

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

Vol. 1 No. 2 2011

JSAE エンジンレビュー

特集：自動車技術会 2011 秋季大会

NEWS & INFORMATION

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



公益社団法人 **自動車技術会**

コラム●内燃機関の現在と将来：日本自動車部品総合研究所／調 尚孝	1
特集：自動車技術会 2011 年秋季大会 IN 札幌コンベンションセンター	3
NEWS & INFORMATION	18

■ 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)  
今井 康雄 (日本自動車研究所)  
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)  
清水 健一 (産業技術総合研究所)  
下田 正敏 (日野自動車)  
調 尚孝 (日本自動車部品総合研究所)  
鈴木 央一 (交通安全環境研究所)  
沼田 明 (三菱重工業)  
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： 2011 年 12 月 20 日  
発行人： 新井 雅隆 (群馬大学)  
〒 102-0076 東京都千代田区五番町 10-2  
電話： 03-3262-8211

●コラム

## 「内燃機関の現在と将来」



編集委員

調 尚孝

Naotaka SHIRABE

(株)日本自動車部品総合研究所

NIPPON SOKEN, INC.

このコラムで「内燃機関の現在と将来」について語ろうというのではない。かぎ括弧で括った意味は、これが1962年ペンシルバニア州立大学名誉教授(当時)のP.H.シュバイツァー博士が日本に招聘され何回かにわたり講演された演題(原題“The Present and Future of the Internal Combustion Engine”)だからである。この講演録が早稲田大学の斉藤孟先生により邦訳され、当エンジンレビューの前身となる内燃機関誌(山海堂刊)に連載された1)~4)。当時の国内の内燃機関に係わる研究者や技術者が大きな関心を持ってこの講演を聴講したと伝え聞く。筆者は会社入社したばかりの頃、先輩のファイルにこの記事が綴じられているのを見つけ、興味深く読んだのを記憶している。

この講演からほぼ50年(半世紀)が経過した。すなわちこの講演の「将来」の部分は「過去」あるいは「現在」すなわち事実と比較することができる。これがこのコラムの執筆の動機である。内燃機関はその後どうなったか?

その前に、シュバイツァー博士の講演録を簡単にレビューしたい。

「現在と将来」という講演だが、その講演録の内容は内燃機関の進歩において将来の傾向となるものにほとんどの紙数を割いている。そして、その将来の内燃機関というものも

- (1) 自由ピストンと他の複合機関
- (2) 空冷
- (3) ハイブリッド機関(今日のハイブリッドではなく、オットー機関とディーゼル機関の組み合わせをここではハイブリッドと称している)

の三つに集約されている。(1)では、自由ピストン機関や複合機関の各種構造、長所短所、P-V線図及び熱効率等が紹介されている。前者の自由ピストン機関は自動車用としては好ましくないと結論付け、後者の複合機関では今日では実用化されているターボ過給ディーゼル機関や未だ研究開発途上にある可変圧縮比機関が紹介されている。(2)では、空冷と水冷の利害得失を論じ、将来的に空冷がいろんなエンジンの用途の中で優勢になるだろうという見解を博士は示している。(3)ではまず表-1を参照されたい。オットー機関はスロットル負荷調節の予混合火花点火(1234)で、ディーゼル機関は燃料量負荷調節の不均一混合圧縮自着火(ABCD)であることは当時も今も主流だが、博士はそれぞれの機関の長所を併せ持つハイブリッド機関の登場を期待している。すなわち4つの数字とアルファベットを組み合わせた種々のハイブリッド機関についてその可能性を論じている。オットー機関では当時研究開発が大流行したテキサコ燃焼方式をはじめとする層状給気機関(AB3D)に言及し、燃料噴射の役割の大きさを指摘している。ディーゼル機関ではディーゼルハイブリッドと称し、(12CD)の例が紹介されているが、これはまさしく予混合圧縮自着火に他ならない。この他、有名なMANのM燃焼方式(A2CD)やフュミゲーション(1+A2CD)も紹介されている。

博士の講演は自動車用、船舶用、陸用、二輪用および発電用と多岐にわたるが、ここでは自動車に限定して、今日の視点から博士の講演内容を考察する。博士の期待通りいくつか実現された機関が存在する。特に層状給気機関(AB3D)は1996年に三菱GDIやトヨタD-4で層状給気直噴ガソリンエンジンとして実用化された。が、その後の排気規制対応で後処理装置が高コストとなるため、現在の直噴ガソリンエンジンは均一混合気(A234)のものが主流となっている。空冷に関しては、ポルシェやホンダ車などで1970年代頃まで長く空冷が見られたが、現在の自動車用内燃機関は水冷である。これは自動車用内燃機関が、高性能化を追求し平均有効圧が非常に高くなっていることと、車室への快適なヒータを実現することが空冷では難しいことが要因と思われる。前述した可変圧縮比機関や予混合圧縮自着火方式(12CD)

は現在でも研究開発中である。1970年以降、米国カリフォルニア州の大気汚染を契機として始まった排気規制の動きは、博士の講演の約10年後であり、この講演録に言及はない。この排気規制対応とそれに連動した1970年代中盤以降の電子制御化の動きもその後の自動車用内燃機関の方向性を大きく変えた。

現在の内燃機関は、環境問題（GHGの排出低減）や資源問題（化石燃料の枯渇、燃料の多様化）を抱え、さらなる高効率化と劇的な燃費の低減が要求されている。加えて電動化の動きも活発である。今から50年後（博士の講演から100年後）の2060年頃にまた「パワートレインの過去、現在および将来」なる論文が提出され、「過去」すなわち現在を論じた時、現在の内燃機関技術者の努力を高く評価していただきたいと切に望む次第である。

表1 オットーとディーゼルの機能<sup>3)</sup>

オット機関	ディーゼル機関
1 外部混合	A 内部混合
2 均一混合気	B 不均一混合気
3 固定点点火	C 圧縮点火
4 空気+燃料調節 (スロットル付)	D 燃料調節 (スロットルなし)

(引用文献)

- 1) P.H. シュバイツァー, 齊藤孟 (訳); 内燃機関の現在と将来 (上), 内燃機関, Vol.1, No.3 (1962)
- 2) P.H. シュバイツァー, 齊藤孟 (訳); 内燃機関の現在と将来 (2), 内燃機関, Vol.1, No.4 (1962)
- 3) P.H. シュバイツァー, 齊藤孟 (訳); 内燃機関の現在と将来 (3), 内燃機関, Vol.1, No.5 (1962)
- 4) P.H. シュバイツァー, 齊藤孟 (訳); 内燃機関の現在と将来 (4), 内燃機関, Vol.1, No.6 (1962)

# 特集：自動車技術会 2011 年秋季大会 IN 札幌コンベンションセンター

Report of JSAE Annual Congress -Autumn- (SAPPORO)

編集委員：金子タカシ，調 尚孝，菊池 勉  
清水 健一，下田 正敏，鈴木 央一，藤井 厚雄

日本大学：飯島 晃良

Takashi KANEKO, Naotaka SHIRABE, Tsutomu KIKUCHI

Ken-ichi SHIMIZU, Masatoshi SHIMODA, Hisakazu SUZUKI, Atsuo FUJII (JSAE ER Editorial Committee)

Akira IJIMA (Nihon University)

日時：2011 年 10 月 12 日 (水) ~ 14 日 (金)

場所：札幌コンベンションセンター (北海道札幌市)

主催：(公益社団法人) 自動車技術会

## 1. はじめに

2011 年の 10/12 から 10/14 に札幌市の札幌コンベンションセンター SORA において自動車技術会の秋季大会が行われた。本稿ではここでなされた講演のなかから，特にエンジン燃焼およびその周辺に絞って，そのなかから幾つかについて要約してご報告させて頂くこととする。

## 2. ディーゼルエンジン関連

### 2.1 ディーゼルエンジン

「ディーゼルエンジン」セッションより，「小型商用車用尿素フリーディーゼルエンジンの開発」<sup>2-1)</sup> および「中型商用車用尿素フリーのポスト新長期排出ガス規制対応新型ディーゼルエンジンの開発」<sup>2-2)</sup> を併せて紹介する。前者は排気量 4L で 2~3t 積載クラスの小型トラック用，後者は 5.1L で 4~7t 積載車用のものである。それぞれのラインナップを表 2-1, 2-2 に示す。いずれにおいても，尿素 SCR を用いることなくポスト新長期規制をクリアするために，多量 EGR が必須となり，様々な改良が施されているが，ユニークなものとして規制値まで「あと少し (3 割程度)」の NOx 低減を行うために，新 DPR として酸化触媒を含めた DPF システムに HC 吸着機能を付加させて HC-SCR (燃料など炭化水素を用いた NOx 選択還元触媒) 効果を持たせている。多量 EGR を行うためには，EGR クーラをチューブ長さの延長など冷却能力増強を図り，バルブも改善した。ターボについては可変ノズル (VGN) 式で小径化することでレスポンス向上を図っている。近年の高過給エンジンでは，ターボは大型化すると考えなくなるが，大型化してレスポンスが遅れ，加速時にターボラグで空気が足りないような状況になっては，出力も排出ガス性能も確保できず致命的で，小型化することで過給機をより効果的に使っている。ただし，その代償というべきか，いずれのエンジンでも最高出力は同等以上ながら定格回転数を低下させている。

表 2-1 において，最も出力の大きい 132kW のものを除いて 2015 年燃費基準をクリアしている。ここで注目したいのは，最も左のもので，圧縮比が 20 となっている。これはハイブリッド車用のもので，吸気弁遅閉じによるアトキンソンサイクルとすることで軽負荷時の燃費を改善し，アイドルでは 5% 以上の改善となった。背反する最大トルクの低下や始動性の悪化についてはモータトルクを加えたトータルとして性能確保をしているとのことである。近年ディーゼルでは低圧縮比化が注目されることが多い。それによる多くのメリットがある

Table 2-1 エンジン諸元 (4L)

Model	ND4C-U1	ND4C-U1M	ND4C-U1N	ND4CUP	ND4C-U1Q
Cylinder Arrangement	Inline 4				
Bore x Stroke (mm)	108x118				
Displacement (L)	4.005				
Compression Ratio	20	18	18	18	17
Maximum Power (kW/rpm)	110/2500	85/3000	100/2500	110/2500	132/2800
Maximum Torque (Nm/rpm)	420/1400	325/1400	390/1400	420/1400	480/1400

Table 2-2 エンジン諸元 (5.1L)

Model	New Model		Previous Model	
	J05E	—	J07E	J05D
Cylinder Arrangement	Inline 4	—	Inline 5	Inline 4
Bore x Stroke (mm)	112 X 130	—	112 X 130	112 X 120
Displacement (liter)	5.123	—	6.403	4.728
Compression Ratio	17.0	—	18.0	—
Maximum Power (kW/rpm)	155/2500	140/2500	155/2700	133/2800
Maximum Torque (Nm/rpm)	637/1500	—	588/1600	478/1600
Aspiration	VN-Turbocharger with intercooler	—	VN-Turbocharger with intercooler	—
Injection System	Common Rail System	—	Common Rail System	—
Maximum Inj.Press.	200MPa	—	160MPa	—
EGR type	Cooled EGR	—	Cooled EGR	—

のは事実だが、理論熱効率というポテンシャルを下げていることもまた事実であり、今後さらなる燃費改善を求められると再度（高膨張比サイクルを含む）高圧縮比化を考慮していく必要が出てくると考えられる。ハイブリッド車用という限定されたエンジンにその萌芽があるように思われ今後注目したい。

本エンジンの特徴といえる HC-SCR の効果について、図 2-1 に示す。一見すると NOx 浄化率は前記の 3 割程度というよりも高いようにも見受けられるが、一方で 1500 秒付近ではほとんど浄化できていないことが分かる。この部分は高速走行を行っていることから、濃度以上に排出量としてみると多い領域である。高速走行により触媒温度が上昇し、排出ガス量も多いことから HC-SCR に不利な状態であるため NOx 浄化率が稼げず、全体として 3 割程度となったものとみられる。大気 NO<sub>2</sub> の環境基準未達成は現在都市部に限られていることから、都市内走行で効果のある HC-SCR の採用は、小中型トラックで簡便な後処理装置として「ツボを押さえた」ものといえそうだ。（鈴木 央一）

## 2.2 ディーゼル排気

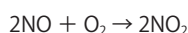
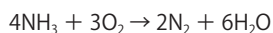
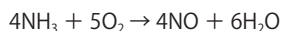
ディーゼル排気のセッションにおいて予定されていたトヨタの新 NOx 吸蔵触媒の発表<sup>2-3)</sup> はキャンセルされた。注目していたが大変残念。

- ・トヨタの担当の部長に確認したところ、その担当チームが全員アーヘンコルキュウムに発表のため出張したので発表する人間がいなかったとの故。
- ・国内の市場に日産と三菱は NOx 吸蔵つきの SUV を投入しているのにトヨタは欧州の乗用車なので、欧州での発表を優先したか？

## 2.3 尿素 SCR システム

注目されるのは N<sub>2</sub>O 関係で下記の二つの発表を挙げる。早大聖研の松井ら、交通安全環境研の鈴木らの「尿素 SCR システムの NOx 浄化率向上に関する研究」<sup>2-4)</sup> では、N<sub>2</sub>O の生成原因を SCR システムの NH<sub>3</sub> スリップ触媒前後の反応を実験、シミュレーションの両面より解析し、

- ・N<sub>2</sub>O 生成に関する化学反応式は



- ・200℃以下では NO / NH<sub>3</sub> が N<sub>2</sub>O 生成の支配因子（図 2-2）

これを下げるには EGR 併用して NO を下げる必要がある。

- ・200℃以上ではリーク NH<sub>3</sub> が支配因子

適正な当量比の尿素噴射が必須。

この結論からも欧州式の EGR レス、高 NOx の大量尿素ドージングを国内に持ち込むことの無理が証明された感有り。

交通安全環境研の鈴木らの「ポスト新長期 SCR 車における N<sub>2</sub>O 排出特性」<sup>2-5)</sup> では、車両 A、車両 B1、B2 のポスト新長期（いずれも DPF + SCR）の車両を入手しシャシダイ上で JE05、WHTC モードで N<sub>2</sub>O を解析。

- ・新長期〈SCR のみ〉で見られたような N<sub>2</sub>O が CO<sub>2</sub> 排出の温暖化負荷の 15 ~ 20% のようなことはなく、5% レベルに収まっている（図 2-3）。
- ・その原因の一つとして、上流側に DPF が付いたことにより熱容量が増加し、モード中の温度上昇速度が緩和しリーク NH<sub>3</sub> の減少が寄与している。
- ・車両 A の NOx 値はシャシダイナモの JE05、WHTC 共に 2.3 ~ 2.4 g /kw,hr で、JE05 の規制値の 3 倍以上。

本来のエンジン試験ではなくシャシダイナモ上の測定であり、エンジン、後処理装置の暖気状態、温度の状態もエンジン試験とは異なり、かつ駆動系の諸元が異なるとはいえ、異状ではないか？ たまたま、またはあえて排ガスのモードと異なる領域で運転する駆動系の設定にして燃費を狙っているか？ SCR 触媒の劣化か？ 尿素噴射の異常か？ 制御か？。これらが輻射している可能性があり、問題はかなり大きいと推測され、詳細な解析が望まれる。

## 2.4 ポスト新長期対応エンジンとそれ以降の要素技術

いすゞ中研、鈴木等の「ディーゼル機関における噴射率可変を用いた燃費、排出ガスおよ

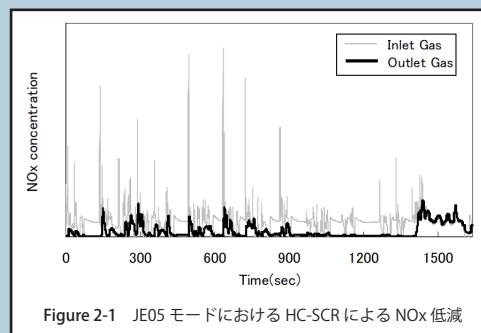


Figure 2-1 JE05 モードにおける HC-SCR による NOx 低減

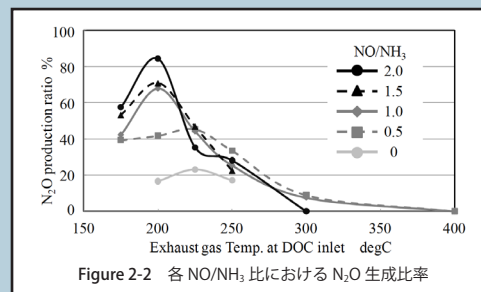


Figure 2-2 各 NO/NH<sub>3</sub> 比における N<sub>2</sub>O 生成比率

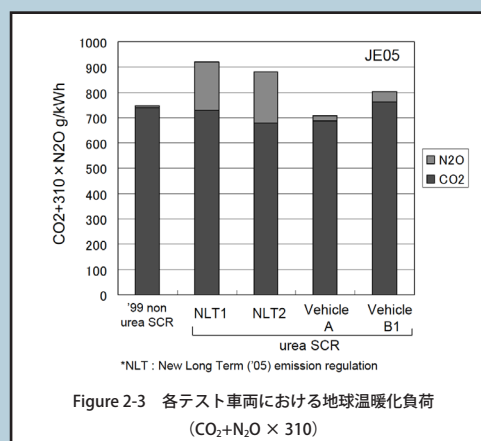


Figure 2-3 各テスト車両における地球温暖化負荷 (CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>O × 310)

び燃焼音の同時低減<sup>2-6)</sup>では、ピエゾ素子によって噴射ノズルの針弁を直接駆動する直動型、コモンレール、ピエゾインジェクタは噴射率形状を高い自由度で可変化（ブーツ型噴射）できる。この噴射系を用い、多段噴射、噴射率形状の可変化（ブーツ型噴射）が燃焼特性に及ぼす影響を調査した。従来の電磁弁式コモンレール噴射系は、初期噴射率が高い分、NOx、燃焼騒音に不利であったが、パイロット噴射、EGRの導入によりNOx、燃焼騒音のデメリットが消え、黒煙の低減効果が際立ってきた。その状況下で本システムは

- ・ブーツ噴射による燃焼騒音低減効果はあるが、黒煙の増加を招く。理由はCFDの解析によりブーツ噴射は噴霧の発達が遅く、到達距離が短く、後続の噴霧の追い越しが起こり等量比分布の均一化が遅れ、過濃混合比を作るからであることが分かった。
- ・ブレ噴射（パイロット噴射）とブーツ噴射を組み合わせることにより、大幅な燃焼騒音の低減と且つスモーク排出とのトレードオフを改善できる。
- ・絞り系の噴射率制御は、黒煙、燃焼期間にどうしてもデメリットを伴うという従来の傾向からの脱却は可能かどうか？（下田 正敏）

【参考文献】

- 2-1) 間宮, 鈴木, 扇元, 前田, 後藤: 小型商用車用尿素フリーディーゼルエンジンの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. 147-11 (2011)
- 2-2) 久富, 藤堂, 大井, 小柳, 川崎, 大矢: 中型商用車用尿素フリーのポスト新長期排出ガス規制対応新型ディーゼルエンジンの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. 147-11 (2011)
- 2-3) K. Umemoto, K. Yoshida et al., Y. Bisaiji, M. Inoue, T. Fukuma.: Development of Di-Air-Diesel NOx Aftertreatment by Adsorbed Intermediate Reductants, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.131-11 (2011)
- 2-4) 松井, 鈴木, 太田, 大聖, 鈴木, 石井: 尿素 SCR システムの NOx 浄化率向上に関する研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.115-11 (2011)
- 2-5) 鈴木, 石井: ポスト新長期 SCR 車における N2O 排出特性, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.115-11 (2011)
- 2-6) 鈴木, 港, 島崎: ディーゼル機関における噴射率可変を用いた燃費, 排出ガスおよび燃焼音の同時低減, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.147-11 (2011)

3. ガソリンエンジン関連

3.1 ガソリンエンジン

ガソリンエンジンのセッションでは4テーマの発表があった。それらの中から2テーマを紹介する。

日産の伊佐治らから、新しく商品化された「直列3気筒1.2Lスーパーチャージャエンジン」<sup>3-1)</sup>の発表があった。欧州Bセグメントにおける、クラストップレベルの低CO<sub>2</sub> (95 g/km)と最高出力72kW、最大トルクは142Nmを発生し、1.5Lの自然吸気エンジン並みの動力性能を実現したとしている(表3-1)。本エンジンの特徴の一つは過給エンジンにもかかわらず圧縮比を13と高く設定していることである。これは高熱伝導率ピストンリングや銅製バルブガイド等のノック抑制技術を燃焼室周りに用い、ノックの原因となる燃焼室壁温等を低下させることで実現している(表3-2)。もう一つの特徴は、過給器は、加速レスポンスを重視して、バイパスバルブ付きのスーパーチャージャを採用、過給圧のコントロールをバイパスバルブで行うことにより過給器の駆動トルクを最適化し、燃費改善を行っていることである(図3-1)。タービンが不要なので、エンジン冷間時の、タービンの熱容量による排気触媒の昇温悪化がないので、厳しい排気規制に対応しやすいシステムであると考えられる。

トヨタの高橋らから、「冷却損失の低減とノッキング改善の両立」についての発表があった<sup>3-2)</sup>。熱効率改善のため、エンジンの圧縮比は高い値になってきているが、これにはノッキングの抑制が必須である。しかしながらノッキングを抑制手段として燃焼室を冷却することは、冷却損失を増大させることとなり、この両立が懸案である。著者らは燃焼室表面に加えてエンジン内部の熱流れに着目して、CAEを用いてエンジン各部の冷却が冷却損失とノッキングに与える影響を明らかにし、さらに、単気筒エンジンを用いて燃焼室温度分布を最適化する検討を行った。計算モデルは、STAR-CDとSCRUYU-Tetraとし、結果を組合せて燃焼室の壁面温度やエンジン内部の熱流れを計算した所が特徴である(図3-2)。検討に用いたエンジンにおいては、ノッキングの改善には、排気側のライナ上部の冷却はノッキング改善効果が高

Table 3-1 HR12DDR エンジン諸元

	HR12DDR	HR12DE
Engine Type	Inline 3	←
Displacement (cc)	1198	←
Bore × Stroke (mm)	Φ78 × 83.6	←
Compression Ratio	13.0	10.7
Max. Power (kW/rpm)	72 / 5600	59 / 6000
Max. Torque (Nm/rpm)	142 / 4400	110 / 4000
CO <sub>2</sub> emissions (g/km)	95	115
Emission Level	EURO 5	←
Aspiration	Super Charger	Natural Aspiration
Fuel supply system	Direct Injection	Port Injection
CVTC system	INT. & EXH.	INT.

CVTC (Continuously variable Valve Timing Control)

Table 3-2 燃費改善の技術的な特徴点

Main Technical Features	
<b>High compression ratio : 13.0</b>	DIG (Direct Injection Gasoline)
	Piston with cooling channel
	High thermal conductivity piston ring
	Sodium Exhaust Valve
	Copper Valve Guide
	Intake and Exhaust CVTC
<b>Swirl control valve</b>	
<b>EGR System (internal / external)</b>	
<b>Mechanical Friction Reduction</b>	
<b>Super Charger</b>	
<b>Quick-start Idle Stop system thanks to DIG</b>	

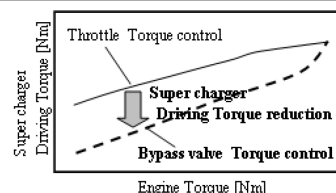


Figure 3-1 バイパスバルブによる駆動トルク低減効果

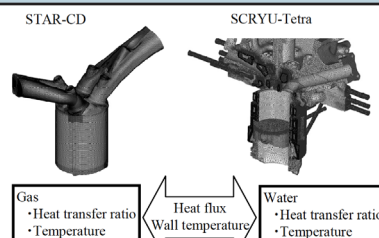


Figure 3-2 計算モデルの構成

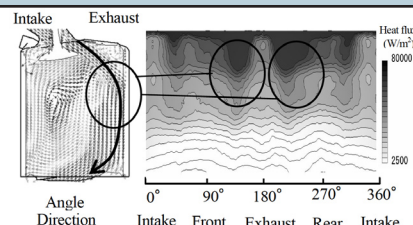


Figure 3-3 吸気行程におけるシリンダライナの熱流束

From Ignition timing to Exhaust-valve open timing 4400rpm W.O.T.

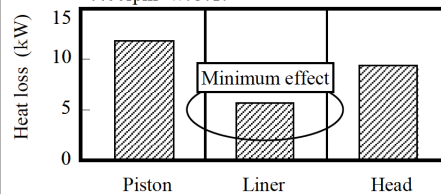


Figure 3-4 部位別の熱損失の比較

いとしている。この理由は、筒内に入った混合気が排気側のライナと強く接するために熱移動が促進されるからとしており（図3-3）、冷却損失は排気工程の初期においてライナの表面積が小さいために、冷却強化の影響は小さいとしている（図3-4）。内燃機関において、このような取り組みを行うことでまだまだ熱効率改善の余地があることと、部位別の詳細な解析を用いた緻密な設計が必要になってきたことを示唆している。

### 3.2 ガソリンエンジン排気システム

ガソリンエンジン排気システムのセッションでは4テーマの発表があった。それらの中から2テーマを紹介する。

マツダの赤嶺らから、SKYACTIV エンジン搭載のマツダ・デミオに採用された「耐熱性と低温活性を両立させた直結用貴金属シングルナノ触媒」の発表があった<sup>3-3)</sup>。開発された三元触媒は、従来触媒と比較して約30%少ない貴金属量で、同等のHCの低温活性性能（図3-5）と、EUモードにおいて同等の浄化性能を示したとしている（図3-6）。エンジン直下の配置された触媒は高温に晒されるため、触媒劣化の抑制と、低温活性向上の両立が重要となる。著者らは、貴金属シングルナノ材料微粒子を耐熱性の高い酸化物表面上に高分散に担持した構造を考案し（図3-7）、この構造を有した触媒材料を得ることにより耐熱性と低温活性の両立に成功している。開発された材料においては、エージングによる比表面積、平均三次粒子径は微粒子化前とほぼ同等、結晶相の分相も生じていないことを緻密な分析により確認しており目を引く。

デンソーの伊藤らから、「高感度O<sub>2</sub>センサ」<sup>3-4)</sup>の発表があった。触媒で浄化し難いNO<sub>x</sub>は空燃比変動により排出されやすいことに着目して、NO<sub>x</sub>に対して感度の高いセンサの開発に成功し、結果としてトータルのNO<sub>x</sub>エミッションは約20%低減できることを確認したとしている。O<sub>2</sub>センサのNO<sub>x</sub>感度向上には、排気ガス中のNO<sub>x</sub>をいかにO<sub>2</sub>センサの電極に到達させるかがポイントとしている。本研究の特徴としては、触媒の反応モデルを用いて電極の貴金属種を選定したことである。1番目のポイントはNO<sub>x</sub>に対して低活性（NOとCOの反応性が低い）を狙い、これをNOの乖離反応で比較（図3-8）、2番目は水素浄化能力を確保するために、H<sub>2</sub>に対しては高活性であることを狙い、これを水酸化反応のしやすさを浄化開始温度で比較した（図3-9）。反応解析の結果から両方を兼ね備えている貴金属としてPtを選定し、耐久による蒸散を考慮して粒子径を200nmとすることで高応答化に成功している（図3-10）。（菊池 勉）

#### 【参考文献】

- 3-1) 伊佐治, 佐藤, 小林, 大河内, 代市, 嶋 隼, 井上: 直列3気筒1.2L スーパーチャージエンジン, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. No.140-11 (2011)
- 3-2) 高橋, 中田, 葭原: エンジン内の熱流れ制御による熱効率向上, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.140-11 (2011)
- 3-3) 赤嶺ほか: 耐熱性と低温活性を両立させた直結用貴金属シングルナノ触媒の開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.095-11 (2011)
- 3-4) 伊藤, 小林, 度会, 加山, 佐々木: 高感度 O<sub>2</sub> センサの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.095-11 (2011)

### 4. HCCI セッション

福井大学の周らより、「低温酸化反応を経由しない場合の様々な燃料の化学反応機構」<sup>4-1)</sup>と題して発表があった。主に、三種類の異なる温度領域における様々なアルカンの反応ルート（ルート1~3と称する）について解析した結果が紹介された。解析対象の反応モデルは、東京大学の三好氏が開発したKUCRSと呼ばれる反応モデル自動生成コードによって生成されたものである。ルート1は、初期温度が低温酸化反応（LTO）の終了温度よりも低い場合の反応ルートであり、燃料（RH）からの水素引抜きで生成されたアルキルラジカル（R）に2度のO<sub>2</sub>付加および内部異性化を経由し分解していく。ルート2は、初期温度がLTO終了温度よりも高い場合で、アルキルラジカル（R）が直接解裂し反応が進行する。ルート3は、初期温度がさらに高い条件であり、燃料（RH）がアルキルラジカル（R）を経由せず直接分解していく場合である。図4-1は、ノルマルヘプタン（n<sub>C</sub>H<sub>16</sub>）の場合における初期温度に対する各ルートの寄与の割合である。低温域ではほとんどがルート1で進行し、温度が増加するに従いルート2に切り替わっていく。1200Kになると、ルート3の寄与が現れて

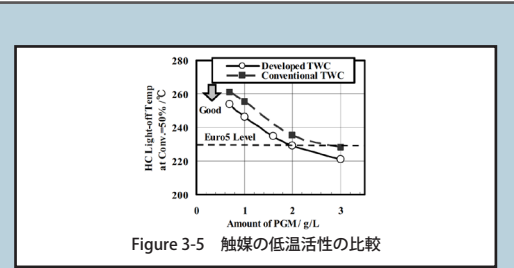


Figure 3-5 触媒の低温活性の比較

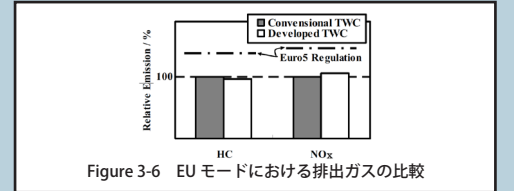


Figure 3-6 EUモードにおける排出ガスの比較

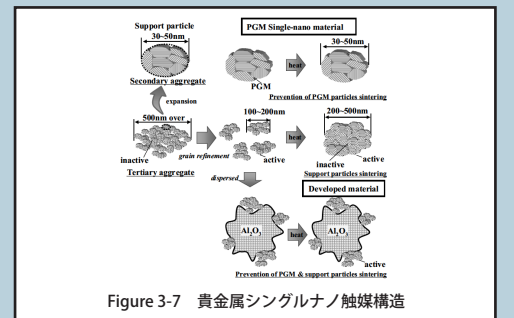


Figure 3-7 貴金属シングルナノ触媒構造

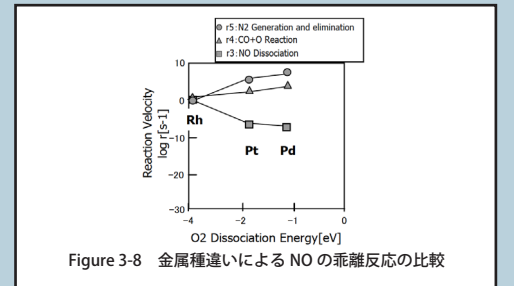


Figure 3-8 金属種違いによるNOの乖離反応の比較

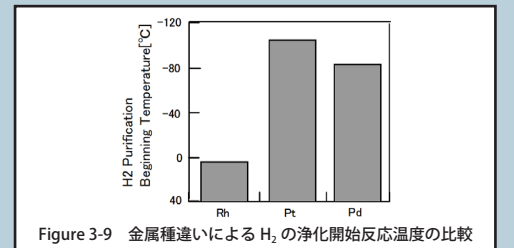


Figure 3-9 金属種違いによるH<sub>2</sub>の浄化開始反応温度の比較

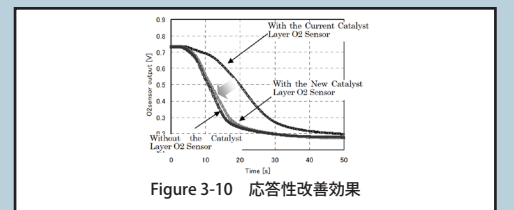


Figure 3-10 応答性改善効果

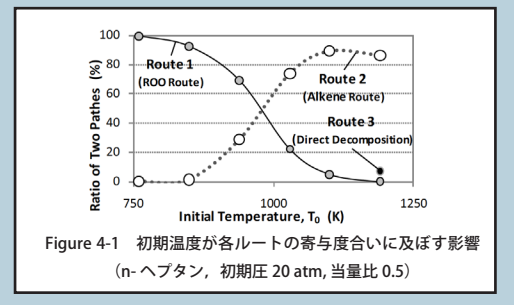


Figure 4-1 初期温度が各ルートの寄与割合に及ぼす影響 (n-ヘプタン, 初期圧 20 atm, 当量比 0.5)



くる。図4-2は、様々なアルカンにおける各温度でのルート1とルート2の寄与度合いである。850K以下ではすべてのアルカンでルート1のみが反応を支配している。すべての燃料で、温度が上昇するに従いルート2の寄与が高まっていくが、燃料によってその度合いが異なる。ルート1とルート2の寄与度が交差するクロスポイントが低温側にいる燃料が着火性に優れている。

産業技術総合研究所の辻村らより、「イソペンタノール詳細反応モデルの研究開発」<sup>4-2)</sup>と題して発表があった。イソペンタノール(C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O)は、エタノールに比べてエネルギー密度が高い、水溶性が低い、蒸気圧が高いなどの理由から、自動車用の燃料としての利便性が高い。本研究は、火花点火機関のノックやHCCI燃焼への適用を想定し、700K程度から1400K程度までの温度域を一貫して表現できる詳細反応モデルの開発を目指している。図4-3に直鎖のアルカンと、同じく直鎖で末端に水酸基(OH)を有するアルコールのセタン価を示す。同じ炭素数でも、アルコールのセタン価が低いことから、末端の水酸基がかかわる反応が、このような着火性の差異をもたらしていると考え、モデルを構築している。図4-4にその反応を示す。水酸基が結合する炭素から水素が引き抜かれ、α-hydroxyethylラジカルが生成し、そこにO<sub>2</sub>が付加しα-hydroxy-ethylperoxyラジカルが生成、低いエネルギーバリアでヒドロペルオキシラジカルとアセトアルデヒドを生成する。この反応が優先されることで、アルカン燃料のような低温酸化機構が活発化しないと考えている。構築された反応モデルを用いてHCCIエンジン実験を模擬したシミュレーションを実施した結果、エンジン回転数(図4-5)、排ガス再循環(EGR)、初期圧変化、当量比変化による影響を概ね模擬できることが示されている。

日立製作所の緒方より、「ガソリンHCCIエンジン実用化に向けた耐環境ロバスト制御の検討(第1報)」<sup>4-3)</sup>と題して発表があった。HCCIは予混合気を圧縮するため、筒内ガス状態の違いにより燃焼状態が変化しやすい。本報では、燃料組成の変化や部品ばらつき等の外乱に対するロバスト性の向上を目指し、HCCI燃焼の安定性向上制御技術を構築し、実機にて検証を行っている。本研究では、既存のクランク角センサで検出・算出した回転変動によって図示平均有効圧(IMEP)の変動を検出している。図4-6にその制御構成を示す。各気筒のリアルタイムの回転変動を検出し、回転変動の標準偏差が所定の値に収束するように負のバルブオーバーラップ(NVO)期間とNVO中の燃料噴射量を制御する。クランク角センサで回転変動を検出するための工夫として、回転変動の検出期間を、燃焼圧によってクランク軸が駆動される上死点後20°~180°までとしている。図4-7に、IMEPの標準偏差と回転変動の標準偏差の関係を示す。両者には強い相関があることがわかる。よって、クランク角信号からIMEPの変動を検出できる。図4-8に、作動的に燃焼変動発生させた際の安定化制御評価結果を示す。IMEPの変動が増大し、NVO期間制御が働くことでIMEPが安定化していることが分かる。(飯島 晃良)

【参考文献】

- 4-1) 周, 安東, 酒井, 桑原: 低温酸化反応を経由しない場合の様々な燃料の化学反応機構, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. 157-11 (2011)
- 4-2) 辻村, ビッツ, ヤン, デック: イソペンタノール詳細反応モデルの研究開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. 157-11 (2011)
- 4-3) 緒方: ガソリンHCCIエンジン実用化に向けた耐環境ロバスト制御の検討(第1報), 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No. 157-11 (2011)

5. EV, HEV

今回の電動車両関連の発表は、初日の「ハイブリッド車」、「バッテリー/パワーエレクトロニクス」、「充電システム」の3セッションと、最終日の「燃料電池」の計4セッションであったが、各セッション毎に絞られたテーマが多かった。偶然である可能性もあるが、HEVの普及や、外部からの充電電力を消費するBEVやPHEVの普及を目前にしたタイミングでこれらの研究開発の成果がまとまった結果とも推測できる。

以下, EV, HEV 関連技術の発表の概要について対象別に紹介する。

5.1 ハイブリッド貨物車両

5.1.1 車両

乗用車 HEV の普及は目覚ましいが、貨物車 HEV は、都市内使用が多い小型貨物車でも普

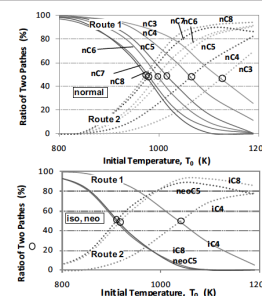


Figure 4-2 様々なアルカンにおける初期温度が各ルートの寄与度合いに及ぼす影響

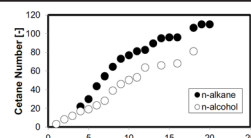


Figure 4-3 直鎖のアルカンとアルコールにおけるセタン化の比較

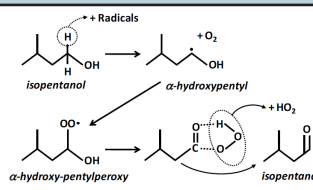


Figure 4-4 低温域でのアルコールの反応

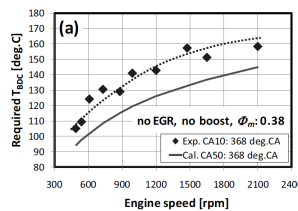


Figure 4-5 HCCI 燃焼実験と反応数値解析結果との比較 (回転数の影響)

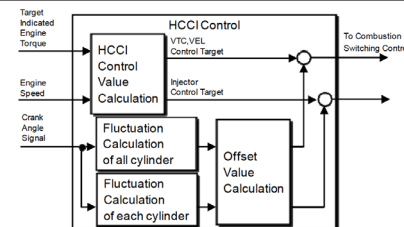


Figure 4-6 HCCI 燃焼安定化制御の構成

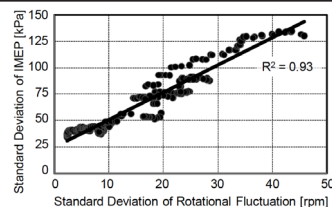


Figure 4-7 IMEP 変動とクランク軸回転変動の関係

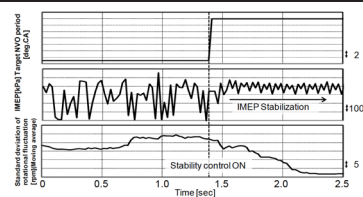


Figure 4-8 HCCI 安定化制御実験結果

及がなかなか進んでいない。この原因の一つは効率の良いディーゼルエンジンベースの車両の HEV 化であるため燃費改善度がガソリンエンジンベースの車両に比べて半分以下であると考えられることが挙げられるが、現実の市販小型貨物 HEV の燃費改善度は予想される改善度のさらに半分以下である例が多い。この主な原因は、価格と搭載スペース/重量の制約から重量車に有効な回生制動の効果を充分発揮できるだけの電池を搭載できない点にあった。

加部、荒木、横田らは、ポスト新長期排ガス規制に対応した小型トラック HEV について、HEV システム全般に亘る開発点、その制御方法、これを構成するユニットの開発点の 3 テーマに分けて述べた。

加部らは<sup>5-1)</sup>、排ガス規制対応に加えて、50%以上の燃費改善度を得るために従来車両の課題を解決した要点を、HEV システムの観点から述べた。まず、回生制動時のエンジン引きずりトルクで消費されるエネルギーの低減が可能であることから、このクラスの車両で既に採用実績のある、エンジン、モータ間にクラッチを設けた動力切り換え式のパワートレイン（参照図 5-1）を採用した。変速機も、従来の手動変速機に換えて、最適な変速動作による HEV システムの効率向上と操作性が確保できるにことからこのクラスの HEV で実績のある自動化手動変速機（Automated Manual Transmission）を採用した。この結果、20km/h から減速した例では、図 5-2 に示すように、エンジン引きずりトルク分の改善 ①）と低速域まで回生制動を継続することによる改善 ②）が確認でき、社内評価試験パターンによる評価では 37% の回生エネルギーの改善（燃費で 9% に相当）が見られた。これをベースに、ハイブリッド専用エンジンの採用、変・減速機の最適化、ハイブリッド制御の改善を図り、ベース車であるディーゼル車に比べて郊外走行で 50%、都市内走行で 56% の燃費改善度を実現している。

### 5.1.2 ハイブリッドシステム

HEV でのモータによるアシストのアルゴリズムは HEV システムの効率を左右するだけでなく、動力性能や電池の寿命をも左右するキー技術の一つである。従来車では運転者の要求トルクに対して、様々な走行状態を加味して開発時に設定されたアシストマップにしたがって一義的に決まるモータアシストを実施していたため、車両の運用方法に必ずしも一致していなかった。荒木らは<sup>5-2)</sup>、渋滞状態や郊外走行などの走行環境に応じてアシストアルゴリズムを動的に切り換える実車に搭載可能な手法を開発した。

図 5-3a, b, c に示す、山岳路、高速道路、郊外路を走行した際の車両負荷の分布（エンジン回転数対ドライバーの要求トルク）例で分かるように、走行環境によってドライバーが要求するトルクの分布は大きく異なる。開発した手法は、種々の走行環境に対応したアシストマップを用意し、その走行環境を一定の時間走行した場合、参照するアシストマップをその走行環境に対応したものに切り換えることによって適応アシスト制御を実現するものであるが、テーマの主題は走行状態に適合した最適なアシストマップを推定する方法に関するものである。

アシストマップを推定する手法としては基本的には動的計画法を用いるが、車載の HEV ECU には負荷が大きいオンラインでの運用に向かない。そこでオフラインで生成した最適アシストマップと走行状態を人工知能で学習させ、学習した人工知能モデルを車載する方法を採用している。人工知能モデルは図 5-4 に示す入力、中間、出力の三層パーセプトロン構造で、エンジン回転数の平均値と分散値、要求トルクの平均値と分散値、電池の SOC の 5 入力に対して最適なアシストマップを出力する。

図 5-5 は、市街路走行から郊外路走行まで、平均車速の異なる 4 種の走行状態での実車走行試験によって得られた、従来の制御と提案する制御との燃費を比較したものである。渋滞路に近い状態での結果には差が少ないものの、従来の制御法では考慮されてこなかった郊外路では最大 4.6% の燃費改善が確認できており、種々の走行環境に適応した制御になっていることが推測できる。また、この試験での SOC の変化は、規定の SOC 範囲に収まっており、充電レベルに見合った放電がなされていることも確認できたとしている。

### 5.1.3 ユニットの開発

横田らは<sup>5-3)</sup>、普及を図る上でキーとなるコストの低減と性能の確保を図るために執った手段について報告した。小型貨物車は、乗用車に比べて生産台数が少ないため、可能な範囲で乗用車 HEV のユニットを流用し、これに必要な対策を施す方法を採用している。

回生制動の受け入れ性向上とこれに伴う電池出力の増大により、次の方法で、使用する乗用車用 Ni-MH 電池モジュールの発熱の増大を抑えて実用的な寿命を確保した。すなわち、シミュレーションによって発熱量を推測し、冷却能力をこれにあわせて増大させた上で、電池モジュール内の冷却用ダクトのチューニングを行い電池温度の均一化の向上を図った。その

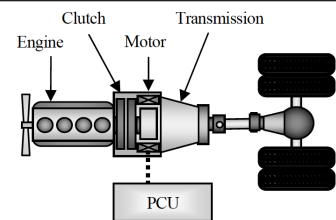


Figure 5-1 小型貨物 HEV のパワートレイン

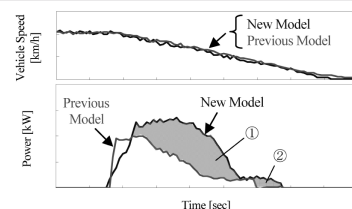


Figure 5-2 20km/h から制動時の回生エネルギーの変化

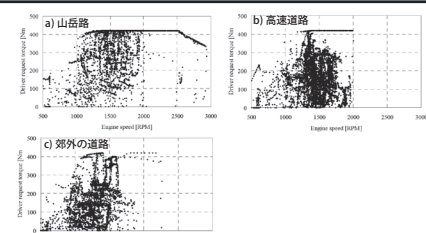


Figure 5-3 各走行環境毎のドライバーの要求トルクの分布

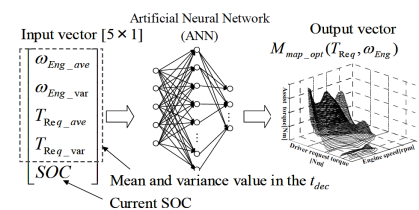


Figure 5-4 HEV ECU 内の人工知能によるアシストマップの推測

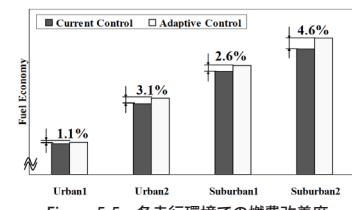


Figure 5-5 各走行環境での燃費改善度

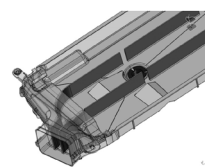


Figure 5-6 電池温度制御用の整流板付きダクト

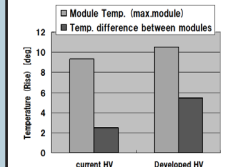


Figure 5-7 冷却ファンの能力拡大の効果

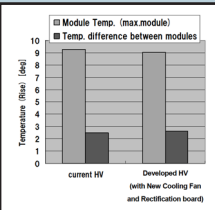


Figure 5-8 冷却ファンと整流板の双方による効果

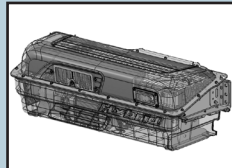


Figure 5-9 パワーコントロールユニット

結果、電池のアンバランスが低下したことによって従来以上の寿命を確保できた。整流板付きの冷却ダクトの概要を図 5-6 に示す。従来モジュールと対策済みのモジュールについて、送風風量を増加したことによる最高温度モジュールの温度とモジュール間の最大温度差を図 5-7 に、これに整流板を加えた際の温度と温度差を図 5-8 に示す。整流板の効果が大きいことが分かる。

一方、多様な荷台寸法の車両に対応するために搭載スペースの問題を抱えている。これを解決するために、モータ以外の HEV に必要なユニットを荷台寸法が最短な車両に搭載可能な寸法の PCU (パワーコントロール) ユニットに収めている。PCU は図 5-9 に示す上下二層の構造で、上部に電池と電池制御装置などの電池関連ユニットを、下段にインバータ、ハイブリッド制御用コンピュータ等の電力制御ユニットを搭載している。前述の冷却ファンと気水分離機能を備えた電池冷却ダクトも上段に配置されている。トラックは電流容量が大きいので、電力系を PCU としてまとめたことによって、配線長さの低減や接触抵抗の低減にも寄与している。

### 5.1.4 電動フルトレーラ

大型貨物 HEV は、電池の制約からくる HEV 化の難しさに加えて、すでに使用方法に合わせた燃費改善のためのチューニングが大型貨物で一般化していることや、高速道路での定速走行が主体で都市内走行のような再生制動の効果や低負荷領域での効率改善効果が望めないことなどから、高い燃費改善度が望めないと見る向きがある。島村らは<sup>5-4)</sup>、高速道路にも起伏が多いことに着目して、大型貨物車と電動フルトレーラで構成するフルトレーラシステムによって大型車両の燃費向上策を提案している。今回は、試作車による限られた走行試験から得られたデータを基にして、高速道路を走行した際の燃費改善効果をシミュレーションで求め、その実現可能性を示した。

電動フルトレーラシステムのコンセプトは、図 5-10 に示すように、下り勾配で電動のトレーラ部で回生制動によって位置エネルギーの回収を行い、次の上り勾配では回収した電力でアシストすることによって、通常の動力性能の車両でフルトラックシステムを構成し、燃費向上を図ろうとするものである。燃費の改善は、次の 4 要素によってなされる。

- ・ 降坂時、減速時のエネルギー回生
- ・ 連結による風損の減少
- ・ 登坂、加速時のトレーラ部でのアシストにより、通常のエンジンとギヤ比のままでの走行が可能 → ハイギヤ化による燃費悪化の回避。
- ・ 通常の車両のエンジンで走行することにより、エンジンのみで走行する軽負荷時 (平坦路走行時) の高負荷運転による熱効率向上。

次のようなユニバーサル制御を採用することによって、トラクタ部に不特定のトラックの利用を可能にしている。すなわち、図 5-11 に示すように、トラクタ側は ECU の CAN 信号を電動トレーラ側に提供するのみで、トレーラ側からの信号の影響を受けない。電動トレーラ側は、トラクタの種類や積載状態を学習して燃費が最適になるように駆動力・制動力の自律制御を行う。なお、これらの制御を行うために、トラクタとトレーラ部に発生する力を検出できる機構を電動トレーラ側に搭載している。

これらのコンセプトに沿った電動フルトレーラを試作し、既存のトラックに連結機構を取り付けて、フルトレーラシステムとしている。

## 5.2 電池システム

### 5.2.1 HEV 用バッテリーシステム

小茂田らは<sup>5-5)</sup>、従来 Ni-MH 電池を搭載していた小型パラレルハイブリッド車に 2011 モデルで、軽量化と高出力化 (10kg 軽量化 / 33% 出力アップ) を目的に搭載した Li イオン電池システムの電池管理システムについて述べた。

Li イオン電池の採用によって、過充電の回避をセルレベルで確実に実施する必要性が生じたため、個々のセル電圧を二重化された電圧監視システムで監視し、計測回路自身の故障検知も可能としている。電池電圧で SOC の推測を行うが、電池電圧は解放電圧ではなく、電池負荷がある状態での値を使用し、"Health of Battery" に準じた値で評価している模様である。セルバランスはセル電圧が高いセルを個別に放電する簡易的な方法を採用している。

Li イオン電池は、高 SOC での保存時間が長いほど劣化が進む傾向があるので、図 5-12 に示すように、初期の電池使用 SOC 範囲を 25% から 60% と低 SOC 側の範囲に抑えることによって電池の劣化を抑えるとしている。その上で、電池の寿命末期の電池容量が低下した際に

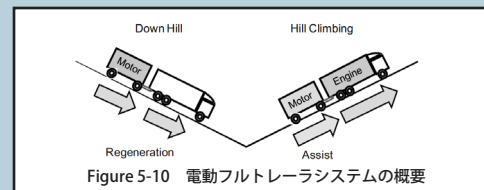


Figure 5-10 電動フルトレーラシステムの概要

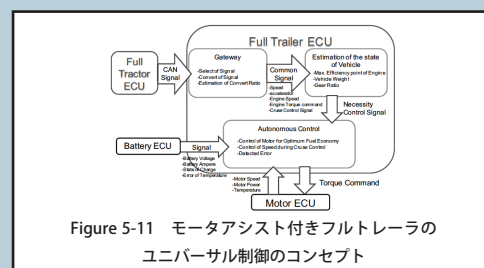


Figure 5-11 モータアシスト付きフルトレーラのユニバーサル制御のコンセプト

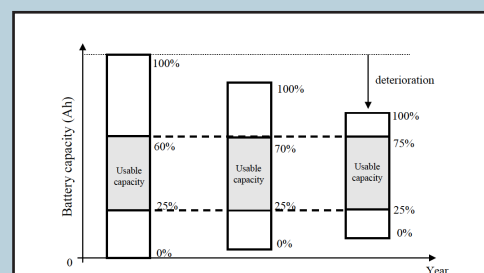


Figure 5-12 電池寿命の延伸を考慮した SOC 使用域の調整

は、使用 SOC 範囲を拡大することによって HEV の効率維持に必要な充放電電気を確保する方法を採用し、実質的な性能を長く維持出来る工夫をしている（電池の実質的な長寿命化）。

総じて、コスト対効果を考慮した実用性に力点を置いたシステムと見ることが出来るが、使用 SOC 範囲をこの値に決定するに至った理由なども興味深い。

市販 HEV の現状から HEV 用電池の寿命は実用上あまり問題のないレベルが実現されると見ることが出来る。一方、PHEV の電池は系統電力で充電した電力を消費する BEV に準じた使用法と HEV の高頻度の充放電の繰り返しの双方の使用法をカバーする必要性から、寿命の大小が PHEV の普及を左右する重要な要素と見ることが出来る。木野戸らと新国らは、ともにプラグインハイブリッド車の電池の劣化度についての検討結果を報告した。

### 5.2.2 PHEV 用電池の許容劣化度

木野戸らは<sup>5-6)</sup>、シリーズパラレル併用型 HEV ベースの PHEV 乗用車の動作をシミュレーションによって再現し、電池の劣化度と電力消費率・燃料消費率の関係について求め、PHEV の運用に支障を生じさせない電池の劣化度の許容値を求めた（車両の模擬は、エンジンの始動動作を含めた動力分配機構の動作を忠実に模擬できるレベルのもので、JC08 モード走行で評価した。一部、HEV システムの違いによる影響を見るためにシリーズ型 HEV ベースの PHEV についても検討している）。

燃費等は、国土交通省の定めた以下の 7 評価項目について評価した。

- ・ CD（電力を消費して走行する）モードの距離と燃費
- ・ CS（ハイブリッド動作）モードの燃費
- ・ 複合燃費（一日の走行距離の統計値から求めた CD モードの占める割合（ユーティリティファクター：図 5-13）を勘案して、CD,CS モードの燃費から求めた一日の平均燃費値）
- ・ 充電した電気で走行した距離（等価 EV レンジ）
- ・ 走行後に系統電力から充電した電力量（一充電消費電力量）
- ・ CD モードでの電力消費率

電池が標準状態での燃料消費率、電力消費率に対して、容量の劣化と、内部抵抗の増大が各々単独に進行した際の影響度を調べ、前述の各評価指標への各劣化度の寄与度を明らかにしている。さらに双方の要因が連動して進行した際の影響度についても調べている。

CO2 排出量が新品電池での値の 20% 増（燃費が 20% 悪化）になる電池状態を劣化度の許容値としたため、電池容量は 50% 減の状態まで、内部抵抗は 100% 増の状態まで許容されている（許容する燃費の悪化度を、電池の寿命の判断値である 20% としている根拠については不詳）。

### 5.2.3 PHEV 用電池の劣化評価方法

新国らは<sup>5-7)</sup>、これとは逆に、車両性能を左右する電池容量低下の程度を電池単体で評価する試験法を検討する前段階として、電池の負荷試験を試行し、熱負荷と充放電の負荷がそれぞれ電池の容量低下に及ぼす傾向について紹介した。

試験には同一ロットの Li イオン電池モジュールを用意し、一部を電池の環境温度が 25°C での、JC08 モード走行時の充放電負荷を模擬した充放電試験（CD モード（主に電力で走行する EV モード）走行を対象）に、残りを 4 レベルの温度環境（電池の常用温度範囲内の、25, 40, 55°C と劣化が予想される 70°C）で保存する熱負荷試験に供した。

JC08 モード相当の充放電試験を 400 日間 800 サイクル繰り返した時点で、JEVS（日本自動車両協会規格）で定める寿命（容量低下が 20%）に達した。容量の減少経過を図 5-14 示す。一方、一定温度条件に放置した状態での熱負荷試験（容量確認試験のための数回の充放電を含む）では、常用温度でも高い温度では 42 日（1000 時間）時点で 20% の容量低下が発生している。常用温度の範囲では、この容量減少が保存温度の 1/2 乗に比例するという Li イオン電池について知られている事実と符合していることを確認している（図 5-15）。25°C での温度負荷の結果と充放電試験の結果（図 5-16）から、両者の差分として純粋な充放電による容量低下を求め、これが図 5-17 に示すように充放電回数に比例することを明らかにしている。

これらの比較的早い容量低下を示した結果は、試験に使用した電池固有の結果であり、電池一般に言えるものでないことに特に言及している。

また、充放電試験時に陰極ターミナル部分で測定した電池温度の変化は環境温度 + 0 ~ 2°C に留まるので充放電による供試電池の温度変化は小さいとしている（恒温槽内での試験という特殊性である可能性も排除できない）。

結論としては、試行試験から推測出来る評価試験の課題の提起に留まっている。

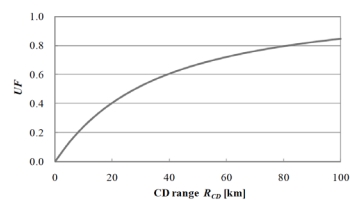


Figure 5-13 日本のユーティリティファクター

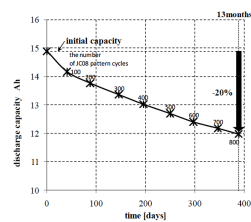


Figure 5-14 充放電負荷試験での容量減少

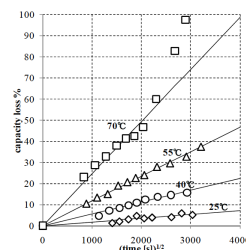


Figure 5-15 充放電負荷試験での容量減少

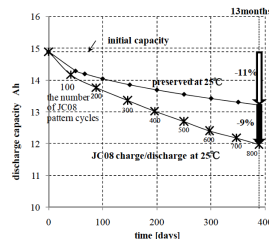


Figure 5-16 充放電負荷と熱負荷による容量低下 (両者を時間軸で調整)

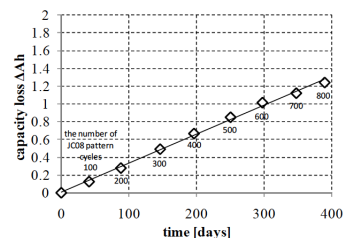


Figure 5-17 充放電の影響のみによる容量低下分

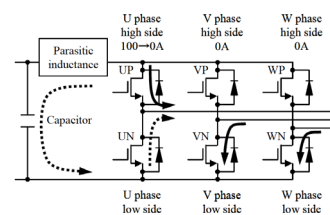


Figure 5-18 一般的なスイッチング時の電流フロー

5.2.3 インバータのサージ電圧抑制

駆動系の効率向上には、駆動用モータの効率向上と並んで、インバータの小型化、低損失化が重要である。インバータの低損失化のためには電力素子のスイッチング速度を高めることが有効であるが、高速化は配線インダクタンスにより電力素子の主端子間に生じるサージ電圧をより大きくする。サージ電圧による電力素子の破損を避けるためにスナバ回路が用いられるが、これはインバータ回路の小型化を妨げる。

水越らは<sup>5-8)</sup>、小型化を妨げずにインバータのスイッチング速度の高速化を図る方法を提案した。一般のインバータ(図5-18)は各トランジスタのスイッチングタイミングに同期関係が無く、スイッチングのたびにトランジスタと平滑用コンデンサを含む配線に急峻な電流変化が生じ、配線の寄生インダクタンス(図中では“Parasitic inductance”で代表している)に比例したサージ電圧がトランジスタの両端に生じる。

図5-19のチャートに示すように、従来のスイッチングが各相の on/off が同時になるタイミングがないのに対し、提案の方法は、通流率が2番目に大きい相(図ではW相)の位相を off するタイミングが通流率の最も大きい相の off タイミングに一致するように制御するもので、これによって遮断電流値が最大通流率相当の電流値から、2番目の通流率相当の電流値(極性は逆)を引いた分になるため、遮断電流値が低減できる。シミュレーションによって遮断電流、すなわちサージ電圧を最大で50%抑制できること、スイッチングロスに21%削減できることを明らかにしている。

実際の実験結果では、IGBTを使ったインバータを使用したため、ターン on 時とターン off 時の電流変化を調整しきれなかった影響で、サージ電圧の抑制効果が23%に留まったが、スナバ回路不要で制御のみでサージ電圧を抑制できることを確認できたとしている。

5.2.4 発電機の模擬

小川らは<sup>5-9)</sup>、直接電動車両の主要要素に関係するものではないが、オルタネータの動作を模擬するシミュレーションについて述べた。電力使用量の増大に加え、ICEVも燃費の改善のためのアイドルストップや回生制動効果を期待した発電タイミングの制御などによって電池の負荷が大きくなっており、電池への負荷や燃費への影響を考慮した充電制御が重要性を増している。そこで、燃費への影響を考慮した充電制御の検討が可能なシミュレーション手法を構築し、試験との照合によって5%程度の誤差範囲で模擬が可能であることを確認した。

5.3 充電関係

非接触充電は、充電ケーブル等の取り扱いが不要である点など、取り扱いの容易さに着目した家庭での普通充電を対象にした流れと、頻繁に急速の継ぎ足し充電を行うことによって連続走行を可能にする業務用の流れの二種類が考えられる。今回は前者に関する発表が2件、後者に関する発表が1件あった。

保田らは<sup>5-10)</sup>、PHEVやEVの家庭での普通充電を前提に開発を進めてきた一次直列二次並列コンデンサ方式の非接触充電システムに関して、i) 従来無視してきた鉄損の影響を加味して精度向上を図った効率理論式、ii) 倍速充電対応可能型のトランスと高周波電源の開発、iii) 急速充電対応機の開発指針、の3点について述べた。

普通充電より充電時間を半減できる(この充電が倍速充電と呼ばれている)単相200V、3kWの充電トランスを前報の1.5kWのH型コア両巻きトランスと同一コアと巻き線で実現した。筐体の一部をアルミ化することで放熱特性を改善することで高出力化に対応した。

このトランスを用いて1.5kWと3kW給電時の鉄損を求めるための無負荷試験を実施し、求めた鉄損 $r_0$ を考慮した新たな理論効率式と従来の鉄損を考慮しない理論効率式の結果を比較した。図5-20に示すとおり、鉄損を考慮した理論効率は実測の効率とよく一致し、鉄損 $r_0$ 決定方法と理論式の妥当性が確認できた。

3相200V電源を利用する10kWの非接触充電システムを次のような位置づけで開発した。すなわち、小容量の車両に対しては急速充電システムに相当するもので、給電側である一次トランスと車両側の二次トランスは検討中の1.5kW普通充電システムと10kWの急速充電システムの範囲で任意の組み合わせが可能で、組み合わせによる大きな特性低下を生じないことを前提としている。

このため、トランス部の磁極寸法と巻き線数は同一とし、供給側のインバータ電圧と負荷電圧を電力比の平方根倍(2.6倍)に設定する方法を採用した。トランス部の仕様を表5-1に、寸法の概要を図5-21に示す。10kWの標準組み合わせでの効率は、正規の状態では94.7%、ギャップ長が最大の100mmでも92.6%で、前後/左右方向の位置ずれでも92%以上の効率が

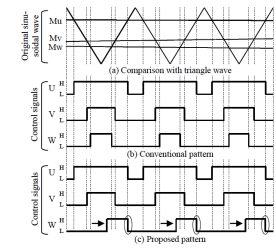


Figure 5-19 一般のスイッチングと提案のスイッチングのタイムチャート

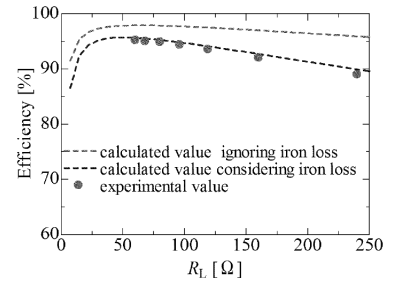


Figure 5-20 効率の、鉄損の考慮あり/なしによる影響

Table 5-1 トランスの仕様

Transformer	$\eta$ [%]		
	Primary	1.5kW	10kW
Secondary	1.5kW	10kW	1.5kW
Rated power	1.5kW		
Standard position	94.9	94.8	94.8
Gap alteration	Average(30~100mm)	94.5	94.8
	100mm	93.1	93.0
	Average(0~40mm)	94.7	94.6

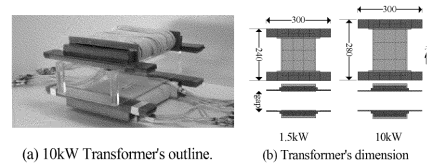


Figure 5-21 1.5kWと3kWのトランスの形状と寸法

Table 5-2 互換性チェックのための試験の結果

Transformer	$\eta$ [%]		
	Primary	1.5kW	10kW
Secondary	1.5kW	10kW	1.5kW
Rated power	1.5kW		
Standard position	94.9	94.8	94.8
Gap alteration	Average(30~100mm)	94.5	94.8
	100mm	93.1	93.0
Tolerance to Misalignment	Average(0~40mm)	94.3	94.6
	40mm	93.8	94.1
	Average(0~150mm)	94.0	94.4
	150mm	93.0	93.4

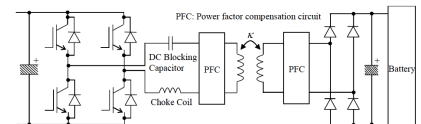


Figure 5-22 使用した非接触充電器のブロック図

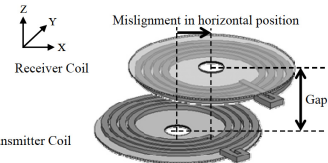


Figure 5-23 使用した非接触充電器の送信コイルと受信コイル

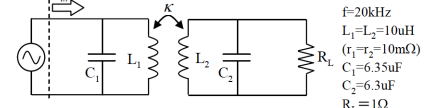


Figure 5-24 pp型非接触充電器の等価回路

確保できている。

一次/二次トランスの容量の組み合わせを替えた際も、表 5-2 に示すようにおおむね 94% 以上の効率が確保できており、充分実用に供しうるものであることが確認できた。

非接触充電システムでは、車両側の二次トランスと一次トランスの位置ずれによって充電効率が低下する傾向があり、このずれの許容度を如何に大きくできるかが大きな研究目的になっている。皆川らは<sup>5-11)</sup>、車両側の電気共振回路の工夫でコイル間ギャップや位置ずれの影響を受けにくいシステムを構築する方法について述べた。

対象とする非接触充電システムのブロック図を図 5-22 に、送信コイルと受信コイルの関係を図 5-23 に示す。力率補償回路として一次、二次側とも並列コンデンサを用いる方式 (PP 方式) は、入力部分を交流電圧源に、整流回路の入力部以降を等価抵抗と近似すると図 5-24 のように表される。この回路の電源側から見た駆動点インピーダンスは図 5-25 に示すように特定の結合係数でのみ力率が 1 になる、

これに対して図 5-26 に示す、二次側に直列コンデンサを追加した一次並列、二次並直列方式 (PPS 方式) は駆動点インピーダンスの極が 2 個になり、受信側の 2 個のコンデンサの選択によって、結合係数の変化にしたがって二つの極が互いにその変化を打ち消し合うように設定可能で、これによって力率の変化を抑えることが可能となる。PP 方式と PPS 方式の駆動点インピーダンスと力率の解析結果は図 5-27 のとおりで、PPS 方式が広い結合係数に亘って力率が良好なことが分かる。

また、図 5-28 は結合係数が 0.2 における効率マップで、効率を満了す出力側の並列コンデンサと直列コンデンサの組み合わせが特定されることが分かる。

これらを基に試作した PP 方式と PPS 方式のシステムの測定例から、位置ずれが 4cm 以下の小さい範囲では両方式の差は無いが、4cm 以上のずれでは PPS 方式が有効であること、力率は PPS 方式の方が大幅に良好であることが確認できた。また、コイル間のギャップに関しては PP 方式で 3cm が限界であるのに対して、PPS 方式は 10cm まで動作が可能である。

小林らは<sup>5-12)</sup>、従来から研究を重ねてきた、短距離走行・高頻度充電をコンセプトとした非接触の急速充電システムによって運行する電動マイクロバス交通システムに関して、乗車定員を拡大した車両の開発に合せて、i) 車両の回転部分の慣性重量の低減 (高効率化)、ii) 大エアギャップ可能な非接触充電装置の採用 (路面側トランスユニットの路面からの突起の排除)、iii) 電動車両用新基準のクリア、の 3 点の改善を図り、ベース車両であるディーゼルエンジン車とともに市街地走行による性能評価試験を実施し、CO<sub>2</sub> 排出量の低減効果等の評価を行った。

車両は 25 人乗りのディーゼルエンジンのマイクロバスを EV に改造したもので、走行試験は本庄市内の市街路で実施した。空調は OFF の状態で実施し、試験時の平均車速は 17km/h であった。ベース車両と EV の仕様を表 5-3 に、試験走行時の速度パターンの例を図 5-29 に、試験の結果を表 5-4 に示す。

Tank to Wheel での消費エネルギー削減率は約 7 割で、Well to Wheel での削減率は約 6 割であった。消費部位の内訳は図 5-30 に示すとおりで、ブレーキと走行抵抗に消費される割合が大きいことから、軽量化の重要性を提起している。また、回転部分の慣性質量の低減による燃費の改善度はおおむね 1% であった。

太陽光発電等の分散型発電設備の普及とスマートグリッド構想が話題になっている昨今、家庭内でのエネルギー使用の制御によって家庭単位や地域単位でのトータル省エネに関心が集まっている。家庭でのエネルギー消費の管理において蓄電池による電力の保存が可能な蓄電型 HEMS の優位性が注目され、蓄電池として PHEV や BEV の電池を使用してさらに省エネ度を高めることが期待されている。角谷らは<sup>5-13)</sup>、池上<sup>5-14)</sup>らが行った PHEV の電池を蓄電型 HEMS (概念図を図 5-31 に示す) の電池として扱った HEMS の制御方法に対して、計画的な車両の使用や突発的な車両使用要求に対応出来る家庭内エネルギーの管理手法を提案した。

具体的には、30 分毎に 24 時間先までの電力需要予測に基づく各電池の充放電や電力売買の最適計画を行う予測制御的な運用方法で、以下の手順による。

- i) 家庭の電力消費量を計測し、24 時間の電力需要を予測する。
- ii) 予測を基に、電池の充放電と電力売買の最適化計算を行い、24 時間の最適運転計画を行う。(混合整数計画法)
- iii) 1 ステップ (30 分ぶん) のみを入力として制御装置に加える。(清水 健一)

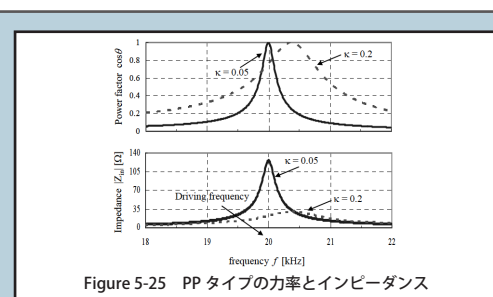


Figure 5-25 PP タイプの力率とインピーダンス

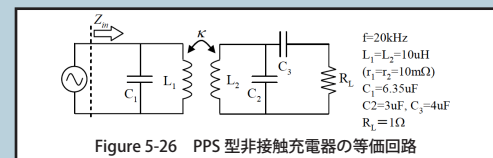


Figure 5-26 PPS 型非接触充電器の等価回路

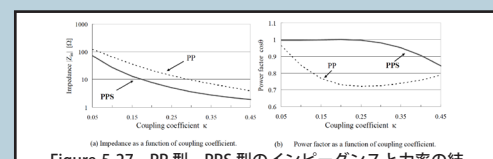


Figure 5-27 PP 型、PPS 型のインピーダンスと力率の結合係数依存性

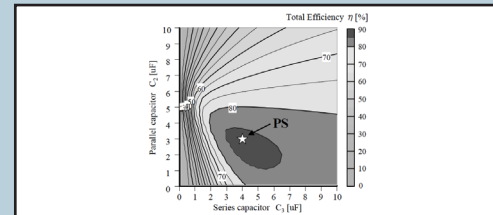


Figure 5-28 直 / 並コンデンサの組み合わせによる電力変換効率マップ

Table 5-3 ベース車と WEB3 の仕様

	Base Vehicle	WEB-3
Capacity	31 persons	25 persons
	Net	6430 kg
Weight	Gross	7805 kg
	Type	Diesel Engine
Power plant performance	Manufacturer	Hino Motors
	Max. Output	132 kW @ 2800 rpm
Battery	Max. Torque	490 Nm @ 0-2200 rpm
	Type	MoL-ion
Transmission	Manufacturer	GM YLL USA
	Max. Output	241 kW
Weight	Capacity	44 kWh
	Weight	756 kg
Weight/Dimensions (Secondary Side)	Max. Power	60 kg / 120 × 120 mm
	Transmission	30 kW
Mechanical Clearance	Coil to Coil Air-gap	110 mm
		140 mm

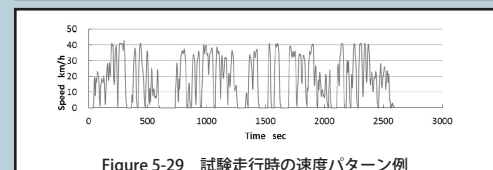


Figure 5-29 試験走行時の速度パターン例

Table 5-4 走行試験の結果

	Base Vehicle	WEB-3	Reduction
Energy Use/ Fuel Consumption	(26.7 kWh) 2.65 L	8.39 kWh (0.825 L)	69%
Rate of Fuel/Power Mileage	(0.464 km/kWh) 4.68 km/L	1.49 km/kWh (15.15 km/L)	-
CO <sub>2</sub> Emission Rate	0.606 kg/km	0.248 kg/km	59%

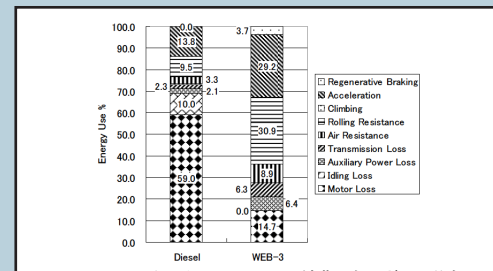


Figure 5-30 タンク to ホイールの消費エネルギーの分布 (シミュレーションによる)

【参考文献】

- 5-1) 加部, 澤山, 荒木, 横田, 大槻: 小型トラック用ハイブリッドシステムの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.106-11 (2011)
- 5-2) 荒木, 鈴木, 鈴木: 小型トラック用ハイブリッドシステムの制御開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.106-11 (2011)
- 5-3) 横田, 小野澤: 小型トラック用ハイブリッドユニットの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.106-11 (2011)
- 5-4) 島村, 広瀬, 大野, 沼田: 電動フルトラレーサシステムの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.106-11 (2011)
- 5-5) 小茂田, 西田, 丸野: HEV 用 Li-ion バッテリーシステムの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.107-11 (2011)
- 5-6) 木野戸, 落合, 松村, 紙屋, 大聖, 森田: プラグインハイブリッド自動車における搭載リチウムイオン電池の許容劣化度についての検討, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.107-11 (2011)
- 5-7) 新国, 河合, 小鹿: プラグインハイブリッド車用バッテリーの劣化評価方法に関する検討, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.107-11 (2011)
- 5-8) 水越, 佐々木, 長井, 市川: PWM 位相制御技術を用いた EV 用インバータのサージ電圧抑制制御研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.107-11 (2011)
- 5-9) 小川, 深田, 西村, 藤田: 燃費予測を考慮した自動車用電源シミュレーション, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, 20115607 (2011)
- 5-10) 保田, 井田, 阿部, 金子, 鈴木, 山之内: 非接触充電システム (第 4 報), 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.108-11 (2011)
- 5-11) 皆川, トロンナムチャイ, 甲斐, 山内, 成瀬, 花村: 電気自動車用のワイヤレス充電における受電回路トポロジー, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.108-11 (2011)
- 5-12) 小林, 根本, 宮坂, トマス, 紙屋, 大聖, 高橋: 先進電動マイクロバス交通システムの開発と性能評価 (第 5 報), 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.108-11 (2011)
- 5-13) 角谷, 山口, 稲垣, 鈴木, 伊藤, 藤田, 金森: 車載蓄電池を活用した家庭内エネルギー管理システムの開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.108-11 (2011)
- 5-14) 池上貴志他: 電力需給調整力確保に向けた家庭内機器最適運転計画モデルの開発, 電気学会論文誌 B, vol.130, no.10, pp.877-889 (2010)

6. トライボロジー

トライボロジー関連セッションでは最終日 14 日に 13 テーマ報告があった。13 テーマ中 11 テーマがフリクション関連, その内 9 テーマがピストン, ピストンリング, シリンダボアの往復摺動部の話題であり, このあたりが, 今後のフリクション低減の攻めどころであることを示唆している。これら, 往復動部の研究内容としては, 摺動部の表面性状や表面処理に関するもの, 摺動部のオイル挙動に関するもの, およびリング低張力化とオイル消費の両立のためのシリンダボア変形研究に分かれる。

表面性状, 処理としては, いかにな摺動面を平滑化させつつ, かじり, 焼付きタフネスを確保するかを課題としている。アート金属工業の金井ら<sup>6-1)</sup>は, 浮動ライナ方式で表面性状, 処理違いのピストンスカート部のフリクションを評価。条痕加工を細かくし微粒子衝突と樹脂コートにより, 表面粗さを小さくしつつ (図 6-1), 焼付きタフネスを向上させることで 10% のフリクション低減が可能としている。同様の狙いで, 日立オートモティブシステムズの高木ら<sup>6-2)</sup>は, 二層の樹脂コーティングを提案し, 実機にて効果確認している。そのほか, 豊田中央研究所の堀田ら<sup>6-3)</sup>は, アーク溶射シリンダボアの面性状について, 日産自動車の樋口ら<sup>6-4)</sup>はピストンリングへの DLC コーティング適用について報告している。

オイル挙動としては, 群馬大学の加藤ら<sup>6-5)</sup>は, サファイヤ製スリーブによりピストン周りの可視化 (図 6-2) を行い, LIF と PIV を用い, 油膜厚さとオイルの移動速度を同時測定した結果を報告。定性的には予想される結果ではあるが, CAE による油膜挙動, オイル消費等の予測精度向上を行う場合に, 定量的な実験結果は重要と思われる。同様に, 日本ピストンリングの一杉ら<sup>6-6)</sup>は, 減速時のオイル消費研究としてリング周りのオイル挙動を可視化し報告している。

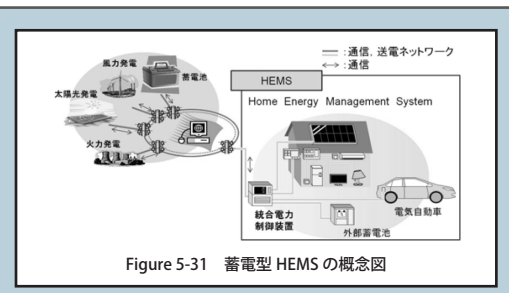


Figure 5-31 蓄電型 HEMS の概念図

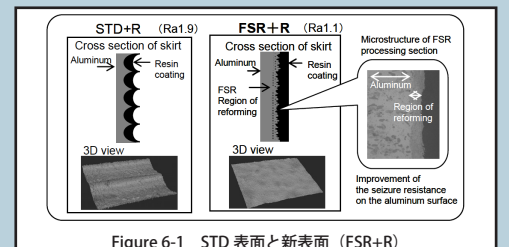


Figure 6-1 STD 表面と新表面 (FSR+R)

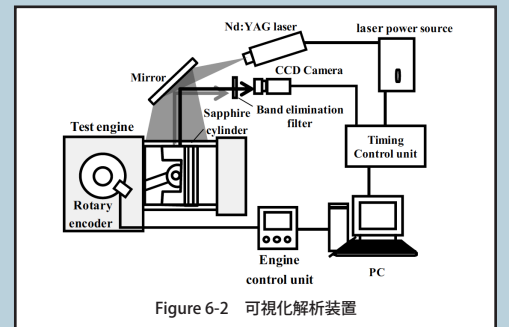


Figure 6-2 可視化解析装置

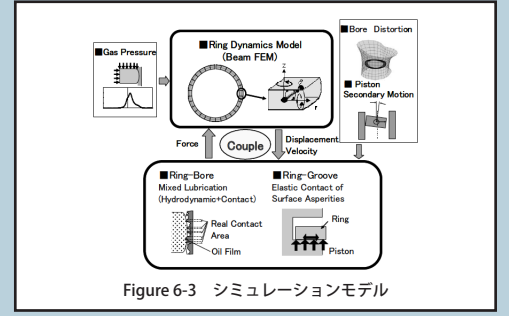


Figure 6-3 シミュレーションモデル

シリンダボア変形研究として、豊田中央研究所の山田ら<sup>6-7)</sup>は、ピストンリングの三次元挙動計算と潤滑計算を連成した計算モデル(図6-3)によるシミュレーションと計測により、シリンダボアの熱間時テーパ形状および締結が加わることによる2次、4次変形のフリクション、油膜形成、オイル消費等への影響性を解析している。ボアのテーパ形状はピストン上下動によりトップリング下面とピストンリング溝間に摩擦力を発生させ、リング外周摺動部のフリクションに影響すること、また、2次変形に対し4次変形のオイル消費への影響が大きい(図6-4)ことをオイルかき残し量の観点から考察している。同様の結論を東京都市大学の齋藤ら<sup>6-8)</sup>は、エンジン実動時のボア変形計測とオイル消費結果より導き出している。

往復摺動以外のフリクション低減の攻めどころであるオイルポンプの駆動仕事低減として、日産自動車の須井ら<sup>6-9)</sup>は、ベーンタイプのハウジングの偏心率をコントロールする可変容量オイルポンプ(図6-5)の効果について報告している。

フリクション低減以外として、本田技術研究所の近藤ら<sup>6-10)</sup>は、ピストンピンの挙動からセミフロートタイプのピストンピン打音のメカニズム(図6-6)の解析を行い、ピン周りの潤滑状況観察から、ピストンとピン間のオイル量が打音に影響するとの報告をしている。(藤井 厚雄)

【参考文献】

- 6-1) 金井, 垂沢, 藤原: ガソリンエンジン用ピストンのフリクション低減技術, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.153-11 (2011)
- 6-2) 高木, 矢坂, 末: ピストン用低摩擦固体潤滑剤の開発 (第3報), 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.153-11 (2011)
- 6-3) 堀田, 稲垣, 宮本, 児玉: アーク溶射シリンダボア材の摩擦摩耗解析, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.155-11 (2011)
- 6-4) 樋口, 馬淵, 市原, 田村, 諸貴: ピストンリングへの水素フリー DLC 膜の適用開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.154-11 (2011)
- 6-5) 加藤, 藤田, 川島, 石間, 金井, 関, 鈴木, 小保方: ピストンプロフィールと油膜挙動の関係の LIF/PIV 評価, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.153-11 (2011)
- 6-6) 一杉, 乾, 仲田: 可視化解析法を用いたオイル消費低減への検討, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.155-11 (2011)
- 6-7) 山田, 三田, 稲垣, 勝見: ピストンリング挙動・潤滑連成計算によるボア形状の影響解析, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.155-11 (2011)
- 6-8) 齋藤, 今井, 伊東, 乾: ガソリンエンジンのシリンダ変形及びピストンリング張力とオイル消費に関する研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.155-11 (2011)
- 6-9) 須井, 田口, 村田, 河原, 島田: 新型 I3 1.2L スーパーチャージャガソリンエンジンにおける低フリクション技術開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.154-11 (2011)
- 6-10) 近藤, 大林: 潤滑油挙動可視化によるピストンピン打音メカニズム解析, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.153-11 (2011)

7. 燃料関係

「SI エンジン燃料」のセッションでは3件の発表があり、トヨタの佐々木ら<sup>7-1)</sup>は、「燃料性状がエンジンの異常燃焼に与える影響」と題した講演を行った。図7-1に示すエンジン試験結果と、図7-2に示すCHEMKINによる着火遅れ期間の計算結果から、(1)燃料のリサーチ法オクタン価( RON )と高温再始動時の着火遅れ、低回転の散発型のプレイグとの相関は高く、高 RON ほど異常燃焼が起こりにくいこと、(2)高回転の暴走型のプレイグはモータ法オクタン価( MON )との相関が高いことを報告している。

燃料の燃焼化学反応モデルに関しては、福井大学大学院の周ら<sup>7-2)</sup>が、「低温酸化を經由しない場合の様々な燃料の化学反応機構」と題した講演を行った。このほかでは、バイオディーゼル燃料関係で、ジャトロファ油に注目した2件の発表<sup>7-3, 7-4)</sup>があった。また、ディーゼル燃料へのアルコール利用に関する3件の研究発表<sup>7-5, 7-6, 7-7)</sup>があった。(金子タカシ)

【参考文献】

- 7-1) 佐々木, 中田: 燃料性状がエンジンの異常燃焼に与える影響, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.126-11, 20115625 (2011)

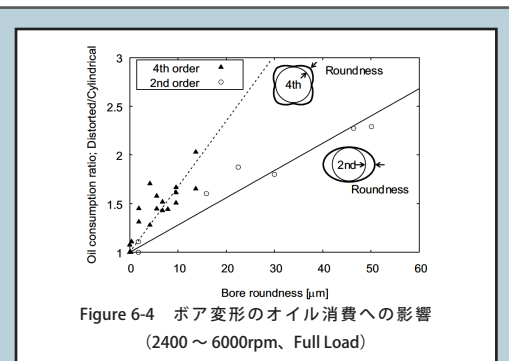


Figure 6-4 ボア変形のオイル消費への影響 (2400~6000rpm, Full Load)

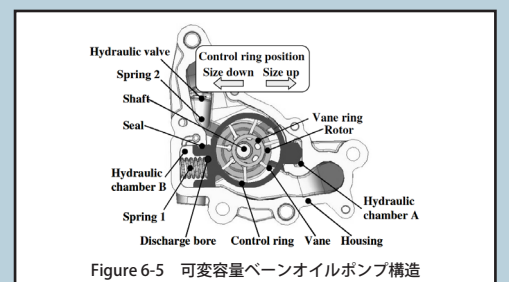


Figure 6-5 可変容量ベーンオイルポンプ構造

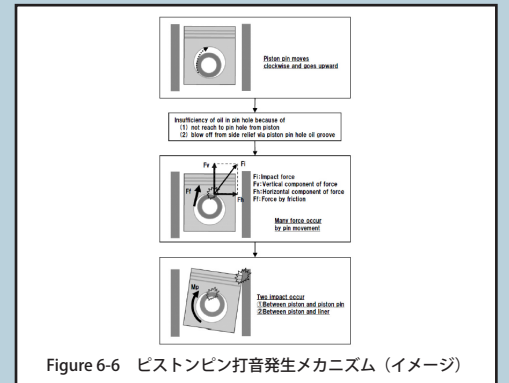


Figure 6-6 ピストンピン打音発生メカニズム (イメージ)

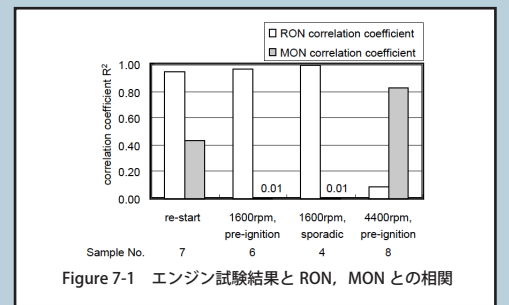


Figure 7-1 エンジン試験結果と RON, MON との相関

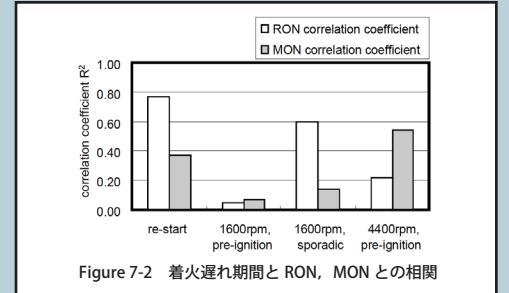


Figure 7-2 着火遅れ期間と RON, MON との相関



7-2) 周, 安東, 酒井, 桑原: 低温酸化を経由しない場合の様々な燃料の化学反応機構, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.157-11, 20115759 (2011)

7-3) 催, 清松, 藤間, 久留, 草鹿, 大聖: バイオディーゼル燃料を用いたディーゼル機関の燃焼と排出ガス特性に関する研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.119-11, 20115585 (2011)

7-4) 小熊, 貝塚, 岩田, 古谷, 後藤: ジャトロロハ油利用のホルボールエステルの追跡, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.130-11, 20115778 (2011)

7-5) 松浦, 小橋, 桑原, 千田: 各種アルコール燃料の混合がバイオディーゼル燃料の燃焼特性に及ぼす影響, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.119-11, 20115535 (2011)

7-6) セティアプラジャ, 原, 柴田, 小川: アルコール・非エステル化植物油混合燃料のディーゼル燃焼特性, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.119-11, 20115706 (2011)

7-7) 木下, 笹川, 尾堂, 渡邊, 中武: セタン価向上剤添加 1-ブタノール軽油混合燃料のディーゼル燃焼, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.130-11, 20115674 (2011)

## 8. エンジン点火システム

ダイハツから 2 件 (高周波印加型点火), イマジニアリングから 1 件 (ダイハツと共同で, 高周波印加型点火とマイクロ波を重畳させた研究) および日大から 1 件 (プラズマジェットに関するもの) の計 4 件の発表講演があった。従来の電極間点火の形態を覆すプラズママイクロ波を応用した点火の研究が発表され始め, 発表後の議論は時間切れになるほど非常に盛り上がった。

ダイハツの芹澤<sup>8-1)</sup>と尾井<sup>8-2)</sup>らは, 点火 (第一コイル) の火花放電に, 高周波供給コイルに高周波電圧を印加して点火ギャップ近くにプラズマを生成するシステムを開発 (アクティブ着火システムと命名: 図 8-1) し, これによる気流のある定容容器での燃焼特性 (1 件目?20115782) と SI エンジンの燃焼特性 (2 件目?20115788) について発表した。アクティブ着火では従来点火に比べラジカルが多く生成され高気流場でも放電が継続 (一時的に途切れても再着火可能) し, リーン限界も 23 → 25 に延びた。ただ, ストイキ近くでは従来点火よりやや燃費が悪く, この原因を現在追求中だが電極の正負を変えると結果が変わり, プラスイオンラジカルの挙動が関与していると推定している。

イマジニアリングの西山<sup>8-3)</sup>ら (20115765) は, 前述のダイハツの点火方式 (AI) にマイクロ波 (MW) を加えた 3 気筒エンジン実験系 (図 8-2) を構築, IMEP 等を評価した。AI と MW を組み合わせた場合燃焼変動率が大きく低減し, また MW が無い条件では初期燃焼期間が長くなり IMEP が低下するという結果を得ている。

日大の佐々木ら<sup>8-4)</sup>は, 独自のプラズマジェットプラグ (図 8-3) を使ってこの点火方式における流体力学的効果が燃焼促進に与える影響を調査した。その結果, 放電によるプラズマジェットの存在時間は燃焼期間に比べ非常に短く (0.2ms), 燃焼初期において火炎核は高温噴流と同様に成長し, プラグのオリフィス仕様によっては噴流の噴射方向への火炎伝播が促進すると結論付けている。(調尚孝)

### 【参考文献】

8-1) 芹澤, 尾井, 内田: 高周波印加型点火システムの燃焼特性に関する研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.96 - 11 (2011)

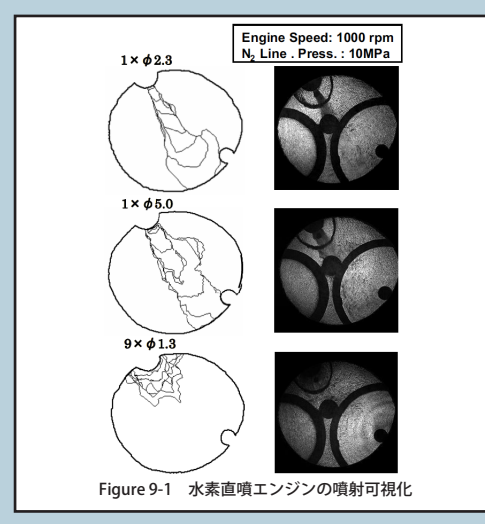
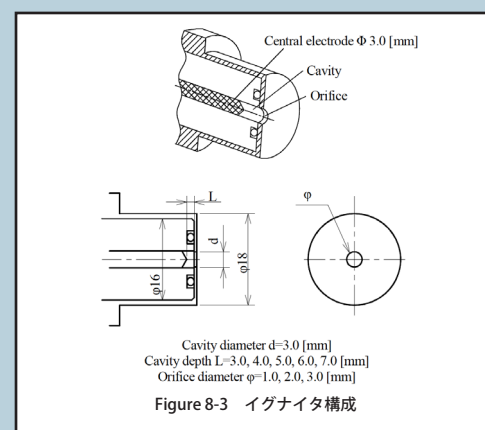
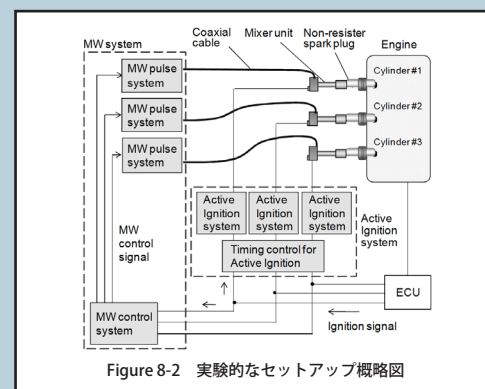
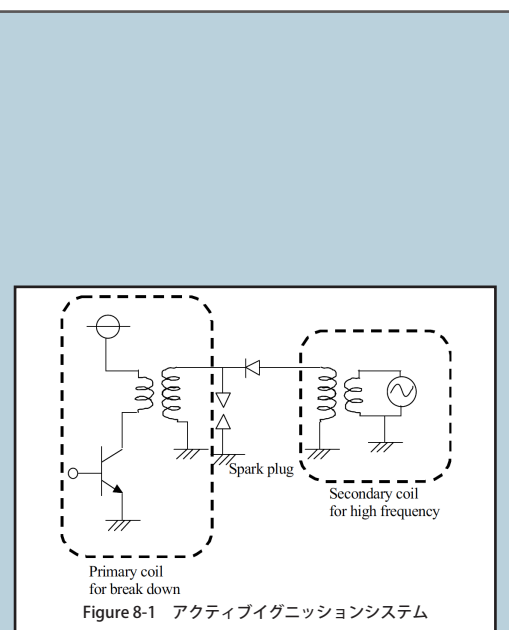
8-2) 尾井, 芹澤, 奥村: 高周波印加型点火システムの SI エンジンにおける燃焼特性に関する研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, 20115788 (2011)

8-3) 池田, 和智, 西山, 芹澤, 尾井: 強力着火とマイクロ波を用いた SI エンジンの燃焼改善, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.96 - 11 (2011)

8-4) 佐々木, 飯島, 庄司, 吉田: プラズマジェットイグニッションにおける流体力学的効果が燃焼促進に与える影響, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.96 - 11 (2011)

## 9. エンジン計測

このセッションで紹介された計測技術はレーザシャドウグラフ法による筒内可視化 (東京都市大学 + 交通研), 単気筒ボトムビュー可視化 (日産), 点火プラグ近傍燃料蒸気濃度計測 (岡山大 + 三菱電機とマツダ), LDV を使った噴射率計測 (群馬大) である。



東京都市大学の関根ら<sup>9-1)</sup>は、水素直噴エンジン（火花点火）で課題となる、NOxの低減、熱効率のさらなる向上について、自作の噴射弁の噴孔数、噴孔径を種々変えてエンジン燃焼可視化を行った（図9-1）。NOxの低減には単噴孔が良いが冷損低減には多噴孔（壁まで燃え広がらない）が良い、現時点では一つの噴射弁では両立できていないが、今後スワール形成等の影響を調査していく。

日産の森ら<sup>9-2)</sup>はアイドルストップつき直噴で再起動時、混合気形成上どうい噴射が良いかを検討。極低回転では、乱れが期待できずインジェクタの微粒化が必要。5MPaの噴射で、筒内ウェットを回避できることを、可視化（図9-2）とCFDの両面から把握した。

岡山大の遠山ら<sup>9-3)</sup>は、スプレーガイド直噴時に遭遇する、プラグ部への燃料衝突が赤外吸収計測時（図9-3）に計測空間に液滴が飛び込んで計測上の誤差となるので、その際の計測法を赤外吸収法の透過率の観点から報告。液滴に散乱するレーザを同時に計測空間に照射し、その赤外吸収との差を取る方法でさらに研究を続けていく。

マツダの藤川ら<sup>9-4)</sup>は高圧縮比ガソリンエンジンで掃気性改善と触媒急速暖機の研究について報告。掃気性改善には吸気バルブシステム形状の最適化が有効。マルチホール噴射弁の噴孔レイアウトを最適化することで、プラグ周りに時間差混合気形成した成層燃焼（大遅角燃焼）を実現し、触媒早期暖機を可能とした。プラグ周りの混合気形成については前述の岡山大と同様なセンサ付き点火プラグ（図9-4）を使用している。

群馬大学の小山ら<sup>9-5)</sup>は、噴射弁上流配管中をLDVによる噴射率計測（図9-5）した結果を報告。計測した瞬時噴射率を積算した噴射量と重量法（天秤）による結果と比較検討した。高噴射量域では重量法（天秤）と高い相関が取れているが、少噴射量域では誤差が多い結果となり今後精度改善を要する。従来の長管法（液中噴射）に代わる噴射率（気中噴射）計測法なので今後の研究に期待する。（調 尚孝）

【参考文献】

- 9-1) 関根, 及川, 近藤, 高木, 佐藤: レーザシャドウグラフ法を用いた可視化による直噴水素エンジンの燃焼特性解明研究, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.156 - 11 (2011)
- 9-2) 森, 鶴島, 丹澤, 渡辺, 高橋, 藤井, 藤原: ガソリン直噴エンジンの起動時に極低回転における燃焼現象解析, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.156 - 11 (2011)
- 9-3) 遠山, 河原, 富田, 本田, 片柴: 赤外吸収法を利用した点火プラグ近傍燃料濃度計測, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.156 - 11 (2011)
- 9-4) 藤川, 養祖, 内田, 中山, 山川: 高圧縮比ガソリンエンジンの掃気性改善と触媒早期暖気のための燃焼技術開発, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.156 - 11 (2011)
- 9-4) 小山, 川島, 石間, 小保方: レーザドップラ式流量計の高圧燃料噴射率計測への適用, 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.156 - 11 (2011)

10. 車両走行燃費（測定精度向上）

「車両走行燃費」セッションでは、実走行における燃費よりも、燃費試験時などに行われるシャシダイナモ上での走行における測定精度向上などに関する講演が3件行われた。その中からトヨタ自動車井下氏らによる「4WD シャシダイナモにおける燃費影響因子の解析（第2報）」<sup>10-1)</sup>を紹介する。

本研究は、トヨタ自動車と明電舎という、自動車とシャシダイナモメータそれぞれの最大手メーカーの共同で行われたもので、4WD シャシダイナモを使って燃費評価を行うにあたり、課題となりうるローラ摩擦力と前後ローラの等速性による燃費影響を解析している。

その中でローラ摩擦力の違いを見ていくが、まず基本的事項として、試験におけるタイヤとローラの摩擦について補足する。台上で路上走行を再現するための走行抵抗値を測定する惰行試験では、実際に路上を走行させて評価することから、タイヤと路面間の摩擦抵抗も含めた走行抵抗値が求まる。シャシダイナモ試験時には、機械側にその抵抗も含めた走行抵抗値を設定する代わりに、試験時のタイヤとシャシダイナモローラ間の摩擦損失は差し引くことをしている。したがって、タイヤローラ間の摩擦損失が変化しても、差し引く量が変化しただけで「理屈上は」同一の結果が得られるはずである。しかし、実際には滑りがあることに加え、4WD 車ではその滑りの有無が前後の駆動力配分を変化させ、ひいてはそれが駆動部分のロスや伝達効率を変化させて燃費に影響する可能性がある。本報はそこに着目したものである。ローラ摩擦力の変化を与えるために、ここでは試験時の車両重量を変化させている。

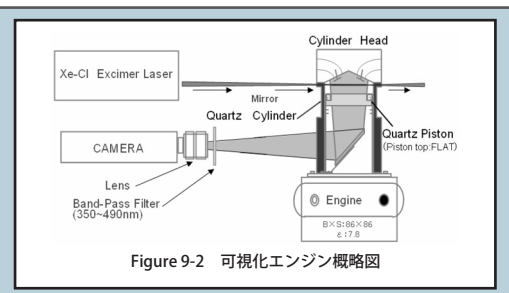


Figure 9-2 可視化エンジン概略図

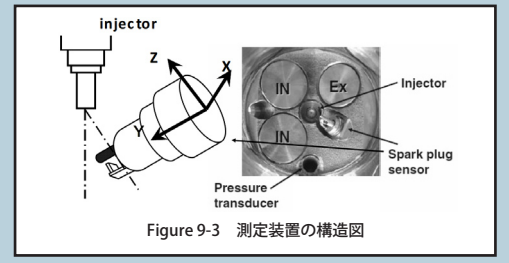


Figure 9-3 測定装置の構造図

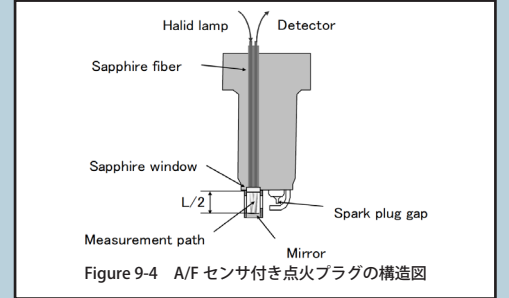


Figure 9-4 A/F センサ付き点火プラグの構造図

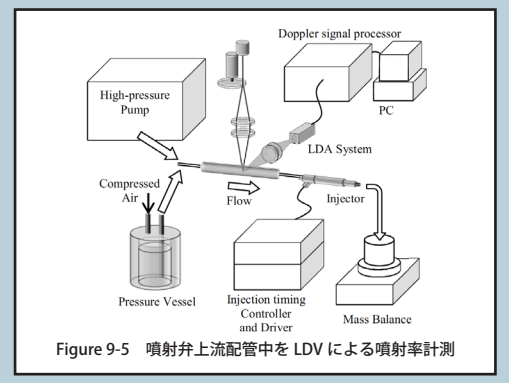


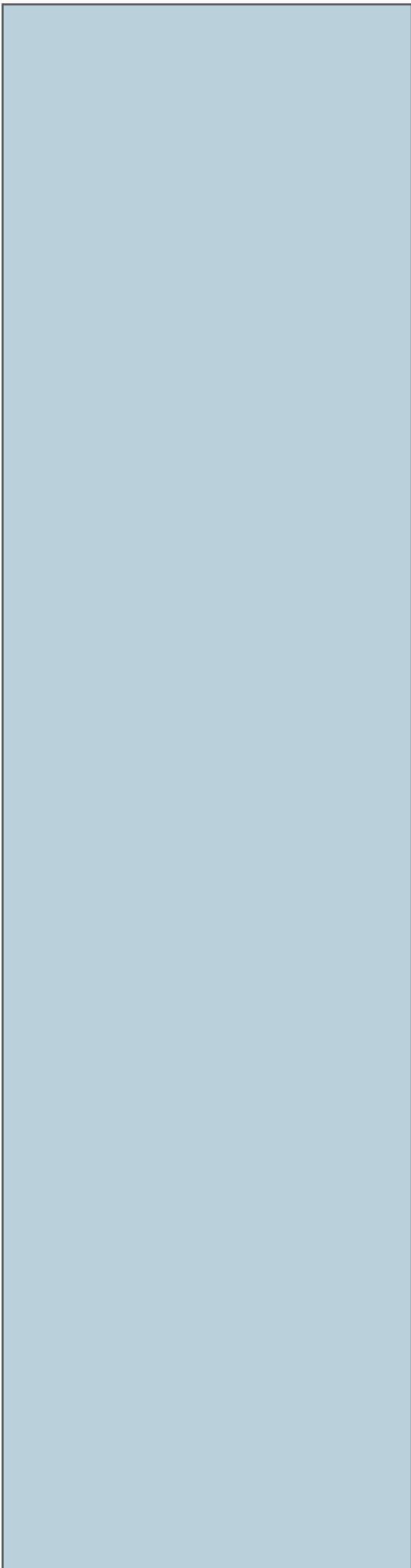
Figure 9-5 噴射弁上流配管中を LDV による噴射率計測

試験には表 10-1 に示す A～C, 3 台の 4WD 車が使用されている。VC はビスカスカップリング式, ACV は電子制御カップリング式, CDV はセンターデフ式である。その 3 台で重量増加させてローラ摩擦力を高めた場合の, 燃費変化率を図 10-1 (p4, fig6) に示す。まず, いずれの車両でもスリップが減ることで燃費が多少改善している。その中で, 常に駆動力が前後均等に配分される車両 C では差が小さいのに対し, VC の車両 A では標準で前後輪 7:3 の駆動力配分が重量増加状態では 8:2 へと変化するため, 前輪の駆動トルクが増加し摩擦の影響を受けやすくなるほか, 従動輪 (後輪) への駆動力配分が減少することで駆動系ロスも減少することから変化が大きいとしている。

4WD シャシダイナモを今後導入していくにあたり, 適正な評価手法を考慮していくことは重要で, そのために必要と思われることを, 技術的特性を把握した上で詳細に研究しているといえるが, 幸か不幸か影響度合いは予想より小さく感じられた。

#### 【参考文献】

10-1) 井下, 日下部, 此下, 小林, 鈴木, 伊藤: 4WD シャシダイナモにおける燃費影響因子の解析 (第 2 報), 自動車技術会 2011 年秋季大会学術講演前刷集, No.128-11 (2011)



## NEWS & INFORMATION

### 最新 FCV F125 ! 展示 ●メルセデス・ベンツ日本

メルセデス・ベンツ日本は12月3日から一般公開された東京モーターショー2011において、ラグジュアリーコンセプトカーとして「F125！」をワールドプレミアムで公開した。これはメルセデス・ベンツが自動車を開発してから125周年に当たるのを記念して命名されたもの。動力は「F-CELL プラグイン HYBRID」と命名された開発中のシステムで、水素燃料電池から得た電力で、4つのモータを駆動する。モータは各車輪の近くにレイアウトされ、トータル出力313psを発生。ダイムラーによると、約1000kmをゼロエミッション走行できるという。車体は「SLS AMG」と同様のガルウイングドアが採用され、ボディやシャシーには、CFRPを使用している。

メルセデス・ベンツ日本(株) : <http://www.mercedes-benz.co.jp>



メルセデス・ベンツ FCV コンセプトカー「F125！」

### プラグインハイブリッド「クロスクーペ」 ●VW

フォルクスワーゲン グループ ジャパンは東京モーターショー2011において発表した「クロスクーペ」は、パワートレインに、新しい横置きモジュールを基本にしたプラグインハイブリッドを採用。直噴ガソリン過給エンジン「TSI」と二つの電気モータが走行状況に応じて駆動制御する。後輪を電気モータが駆動することにより、これまでプロペラシャフトが通っていたセンタートンネルは、容量9.8kWhのリチウムイオンバッテリーの格納場所とした。EV走行分も含め855km無給油で走れるとされ、システム全体で195kWを発生。シティ(エコ走行)、スポーツ、オフロードの三つの走行モードを選択できる。EVモードでは距離にして40kmまで走行可能。100km走行するのに必要な燃料は、SUVでありながら、欧州の走行基準サイクル(NEDC)で2.7L(約37km/L)となっている。フォルクスワーゲン グループ ジャパン(株) : <http://www.volkswagen.co.jp/index.html>



VW「クロスクーペ」

### A6/Q5 ハイブリッド ●アウディ

アウディジャパンは東京モーターショー2011でA6とQ5の2種類の

ハイブリッドを展示した。

A6はプレミアムアップーミディアムクラスのA6にハイブリッドシステムを導入したもの。量産開始は2012年の予定。155kWの最高出力と350Nmの最大トルクを発生する2.0 TFSI エンジンに、40kWと211Nmを発生する電気モータを組み合わせている。パラレルハイブリッドは、システム合計で180kW(480Nm)を発揮。リチウムイオンバッテリーは、トランク内の衝撃対策を施され設置される。電力のみで最高速度100km/h、60km/hの定速で最長3kmまで走行することができ、内燃エンジンのみを使った走行、ハイブリッドモードのみによる走行も可能。制動時にはエネルギーを回生し、強力な加速が必要な場合には両方の動力源を作動させる。

Q5はプレミアムミッドサイズSUV。リチウムイオンバッテリーを標準搭載して提供される、アウディ初のフルハイブリッドモデル。システムはA6と同様で、0~100km/h加速は7.1秒、最高速度は225km/h。平均燃費は6.9L/100km(欧州仕様)、CO2排出量は159g/km。

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

### プロトタイプ「Audi e-tron」試乗会 ●アウディ

アウディ ジャパンは2011年11月16日~18日の3日間、電気自動車のプロトタイプ「Audi e-tron」の試乗会をアジア各国のメディアに向けて開催した。コースはTOYO TIRES ターンパイク(神奈川県小田原市)を全面貸切としたもの。当日は、このイベントのためにドイツ本社より空輸した「Audi A1 e-tron」と「Audi A3 e-tron」の2種類のプロトタイプを用意。比較用にガソリンエンジンの「Audi A1 1.4TFSI」、「Audi A3 1.4TFSI」も用意された。また、ドイツ本社よりEモビリティ戦略担当者を迎え、ドイツ本国ではすでに「Audi A1 e-tron」の実証実験を開始しており、また2012年末には「Audi R8 e-tron」を、そして2014年にはプラグインハイブリッドの市販化も予定していることが発表された。

Audi A1 e-tronは発電をしながら走行距離を延ばすレンジエクステンダー付きの電気自動車。搭載される電気モータは最高出力75kW、最大トルク240Nmを発生、最高速度は130km/h。車両状況に応じ小型内燃エンジン(254ccのロータリーエンジン)がバッテリーを充電、航続距離は最大250km。なお、最初の50kmは電気モータのみでの走行も可能。

Audi A3 e-tronは26.5kWhのリチウムイオンバッテリーとモータのみで駆動する電気自動車。リヤシート下とセンタートンネル部分にバッテリーを配し、5名乗車を実現。最高出力は85kW、最大トルクは270Nm。最高速度は146km、航続可能距離は135km(欧州のNEDCモード)。



アウディ「Audi A1 e-tron」

### 「i8 コンセプト」 ●BMW

BMWは東京モーターショー2011において二つのコンセプトカーを発表した。

「i8 コンセプト」は「i3 コンセプト」を発展させてもので、プラグインハイブリッドは、BMW i3 Conceptに変更を加え、フロントアクスルに搭載される電気駆動システムと、リヤに搭載されている最高出力164kW、最大トルク300Nmを発生する高性能3気筒内燃エンジンとを組み合わせたもの。0-100km/h加速が5.0秒を下回りながら、燃料消費量(EU

サイクル) が 100 km あたり 3L 未満という。家庭用電源で充電可能な大型リチウムイオンバッテリーを採用し、電力のみで最長 35 km を走行することができる。このプラグインハイブリッドは生産化が決定したという。  
ビー・エム・ダブリュー (株) : <http://www.bmw.co.jp/jp/ja/index.html>



BMW 「i8 コンセプト」

### 3008 ハイブリッド 4 ●プジョー

プジョーは東京オートショー 2011 でハイブリッドモデル「3008 ハイブリッド 4」を日本初公開した。

このシステムはディーゼルエンジン (2L HDi FAP/120kW) を使い、モータ (27kW) と組み合わせたフルハイブリッド。4 輪駆動で ZEV モードを持ち、CO2 排出量は 99g/km. となっている。2012 年より欧州にて発売予定。

プジョー・シトロエン・ジャポン (株) <http://www.peugeot.co.jp/>



プジョー 「3008 ハイブリッド 4」

### 次世代燃料電池自動車コンセプト 「FCV-R」 ●トヨタ

トヨタ自動車は東京モーターショー 2011 において次世代燃料電池自動車のコンセプトモデル「FCR-V」を公開した。全長 4745mm, 全幅 1790mm, 全高 1510, 乗車定員は 4 名。専用ボディに FC ユニットの床下に配置することで、広い荷室空間と 4 名乗車を可能とした高効率パッケージとし、70MPa の高圧水素タンクを搭載して航続距離は JC08 モード走行 (社内測定値) 700km 以上と発表されている。ほかに展示された、リチウムイオン電池を搭載した電気自動車のコンセプトカー「FT-EV III」は、一充電当たりの走行距離は 105 キロを想定する。2012 年の市場導入を目指したモデルで、ボディサイズは 3110 × 1680 × 1500 ミリ、ホイールベースは 2000 ミリ。乗車定員は 4 人。

トヨタ自動車 (株) : <http://toyota.jp>



トヨタ 「FCV-R」

### 「EARTH DREAMS TECHNOLOGY」を発表 ●ホンダ

本田技研工業はエンジンなどの内燃機関やトランスミッションの効率向上やモータなどの電動化技術の進化による「EARTH DREAMS TECHNOLOGY」を発表した。軽乗用車「N BOX」を皮切りに様々なカテゴリーで展開し、3 年以内に各カテゴリーで燃費 No.1 を目指すとともに、2020 年までに全世界で販売する製品の CO2 排出量を 2000 年比で 30% の低減を目指す。主な技術内容は、

1. 走りと燃費性能で世界トップレベルを実現したガソリンエンジン：

VTEC (可変バルブタイミング・リフト機構) 技術を進化させ、徹底的な熱効率の向上と低フリクション化により高い出力性能と低燃費を両立。さらに、拡張性の高い新骨格エンジンシリーズを新たに開発。

2. 世界最軽量を実現し、クラストップの加速性能と燃費性能を実現した小型ディーゼルエンジン：

エンジン剛性、燃焼指圧の最適化により、シリンダブロックのアルミオープンデッキ化を可能とした 1.6L クラスで世界最軽量のディーゼルエンジン。現行の 2.2L エンジンからのダウンサイジングに加え、各部のメカニカルフリクションを徹底的に低減することで、現行ガソリンエンジンと同等レベルの低フリクション化を達成。冷却システム改良による熱マネジメントの最適化もあわせ、CO2 を 15% 以上低減。

3. 操る楽しさと燃費性能を高次元で両立した CVT

4. 世界最高効率を実現した 2 モータハイブリッドシステム：

走行性能を高めながら CO2 低減にも対応した、世界最高効率の 2 モータハイブリッドシステムを新たに開発。専用リチウムイオンバッテリー、チャージャなどの採用によりプラグインハイブリッド車にも搭載可能。2012 年にプラグインハイブリッド、2013 年にはハイブリッド車としてこのシステムを搭載した中型車を量産化予定。

5. 走りと燃費性能を両立した高効率・高出力のハイブリッドシステム「電動 SH-AWD」：

大型車に最適なハイブリッドシステム「電動 SH-AWD」を新たに開発。3.5L の V 型 6 気筒エンジンにこのハイブリッドシステムを組み合わせる。後輪を 20kW 以上の左右二つのモータで独立して駆動する電気式の四輪駆動システム。

6. EV 用小型高効率電動パワートレイン：

高効率同軸型モータ、電動サーボブレーキシステムなどにより、米国で定められた条件値の交流電力消費率 29kWh / 100 マイル (116MPGe) という、世界最高の電費性能を実現。航続距離は、高エネルギー容量のリチウムイオン電池を搭載することで、123 マイル (LA-4 モード : unadjusted), 210km (JC08 モード) を達成。などとしている。

本田技研工業 (株) : <http://www.honda.co.jp/>



EARTH DREAMS TECHNOLOGY 2011.11.30

新開発 2.4L クラスエンジン