆志(日野自動車): 小型EVバス用エネルギーマネージメントの開発, 自動車技術会 2014 年春季学術講演会前刷集, No.29-14(2014)

### 5 ガス燃料エンジン

「ガス燃料エンジン I・II」では、国内外の研究機関や企業から、デュアルフューエルに関する基礎研究やコンセプト、熱効率向上を目指した独自性の高い研究テーマが発表された。その中から2件の講演を紹介する。

趙ら<sup>5-1)</sup>は、吸気管供給の天然ガスを主燃料として、筒内噴射の軽油を着火源とするデュアルフューエル圧縮着火エンジンを対象に、低負荷における未燃損失の増加や、高負荷における最大圧力上昇率の増大を課題に挙げ、圧縮比・吸気酸素濃度・吸気圧力・天然ガス当量比の影響を報告している。図5-1は筒内圧力と熱発生率であり、図示平均有効圧0.8MPa・圧縮比16.5・吸気酸素濃度21%の運転条件において、異なる体積効率 $\eta_v$ と天然ガス当量比 $\phi_{NG}$ の結果を比較している。どの運転条件においても、燃焼後半に急峻な熱発生を示し、天然ガスの未燃混合気が予混合圧縮着火的に燃焼すると考察している。このような熱発生が観察されない圧縮比14.5の性能と比較して、同等NO<sub>x</sub>レベルでTHCおよびCOの低減と、図示熱効率の向上が得られる一因としている。但し、燃焼後半の急峻な熱発生は最大圧力上昇率を増大させ、それに伴うNO<sub>x</sub>の増加を招くため、吸気酸素濃度の低減による改善を試みている。図5-2は筒内圧力と熱発生率であり、図示平均有効圧0.8MPa・圧縮比16.5・体積効率1.0の運転条件において、異なる吸気酸素濃度 $O_{2in}$ の結果を比較している。吸気酸素濃度16%では、燃焼後半の急峻な熱発生を示しながらも、その際の最大圧力上昇率とNO<sub>x</sub>は同21%と比較して抑制され、同時にTHCおよびCOと図示熱効率は同等レベルを得ている。今後、この特徴的な燃焼を広範囲な運転条件で実現することが期待される。

低温燃焼による熱効率向上と有害排気低減を目的として、Leeら<sup>5-2)</sup>は Dedicated EGRと称す

Table 4-2 Specification of Dynamic Charge System

Infrastructure	Electric power	150kW
	Output voltage	500V
	Output current	300A
Vehicle & Infrastructure	Dynamic charge electric power	100kW
	Electric supply voltage	375V
	Electric supply current	300A
	Power transmission distance	0.8~1.6m
Vehicle	Maximum speed	Over 150km/h
	Vehicle weight	1312kg
	Motor power	130kW



Figure 4-13 Dynamic Charge Vehicle



Figure 4-14 Small EV Bus

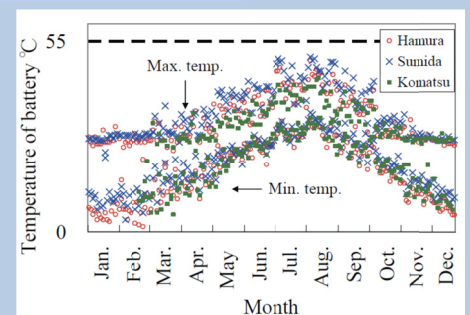


Figure 4-15 Annual change in the daily temperature of battery

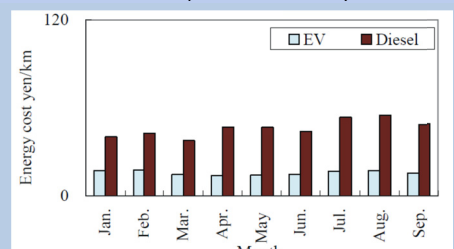


Figure 4-16 Comparison of energy cost

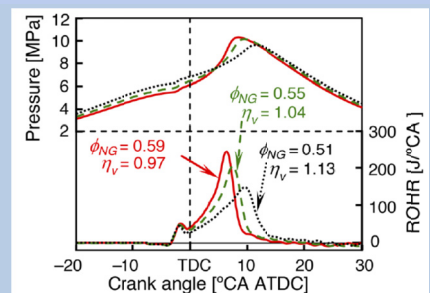


Figure 5-1 異なる体積効率の筒内圧力と熱発生率

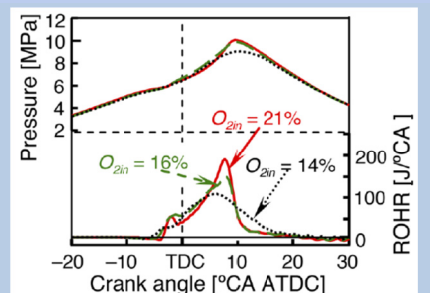


Figure 5-2 異なる吸気酸素濃度の筒内圧力と熱発生率

るコンセプトの実現可能性を報告しており、 $H_2$ と $CO$ を含むEGRの大量導入により、燃焼速度の低下を抑制しつつ、低温燃焼を実現することを目標としている。図5-3は、Dedicated EGRシステムで構成される火花点火エンジンのコンセプトを示す。全気筒とも吸気絞りや過給はなく、#1気筒の $CH_4$ -Air当量比 $\phi_{\#1}$ と、#2~#4気筒の同当量比 $\phi_{\#2}$ は独立して制御され、#1気筒の排気は全て#2~#4気筒に供給される。従って、均一に希釈される仮定で、#2~#4気筒のEGR率は33%としている。図5-4は、気筒全体の熱効率に及ぼす当量比 $\phi_{\#2}$ の影響を示しており、当量比 $\phi_{\#1}$ が異なる場合を比較している。当量比 $\phi_{\#1}$ が1.0の場合、#1気筒だけは約35%の熱効率を示すが、その排気を#2~#4気筒に供給しても、気筒全体の熱効率は最高でも25%に満たない。一方、当量比 $\phi_{\#1}$ が1.8および2.2では、#1気筒だけの熱効率はそれぞれ約16%および約10%程度だが、気筒全体の熱効率はどちらも最高で約40%を示す。過濃燃焼により $H_2$ と $CO$ を含む排気を全量EGRとして供給する方が、量論燃焼の排気を供給するよりも、気筒全体の熱効率を大幅に向上させる結果は興味深い。NOx生成を含めた更なる検討と、実機での実験結果に期待したい。(佐藤)

### 【参考文献】

- 5-1) 趙培龍, 加藤大樹, 小川英之, 柴田元:天然ガスを主燃料とするデュアルフェューエル圧縮着火エンジンの燃焼および排気改善, 自動車技術会 2014年春季大会, No.47-14(2014)
- 5-2) Sejun Lee, Kyohei Ozaki, Takahiro Sako, Norimasa Iida:Influences of  $H_2$  and  $CO$  on Combustion of Premixed Methane-air and Comparison of Lean ring and Stoichiometric Combustion in a SI Engine with Dedicated EGR System, 自動車技術会 2014年春季大会, No.48-14(2014)

## 6 エンジン部品・トライボロジー

リケン飯島<sup>6-1)</sup>は、2ピースタイプのピストンリングの外周形状違いによる外周摩擦力とオイル消費への影響について報告。表6-1に示す3種類の外周形状違いについて、ピストンの2次運動が発生しない構造の浮動ライナ法によりピストンリング外周摩擦力を、1.5L直列4気筒自然吸気エンジンを用いた連続重量法によりオイル消費を測定した。また、混合潤滑の基礎式にPatirとChengの平均レイノルズ方程式を、接触理論にGreenwoodとTrippのモデルを使用した混合潤滑理論によるリング外周の油膜厚さと摩擦力を計算した。結果としてBタイプのものが摩擦力が良好であり(図6-1)、オイル消費も低張力(10N)にて良好であった。これはBタイプがリング外周油膜計算においての油膜が薄いこと(図6-2)、流体摩擦計算結果においてフリクションが少ないこと(図6-3)より、摩擦力に関しては、ランド先端がとがったようなバレル形状であるBタイプでは、リングの摺動によって発生する油膜圧力の領域が小さく、オイルのせん断領域が小さい、その結果、粘性摩擦力が低くなった。また、オイル消費に関しては、油膜圧力の発生領域が小さく、ランド外周の油膜が厚くなり難いためと考察している。

マーレエンジンコンポーネンツジャパンの大岩<sup>6-2)</sup>は、マイクロピーニング処理によるアルミニウム鋳物合金製ピストンのピン穴強化について報告。図6-4に示すエア式ブラスト装置により高速に加速された硬質ガラス粒子( $\phi 0.4$ )をピン穴内部に衝突させ、表面硬さの向上(図6-5)、表面内部残留応力の付与(図6-6)、により強度アップを図った。また、処理表面はマイクロディンプルが形成され、表面近傍の組織は母材の結晶粒が砕かれた微細処理層が形成される。ブラストが強すぎると表面粗さが悪化するが、弱すぎると表面処理効果が十分現れないため両者がバランスする処理条件の調節が重要とのこと。ハイドロパルサ試験による疲労試験の結果、未処理に対して15%以上の強度向上が確認され、ディーゼルエンジンによる実機試験では2倍以上の耐久性向上が確認された(図6-7)とのこと。また、ピン穴の応力緩和形状と組み合わせることで、ピン穴ブッシュの代替になる可能性があるとしている(藤井)。

### 【参考文献】

- 6-1) 飯島 直樹, 煤田 学, 岩田 康宏, 臼井 美幸樹, 歌代 健一:ピストンリングの外周形状による外周摩擦力とオイル消費への影響, 自動車技術会 2014年春季大会学術講演前刷集, No.67-14(2014)
- 6-2) 大岩 力, 大澤 克幸, 中村 剛, 李 新波, 石橋 正人:マイクロピーニング処理によるアルミニウム鋳物合金製ピストンのピン穴強化に関する技術開発, 自動車技術会 2014年春季大会学術講演前刷集, No.67-14(2014)

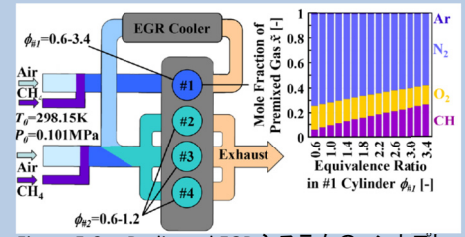


Figure 5-3 Dedicated EGR システムのコンセプト

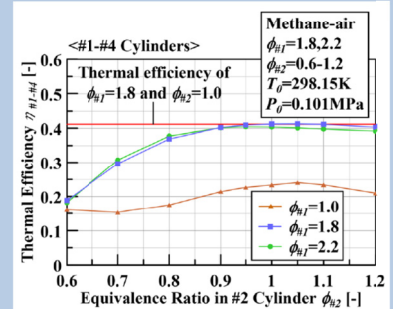


Figure 5-4 気筒全体の熱効率に及ぼす当量比の影響

Table 6-1 テストに用いたオイルリング仕様

	A type Oil ring	B type Oil ring	C type Oil ring
Section Configurations			
Friction Test	Ring Tension: 20N Sliding Width: 0.12, 0.16mm	Sliding Width: 0.16mm	Sliding Width: 0.12, 0.16mm
OC Test	Ring Tension: 10, 15, 20N Sliding Width: 0.12mm	Sliding Width: 0.16mm	Sliding Width: 0.12mm
Calculation	Ring Tension: 20N Sliding Width: 0.12, 0.16mm	Sliding Width: 0.16mm	Sliding Width: 0.12, 0.16mm
Peripheral Configurations Before Test			

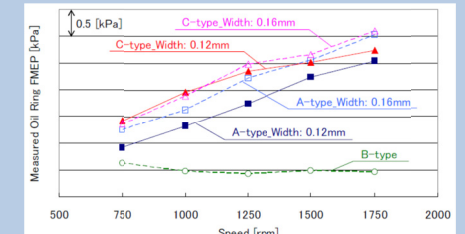


Figure 6-1 オイルリング摩擦力測定結果

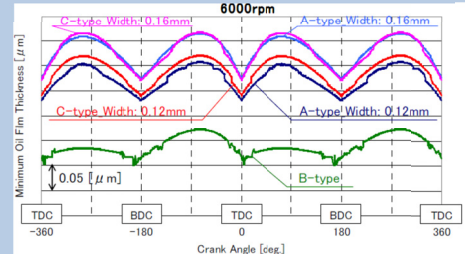


Figure 6-2 オイルリング上側ランド外周の最小油膜厚さ計算結果

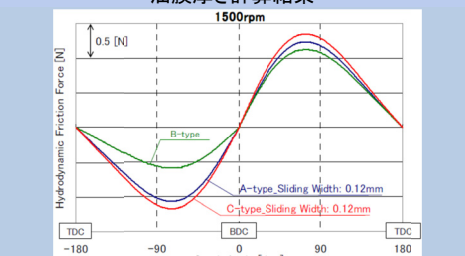


Figure 6-3 オイルリング流体摩擦計算結果

## 7 潤滑油および潤滑技術

IHI の増田ら<sup>7-1)</sup>は、潤滑油が予混合燃焼機関の異常燃焼に与える影響について報告。図 7-1 に示す船用大型低速ガスエンジンを想定した急速圧縮膨張装置にて、圧縮温度、圧縮圧力、予混合気(CH<sub>4</sub>+Air)の当量比を変化させ、潤滑油の自着火による予混合気の異常燃焼(過早着火)(図 7-2)について以下を報告している。潤滑油(一般的な船用シリンダ油;LO)の最低自着火温度は約 695K であり、エンジンの運転雰囲気下で十分自着火する。また、潤滑油が極微量でも燃焼室内に存在すれば予混合気を着火させる能力があり、潤滑油供給量低減による過早着火の抑制には限界がある。しかしながら、予混合気の当量比を低下させると潤滑油の自着火に伴う予混合気の燃焼割合が低下する。また、予混合気の当量比を低下させると予混合気の最低着火温度が高くなり、潤滑油の自着火温度に比べ 35~80K 高く、潤滑油が自着火しても予混合気が着火しない領域がある。圧縮温度と予混合気の当量比で整理すると図 7-3 のようになり、予混合気の当量比を低下させることで過早着火を低減することができる。回転数が低いほど潤滑油の自着火時期は早まる(図 7-4)。すなわち回転数を上げることで過早着火を回避できる可能性がある。潤滑油が非摺動面に付着している場合に比べて、ピストンリング摺動部に存在する場合は、リング挙動により液滴が形成され、蒸発しやすいため潤滑油の自着火およびそれに伴う予混合気の着火時期が早まる(藤井)。

### 【参考文献】

7-1) 増田 裕, 廣瀬 孝行, 古谷 博秀, 山田 剛: 潤滑油が予混合燃焼機関の異常燃焼に与える影響について, 自動車技術会 2014 年春季大会学術講演前刷集, No.68-14(2014)

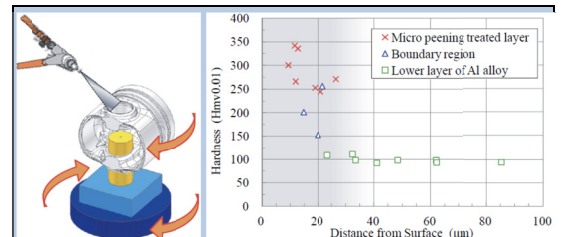


Figure 6-4 ピストンピン穴のマイクロピーニング処理

Figure 6-5 マイクロピーニング処理層の硬度向上

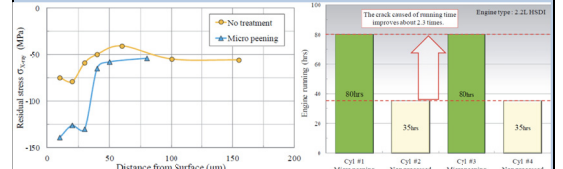


Figure 6-6 マイクロピーニング処理品の深さ方向残留応力分布

Figure 6-7 エンジンテスト結果

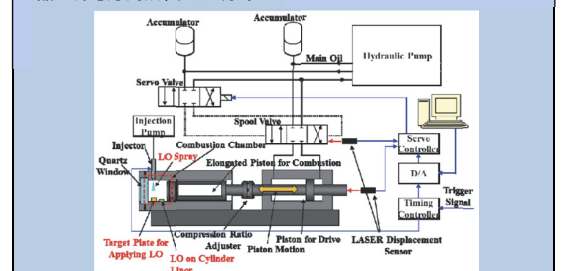


Figure 7-1 急速圧縮膨張装置 (RCEM)

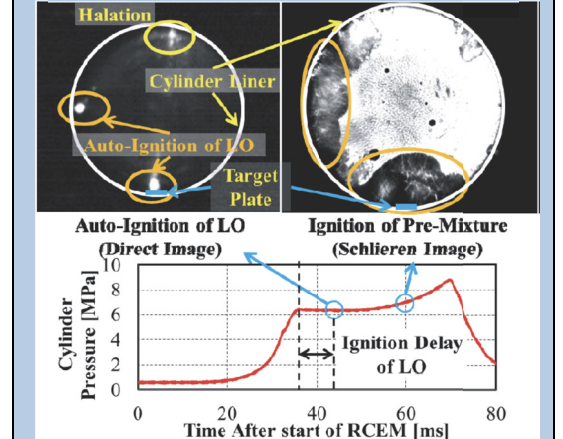


Figure 7-2 潤滑油(LO)の自着火と予混合気着火の画像と筒内圧

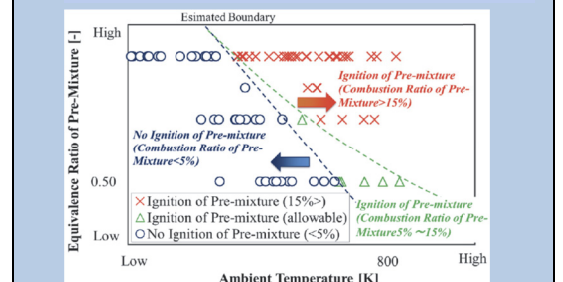


Figure 7-3 圧縮温度と予混合気当量比の予混合気着火との関係

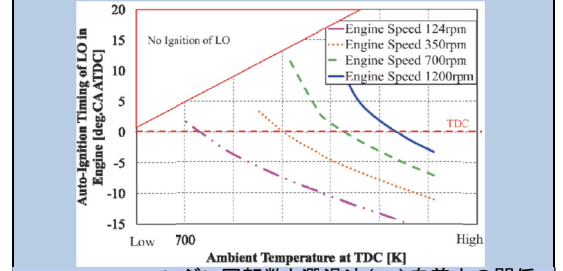


Figure 7-4 エンジン回転数と潤滑油(LO)自着火の関係