

日 時： 2012年4月21日(土) 13:30-16:50

場 所： 名古屋国際センター 第2研究室

出席者： 26名

調尚孝(主査, 日本自動車部品総研), 大聖泰弘(講師, 早稲田大学), 星博彦(講師, 元トヨタ自動車), 高橋周平(幹事, 岐阜大学), 田村守淑(幹事, 東邦ガス), 内田登(新エイシーイー), 寺地淳(日産自動車), 高野孝義(豊田工業大学), 井原禎貴(岐阜大学), 大平哲也[追: 安藤真彦](スズキ自動車), 漆原友則(日本ガイシ), 園比呂志(本田技術研究所), 内田睦[追: 佐古孝弘](大阪ガス), 太田安彦(元名古屋工業大学), 中島邦彦(ユニバンス), 古谷正広(名古屋工業大学), 長谷川国生(元ダイハツ工業), 佐々木覚(デンソー), 小池誠[代: 永岡真, 宮川浩], 加藤隆輔[代: 山本稔](ヤマハ発動機), 中村俊秋(豊田自動織機), 小島晋爾(名城大学), 鬼頭俊介(豊田高専)

## 議事

### 1. 事務連絡

新委員ご紹介.

2011年度活動報告.

次回研究会 7月14日(土) 名城大学名駅サテライト(MSAT)

小島前主査のご厚意により, お借りすることができました.

### 2. 話題提供

#### (1) 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科 教授 大聖泰弘先生 (13:40-15:10)

「自動車用エンジン技術の現状と将来」

要旨:

ガソリン車の排出ガス対策は, 三元触媒と制御された燃料噴射技術により非常に高いレベルに至っており, 現時点ではほとんどのガソリン車が超低公害車となっているといえる. 自動車の排出ガス規制に関する国際的な取り組みについては, 国連の専門家会議により枠組みが決められており, 日本でもこれらに積極的に参画している. ディーゼル商用車における規制では, 日本は2016年以降でNOxで0.4g/kWhという非常に厳しい値を掲げており, またディーゼル乗用車でも2009年規制でNOxで80mg/km, PMでも5mg/kmという低レベルの値を設定している. これらは, 欧州, 米国でも同程度に進んでいくものと予想されている. 今後のディーゼルエンジンとしては, 過給機, EGR, 酸化触媒, DPF, NOx還元触媒, コモンレールシステムといった組み合わせを有するエンジンが標準となり, 高過給, 高EGR, そして多段噴射による高度な燃焼制御によりさらなる排気ガスの浄化を目指す方向へ進むだろう.

PCCI的な燃焼の導入も, 燃費の向上の点からは通常のディーゼル燃焼を超えることはできないものの, 後処理における負荷を減らすという観点から興味深い. このようなPCCI燃焼の実現では, 噴射時期の早期化あるいは遅延化と並んで, 低圧縮比化と吸気弁の遅閉を利用してミラーサイクルを取り入れることで, NOxとPMの同時低減を図ることができることも, これまでの研究で示されている. これは, ミラーPCCI燃焼を行うことで, 従来の燃焼と比較してT- $\phi$ マップ上で, SootおよびNOxの発生条件を上手く避けて燃焼を実現できるためである. また, 重量車用エンジンでは段付の燃焼器形状を採用することで, 隙間部分の空気をうまく利用でき燃費が向上することも示唆されており, 燃焼技術からのアプローチにもまだ伸び代があるともいえる. これらの解析においては, GPUを用いて非常に高速に並列処理を行うことができるようになってきており, 数値計算によるパラメータスタディが可能となってきている.

後処理に技術においては, 酸化触媒, DPF, 尿素SCRシステムでの低温時の浄化率と, アンモニア, N<sub>2</sub>Oの発生が問題として挙げられる. また, ディーゼルナノ粒子の排出に関しても近年, 注目されるようになっており, 特に欧州では粒子数規制が特徴として挙げられる.

燃費に関しては, 2020年度燃費基準案において11年間で24%の向上という, 非常に高い設定がされている. ただし, この達成に当たってはEVも含めた企業平均燃費(CAFE)が導入される. 日米欧における軽量車の燃費基準規制では, 欧州でCO<sub>2</sub>排出95g/kmという値が示されている. この値は将来的には60g/kmとすることが提案されており, 非常にチャレンジングである. また, 米国での商用車の基準においても, 20%程度の改善が盛り込まれている. 米国はこれらの数値を, エンジンだけでなく車体の抵抗軽減なども通して達成しようとしている.

ガソリンエンジンの燃焼方式に関しては, 従来より希薄燃焼が適しているかストイキ燃焼が適しているかが議論されてきた. 燃料供給方式は, 初期のシングルポイントインジェクション(SPI)からマルチポイントインジェクション(MPI)へと進化し, 現在では多段噴射と組み合わせた直噴タイプが高度な燃焼制御に適した噴射方式といえる. 市場においては, ガソリンエンジンでは, 高圧縮比化やミラーサイクルの採用, また摩擦抵抗の低減などを通して

欧州モード 95g/km をクリアするエンジンが登場している。ディーゼルエンジンにおいても、クリーンディーゼルの投入が始まり、低圧縮比化して予混合的な燃焼に近づけることにより高い燃費を実現している。特にマツダのエンジンでは NOx 触媒を使用せずに新規規制をクリアしている点が特徴である。また、VW 社のように、各地域での規制に柔軟に対応できるように、エンジンをモジュール化して対応するようになってきたことも特徴である。

乗用車のガソリンエンジンとディーゼルエンジンとの比較においては、トルクの太さ、燃費に関してディーゼルエンジンに軍配が上がるものの、その他の項目に対してはガソリンエンジンが優位である。直噴ガソリンエンジンにおいては、過給することで BMEP が大幅に増大するが、燃費の観点から言えば、オクタン価( RON) が大きな影響を及ぼす。たとえば HCCI 燃焼において微量の軽油を噴射して補助点火を行うことで、熱効率が 38% から 46% まで増加する実験結果が観察されている。また、ノック発生には壁温が密接に関連しており、数値解析においても壁温の履歴を詳細に捉えることが重要といえる。

ディーゼル商用車の高効率化においては、米国で多額の補助金のもとで戦略的に進められており、エンジン自体の高効率化や空気抵抗・転がり抵抗の低減と合わせて、排気エネルギーの回収技術なども視野に入れている。これらの技術を合わせることで、輸送効率自体を 50% 増大させる計画である。

今後のエンジン制御の方法論としては、map-based 制御から model-based 制御に移行することで、より応用のきく制御方式へと進化する事が予想される。また、ハイブリッド車においても、複雑化とともに今後増大するコストにどのように対応するかが求められる。走行時におけるエネルギー回収も重要で、空気抵抗や転がり抵抗などは散逸的であるため十分小さく抑えることが重要であり、これらの対応には安全性などを配慮した上での車の軽量化がカギとなっている。自動車用燃料は、今後はオイルサンド、シェールガスなどの高コスト燃料の利用も必要となるであろう。また、いわゆる次世代自動車の普及には政府の支援も重要である。将来的には、先進国は CO<sub>2</sub> 排出を 80% 減らすことが求められているが、自動車部門での達成は決して悲観的ではなく、むしろ達成可能と考える。

## 質疑

Q.1 オクタン価( RON) は、燃費や排ガスなど多くの事柄に深く関連してくるが、政府などでは燃料の RON を上げるようにする動きなどはないのか？ また、それには多額の費用がかかるのか？

A.1 ハイオク化にはそれなりのコストがかかる。燃料のハイオク化は特に高負荷時に高効率になるので燃費の観点からはよい。しかしながら、石油使用量は減少するため、石油業界などの理解が得られるかどうかは不明である。

Q.2 商用車の PM, NOx の規制は kWh あたりと規定されているが、数値が過小評価される心配はないのか？

A.2 通常、仕事量が増えれば排気量も増えるので、特に問題はない。乗用車と異なり商用車は仕事量あたりで規制するのがよい。

Q.3 壁温変化を考慮してのノックのシミュレーションは、現在どの程度の精度が出ているのか？

A.3 現在は壁面近傍に細かく格子点を配置して計算しているが、今後さらに工夫が必要。低負荷時と高負荷時で壁温がノックに与える効果が異なり、大変興味深い結果が出ている。

Q.4 ふく射伝熱の影響はシミュレーションに入っているのか？

A.4 現在は入っていない。

Q.5 燃料の RON を統一する動きは今後出てくることはないのか？

A.5 石油業界が難色を示しており、現時点では難しいのでは。

Q.6 バイオ燃料などの場合、燃料の経時劣化などはどのように対応するのか？

A.6 劣化の問題は確かにあるが、バイオディーゼルは高セタン化剤としての利用も期待でき、いろいろな面が期待される。

Q.7 予混合燃焼中に微量の軽油を噴射する手法は、大型のガスエンジンなどで用いられることがあるが、燃費にはあまり大きな効果は出ていないように報告されている。どのようなメリットがあるのか？

A.7 点火補助に関しては、軽油噴射のほかに EGR 等もあるが、それぞれ一長一短ある。スパークプラグは 2000h 程度しか寿命がないため、これが不要になるなら導入のメリットはあるという話もある。

Q.8 国内の乗用車用ディーゼル、クリーンディーゼルの見通しは？

A.8 日本での普及は不透明であるが、国は補助金を付け、EU やインド市場での販売力を確保してほしいとの思惑がある。ディーゼルは部分負荷性能が良いので、乗用車向きである。商用車においては、DFP や尿素 SCR にはまだ課題が残っているのが現状である。ディーゼルエンジンにとって中長期的には一層の燃費改善も課題。

(2) 元トヨタ自動車エネルギー調査企画室 星博彦氏 (15:20-16:50)

「自動車用燃料の将来動向」

要旨：

1970 年代の OPEC のよる 2 回の価格引き上げのよる石油ショックの時代を経て、80 年代中盤から OPEC による石油の価格統制は不能となり価格が下落し 20~30\$/bbl の時代が続いた。2004 年以降、中国の需要増大により価格上昇が本格化した。リーマンショック前後で極めて大きな価格変動を経験したが、現在はリーマン前に戻ってい

る。

但し、石油以外の代替燃料の見直しによる多様化や石油精製の事情などのエネルギー情勢が転換期に来ており、対立する意見が錯綜する中、自動車会社の立場から行ったエネルギー調査について話題提供する。

#### <原油価格見直し>

欧州 Brent と米国 WTI の原油価格は従来ほぼ同じであったが、最近乖離が見られるようになった。WTI では低価格なカナダのオイルサンドが入り在庫に余剰があり価格低下しているのに対し、EC ではイラン政情不安の影響で価格上昇。

IEA の原油価格見直しは当面 WTI と Brent の価格差は開いたままであり、国際価格としては Brent の 100 \$ /bbl で推移すると予想。但し、IEA は OPEC に対向するために設立された OECD の組織であり、原油価格を抑制のため価格を低めに言っている可能性はある。長期的な見直しとしては、新政策シナリオが現実的で 2035 年にかけて原油需要が伸びていくが 120 \$ /bbl 程度まで徐々に価格上昇。

トヨタ自動車の独自調査では、ヨーロッパ諸国の財政問題の影響が中国経済に波及した変動シナリオでは 50\$/bbl の可能性もあるが、2030 年まで 100~120\$/bbl の見直し。

原油採掘コストは探鉱、汲み上げでそれぞれ地域によってコストは異なるが 40~50 \$ /bbl。100\$/bbl との差額は大きいが発展途上国の政情安定化のために必要なコストと考えられる。

#### <原油供給見直し>

IEA の予測では現在の油田はピークを迎え徐々に減少するが、非在来資源を含めれば 2035 まで供給量は増加。供給不足は起こらないとの楽観論がある一方、新規開発に必要な膨大な投資が実施される保証はなく、すでに限界との見方もある。確認可採埋蔵量は増加しており可採年数は 40 年程度で推移。但し、中東で生産量は頭打ちの傾向であり、悲観する向きもある。

トヨタの独自調査で米国は 2008 年までは石油生産はずっと減少していたが、深海油田の開発、米国固有のタイトオイルの生産量増加により、供給に関して極めて楽観的な状況。

石油のコストは中東で 10\$/bbl であるが、コストが高ければ北極海油田や超深海油田なども射程にある。オイルシェールは 70 \$ から最近、価格採掘コストは低下しているものと予測。

BP の予測ではバイオ燃料なども加えてかなりな量供給される見直しであり需給バランスは問題ないとの見解であるがバイオ燃料は自動車用燃料としての供給量は問題が多いとの意見も。

BP はバイオ燃料を推進しているので多めに予測しているが、は熱心であるが合成燃料については予測していない。合成燃料も増加するものと考えられ合成燃料も含めた代替燃料の 2030 年のシェアは 10%程度。

バイオ燃料はブラジルのサトウキビエタノール以外は原油価格が 100 \$ /bbl でも補助金なしには採算は困難。セルロースエタノールは DOE がかなり補助金を投入したが価格は低下せず。

原油供給の見直しには様々な意見があるが、石油生産技術の向上と莫大な資金投入されているので将来とも供給不足はないものと考えられるが、日本は中東の依存度が高いのでセキュリティの問題を抱えている。

燃料の製造コストは基本的にほとんど変わらないが税金や補助額によりベネズエラは 1 円/L からオランダ 2.7 \$ /L と各国で大きく価格は異なる。IEA は燃料に補助金を付けることは石油価格が下がり難くなるので補助金は廃止すべきと言っている。

このように原油供給は価格が大きく変動しながら長期的には価格上昇傾向と思われるので、トヨタとしての対応は車の高効率化、ハイブリッド路線の推進となる。現在の議論はピークオイル論より、資源開発への投資が十分に行われるかにある。石油枯渇がすぐに来ないとすると、代替燃料車への移行は必須であるが経済性から当面は CNG や FFV は主流とはしない。

#### <石油メジャー>

石油メジャーは以前と比べ比率は低下し 15%から 20%。生産国が保有している資源量が増加しメジャーの保有量は少ない。近年は天然ガスの生産が重点。

採掘技術はメジャーが保有しており、探鉱や採掘などの莫大な利益が望まれる上流部門に対し大きな投資がされている。

IEA の予測では 10 兆ドルの投資が今後必要。これは単純に換算してみると 8 円/L あたりの価格となる。現在 4000 億ドル/年の投資が行われており、このペースが続くとみれば供給量は確保できる。

先進国では競争が激しく石油精製などの下流投資が困難。メジャーは燃料品質に対する意欲が低下している。以前は、自動車に関する燃料品質に関してメジャーに注文できたが、今は独立系や国別にアピールすることが必要。但し、日本は例外的であり RON95 の期待がかかる。

#### <自動車技術>

最近ではガソリンターボがでてきたのがポイント。将来の熱効率 50%が目標。

小型化やマツダのスカイアクティブのエンジン自体の改良やリーンバーンハイブリッドなどにより燃費向上ができる。

ディーゼルは低圧縮比へ。冷間始動が課題であり燃料としては高セタン価なものがよい。

ガソリンは高圧縮比、ディーゼルは低圧縮比の方向であり、内燃機関としては同じような形態に収斂していく。燃料も統一できるとよいがRONとCNは負の相関を持ち、セタン価とオクタン価が両方高い燃料はないものと考えられる。

世界的には軽油が不足。EUでは軽油を輸入しガソリンを輸出している。日本は例外。

<代替燃料>

CNGは日本では停滞しているが、原油価格の上昇に対し天然ガス価格は安いので世界的には急速に普及し1400万台ある。レトロフィットという後付の改造車が主体でガソリンも併用できる。

FFVエタノール車はブラジルとアメリカ。ブラジルでは熱量あたりのコストが安く2003年から急速に普及。アメリカでは燃料コストが高いため実際にはガソリンを使っている。

バイオ燃料では糖から炭化水素（軽油）をつくるルートに注目している。アメリスという会社がやっている。バイオ燃料はジェット燃料が積極的。航空分野では低CO<sub>2</sub>の選択肢があまりないため。

合成燃料はカタールが1.5~2兆円の投資を行いGTL、中国では経済性があるCTLが立ち上がっている。バイオオイルはリグニンを300~400℃の低温で液化しタール状になる。コスト低減が期待されたが、精製する必要がありコスト高。

代替燃料の製造効率はCNGは89%と高いが、その他は50~60%とガソリンや軽油に比べかなり悪い。製造に必要なエネルギーも製造される燃料の発熱量を超える外部エネルギーを投入しなくてはならないものもある。但し、CTLメタノールは中国では経済性があり燃料として使われている。バイオ燃料の太陽エネルギー利用効率は太陽電池に及ばない。

プラグインハイブリッドは、電気自動車（100%）には及ばないが74%石油消費を抑制できてかなりよい。

水素燃料電池車も最近はかなり技術進展がありコストもかなり下がった。電気自動車にくらべ長距離輸送が有利。インフラ整備が課題。

<Q&A>

Q1: 合成燃料はバイオより低い位置づけか? →GTLなど製造は始まったが、エネルギー製造効率はわるいのが問題。

Q2: PHVの石油削減率の計算前提は? →バッテリーはフル充填の前提

Q3: 日本ではバイオ燃料に酒税などは課税されているのか? →酒税や燃料税は課税されていない。

Q4: 日本でE10の可能性はあるか? →コスト、量、CO<sub>2</sub>の観点からE10しかありえない。

Q5: 世界のエネルギーに対する福島原発事故の影響は? →現時点では出ていないが、長期的には影響あると思う。

Q6: バイオ燃料は自動車ですらより他の用途で使った方が有効と考えているかどうか

→見方によって変わってくるので難しい問題

Q7: 米国のシェールガスは輸出制限するという話もあるが、米国のタイトオイルは日本に入ってくるのか? →燃料としては由来は問わないしわからないのだが、今のところ情報は無い。

以上