

日 時： 2013 年 4 月 13 日(土) 13:30-16:30

場 所： 名城大学名駅サテライト (MSAT) 多目的室

出席者： 23 名

調尚孝(主査, 日本自動車部品総研)[追: 河野正顕], 高橋周平(幹事, 岐阜大学), 田村守淑(幹事, 東邦ガス), 石山拓二(京都大学, 講師), 木下久寿(ヤマハ発動機, 講師), 芹澤毅(ダイハツ), 小島晋爾(名城大学), 太田安彦(元名古屋工業大学), 大平哲也(スズキ) [追: 園田祐司], 中村俊秋(豊田自動織機), 鈴木浩高(いすゞ中研), 鬼頭俊介(豊田高専), 高野孝義(豊田工業大学), 内田登(新エイシーイー) [代: 福長聡], 内田睦(大阪ガス)[代: 佐古孝弘], 佐々木寛(デンソー), 園比呂志(本田技研)[代: 小林慎一], 中島大(日野自動車), 古谷正広(名古屋工業大学), 寺地淳(日産自動車), 山本英継(TPR)[代: 小島直喜]

議事

1. 話題提供

(1) 京都大学大学院エネルギー科学研究科 石山 拓二教授 (13:30-15:00)

「希薄燃焼天然ガスデュアルフュエル機関の燃焼制御について」

要旨:

天然ガスデュアルフュエルエンジンは, 希薄な均質予混合気を着火油点火することにより, 排気改善を行うことが可能であり, 同時に天然ガスの利用拡大の要請にも応えることができるエンジンである. 自動車用においてはスモークの低減, 定置用においては火花点火方式に比べて熱効率の向上が期待できる. 既存の自動車用ディーゼル機関にほとんど手を加えずに, 天然ガス利用を目的とした後付けの供給系などが米国では販売されており, このようなレトロフィットエンジンを想定して, 燃料噴射量・噴射時期・吸気絞りをパラメータとして燃焼改善を図った研究が紹介された. 軽油単独での運転時と比べ, デュアルフュエルではスモークが低減されるが, 当量比が 0.4 程度と低い条件において, HC が多く排出される特徴がある. また, 当量比が 0.8 以上に大きくなると, ノッキングが発生する. 低総括当量比においては軽油の当量比を増加させることで HC を減少させることが可能であり, また高総括当量比時では軽油の当量比を減らすことでノック限界を拡大することができる. また, 噴射時期を早期化すると低負荷時の HC が減少し, 遅延化すると高負荷時の NOx が低減するとともにノック限界が拡大する. 吸気絞りを, 低負荷条件で 70%に吸気量を絞ることにより, HC および NOx の低減が見られた. これは吸気を絞ることで, シリンダ内での当量比を上げたことに相当する. これらの知見より, 自動車用のレトロフィットエンジンにおいては, ごく低負荷においては, 天然ガスを投入せず軽油のみで運転し HC の低減を図る. 中負荷時は吸気を 70%程度まで絞り, 噴射タイミングを早期に設定して HC の増加を抑える. 高負荷に近づくにつれ吸気絞りを戻すとともに, 噴射タイミングを遅延化させてノック限界を拡大する. このような運転シーケンスを採用することにより, レトロフィットエンジンにおいて, 排気性能を改善できることが示された.

次に, 定置式のデュアルフュエルエンジンについての研究例が紹介された. ボア径が 300mm に達するような大型の定置式エンジンにおいては, 副室を設けて量論比近くの予混合気を導入し, 火花点火で火炎ジェットを発生させて主室の着火を行う方式などが多く採用されている. このような定置式エンジンは非常に高い (45.5%以上) 発電効率を示すが, 希薄予混合気にした場合に点火プラグの負担が大きいことが弱点である. このような希薄燃焼をおこなう定置式エンジンに対して, デュアルフュエル方式を採用し, コモンレールによりパイロット燃料を希薄予混合気中に噴射することにより燃焼改善を行う. これまでの研究では, パイロット燃料を早期(-50deg ATCD)で噴射すること, また 2 段噴射を行うことにより, HC および NOx の同時低減が図れることが報告されている. 総括当量比をパラメータとして実験を行うと, 当量比 0.4 以下においては熱効率が大きく低下し, 投入した軽油量の影響が大きく現れる. これは天然ガス予混合気での火炎伝播が十分に進まなくなるためと考えられる. このため, 総括当量比を 0.5 にして, まず噴射タイミングをパラメータとして単段噴射での実験を行った結果, 噴射タイミングを早期化することにより, 燃焼初期のスパイク状の熱発生率を回避し, NOx を低減できることが分かった. これは早期噴射することにより軽油蒸気が予混合気中に分散され, 希薄予混合気の燃焼促進につながったためと考えられる. よって, 噴射時期の早期化が NOx 低減に効果的であるが, 単段噴射では, 熱発生時期の遅延も同時に起きてしまう. そこで, 1 段目で軽油を分散させ, 2 段目で着火タイミングを制御できる 2 段噴射が有効である. 1 段目および 2 段目の噴射タイミングをパラメータとして実験を行ったところ, NOx と HC の両方を低減できるタイミング条件を見出すことができた. このときの熱発生率を詳しく見ると, 1 段目の噴射は主に主燃焼での熱発生率に影響を与え, 2 段目の噴射は熱発生開始時期に大きな影響を与えていることが分かった. 1 段目と 2 段目の噴射量を変えた実験では, 1 段目の噴射量が多いほど, 熱発生率の立ち上がりは緩やかになり, NOx および HC/CO が低減できるが, 2 段目噴射の噴射時期の範囲が狭くなることが分かった. また, 燃焼室形状を変えた実験では, スキッシュエリアを小

さくすることで、単段噴射においては HC/CO が低減できるが、2 段噴射においては有意な差は見られなかった。また噴射ノズルの仕様も、大きな影響を与えることはなかった。様々なパラメータを変化させて実験を行った結果、実験で用いたエンジンでは HC をある一定値以下にすることは困難であり、HC の低減には限界があるように見受けられた。この現象を、急速圧縮膨張装置で得られた実験結果から考察する。当量比 0.5 程度の希薄予混合気中に軽油を噴射して着火させた場合、軽油蒸気のない場所では発光が全く観察されない個所があることが分かった。当量比を 0.6 または 0.65 と増加させると、燃焼室全域で発光が見られることから、当量比が低い予混合気では、軽油蒸気存在が燃焼に不可欠ということが予想される。

Q.1 燃料はメタンガスなのか、それとも熱量調整された都市ガスなのか？

A.1 熱量調整された 13A の都市ガスである。

Q.2 エンジン回転数はいくらか？

A.2 2000rpm である。

Q.3 2 段噴射の場合、1 段目の噴射にはフュミゲーションの効果があるのではないか？

A.3 天然ガス 85%、軽油 15%程度の割合なので、一般的にフュミゲーションと呼ばれるものとは若干違うのではないかと思う。

Q.4 当量比を 0.2 程度まで低くした場合、天然ガスは燃焼しているのか？

A.5 当量比 0.2 で軽油噴射量 5mm^3 の条件では、C のうち 30%が HC、10%は CO の形で排出されており、ここから推測すると燃焼していないと思われる。

Q.6 軽油蒸気がない部分では燃焼が生じない現象が紹介されたが、火炎伝播できないような希薄予混合気では、広く火種が分布していることが重要と思われる。軽油は比較的短時間で蒸気となってしまいが、例えば重油のように揮発しにくく、より長時間液滴として残るような燃料種を用いた場合には、燃焼改善につながらないか？

A.6 可能性はあるかもしれない。火炎伝播するかしないかの希薄な予混合気では、火種に相当するものが広く均等に分布していることが重要だ。

Q.7 火種を広く分散させるという観点では、ノズルの仕様を変えると排気特性も変わりそうだが、実際はそうならないのはなぜか？

A.7 軽油を大量に投入すればノズルの差が現れると思うが、もともとのコンセプトとして軽油はせいぜい 5mm^3 程度しか噴射しないことになっているため、その差が見られなかったと考えられる。

Q.8 スワールを与えるとどのようなになるか？

A.8 着火遅れ時間が比較的長いため、強いスワールを与えると着火しない。

Q.9 HC 低減に限界があるとのことだが、これはクレビスの影響ではないのか？

A.9 クレビスの影響もあるとは思われるが、急速圧縮膨張装置での結果に見られるように、バルクで未燃となっている個所からの寄与も大きいと考える。

(2) ヤマハ発動機(株) 木下 久寿委員 (15:10-16:20)

「二輪用エンジンの現状とエタノール燃料対応」

要旨：

1. エンジン燃費改善開発

二輪の世界市場は 2012 年 5569 万台、ヤマハでは 600 万台。世界的にはアジアで主に伸びている。年収が 1000 \$ 超えると二輪車の普及が始まり、10000 \$ で四輪車の普及が始まる。

二輪車の普及率は先進国で低く 2~15%程度。イタリアが 15%と最も高い。日本は 10%程度。一方、発展途上国の普及率は高くタイでは 25%、今後インド、アフリカが伸びる。中国は二輪車よりも電動自転車が伸びている。

各国で二輪車の走りが異なる。インドネシアでは交差点前の信号待ちで多数の二輪車があふれている。2人乗り、4人乗り、タンDEM横座り、サンダル履きなどいろいろ。ブラジルではサンダルは禁止なので裸足で乗る人もいる。インドネシアでは頻繁に加減速し事故が多い。タイでは街中では加減速は中くらいで郊外では高速走行。ベトナムでは加減速はあまりなくスピードもあまりださない。自転車と同じスピード。学校の送り迎えが義務化しているのでバイクでお出迎えの姿が見られる。

ヤマハはこれまで走りにおけるプライオリティが高かった。近年、「キャブレタ仕様の走りの DNA はそのまま」をキャッチフレーズに燃費改善に取り組んでいる。

空冷、4ストローク、SOHC、2バルブ、排気量 114cc、ボアストローク = 50×58.9 、圧縮比 9.3 のエンジンの燃費改善。低負荷の燃費向上のため筒内流動強化システムとして YM-JET-FI を開発した。吸気管に吸気バイパス機構を付加。主吸気管に直列にスロットル弁を 2 枚搭載、低負荷時には小口径のバイパス吸気管に空気を流すことで低負荷時でも流動を強化。混合気形成の改善、燃焼特性の改善。燃費向上をねらった。

YMJET-FI は PFI に比べて強いタンブル流が形成。ななめタンブル流、タンブル比が高く最高タンブル比は約 3。

2. リーン限界 A/F を約 18.5 に伸長し燃焼期間を短縮。燃費 390g/kWh と通常 PFI に比べ 8% 燃費向上に成功した。アイドル時の燃焼が良くなり燃焼音が気になるようになった。このときの音は東南アジアでは故障時に起きる音というイメージがあるために燃焼を遅角し燃焼音を調整。

Q1: 燃焼がよくなっているのに THC が YMJET の方が多い理由は何か。オーバーラップの影響か? → 理由は明らかではないが、次の 2 点が考えられる。

- ・ YMJET の方がシミュレーション上では混合気分布のバラツキが少しある。
- ・ 燃焼が良い = スロットル閉じる = 内部 EGR 増加 = 未燃 HC 微増。

Q2: 2 スロットルで流動抵抗が増加し、出力が低下していないのか
→ 空気量はほとんど変化ないし、燃焼改善で出力増加した分もあり、出力は同等である。

Q3: 燃焼速度が速くなっている根拠は → 10% と 90% マスバーンから判断。

Q4: スロットルの構造はメカリンクか → そうだ

Q5: 燃料による冷却でアイドル時の充填効率上がるのか → あまり変わらない。インジェクタが燃焼室に近いので、低燃料流量時のインジェクタの温度上昇が厳しい。

Q6: アセアンの走行パターンは様々ということであるが、今回のエンジンを各国に共通して導入していくつもりか? → コスト高になるので、このエンジンが効果的な地域から導入する予定。

2. 世界のエタノール燃料状況

スウェーデン、フランス、米国、ブラジル、タイ等で E85 以上の高濃度エタノール燃料を導入。米国では E85 の販売スタンドは全スタンドの 1% 程度、値段がガソリンとほぼ同じなので普及しない。

ブラジルでは E25 が普及しているが E100 とエタノール 100% のものもある。タイは E85 を国として進めようとしており、E0 (ガソリン)、E10、E20、E85 の規格があるが E0 規格をなくす方針。フランスでは E85 は挫折。ガススタンドにあっても人々は給油に来ない。そのためガススタンドの普及状況も悪く悪循環。

もっとも普及しているのがブラジル。E22-E25 がレギュラー。その年のサトウキビの収穫状況と砂糖価格により濃度が 22 から 25% の幅をもつ。E100 は水を含んでおり、これが問題。E100 の場合にガソリンにくらべ 40% 燃焼消費量が多くなる。エタノール燃料はさとうきび工場に近い地域で安価になる。

四輪車は 94% が FFV の FLEX 車両。VW、GM、HONDA、トヨタが参入。

二輪車の FLEX 車は HONDA が 2009 年から発売開始して 6 モデル。YAMAHA は 2012 年から 1 モデルリリース。

二輪車は最大 204 万台の市場であるが 47% が FLEX 車。

3. FLEX 車の課題

ガソリンの理論空燃比が 14.6 に対し、E100 では 9.0。発熱量はガソリン 44MJ/kg に対し E100 では 26.8MJ/kg なので必要燃料量が多くなる。蒸気圧が低いので低温始動性が悪い。そのほか金属腐食、ゴム膨潤。親水性なので燃料が含水しやすい。共沸現象が発生 (E20 あたり) するため燃焼セッティングからのずれが発生するなどの課題がある。メリットはオクタン価が高いこと硫黄分が少ないこと。

最大の課題は低温始動性。10℃ のとき E100 はガソリンの 25 倍燃料量が必要。シリンダ内は E100 の液体だらけの状態となる。車の場合はガソリンタンクが別置きで低温始動のときはガソリンのみで始動。バイクでは別タンク搭載はできない。寒い日はガソリンを入れて運転することを推奨している。

4. ブラジルでの FLEX での課題

通常の FI システムと同等である。燃料変化は ECU が学習し運転を制御。材料対策実施。エタノールの価格メリットがある地域は気温が低い地域。寒い日は E80 相当になるようにガソリン混合を推奨 (ランプでお知らせ)。高エタノール濃度、低温時に暖機推奨目的でエンジン強制停止措置を付加。将来的には空気量制限、燃料加熱などに取り組む予定。コストが問題。

四輪車ではボッシュが燃料加熱グロープラグ式ヒーター (-5℃、4 秒加熱 5.6 秒で始動完了) デルファイがヒーターつきのインジェクタ (-5℃、約 6 秒加熱、セル 1.8 秒で始動) がある。

二輪車は FLEX 車の普及率が 47% (2012) に達し 2016 年には 75% 程度まで拡大見込み。課題は以下のとおり。

- ・ E100 燃料 15℃ 以下の始動
- ・ オクタン価のメリットの付加
- ・ 燃料系の信頼性向上とコストダウン

- ・オイルへの燃料希釈への影響
- ・燃料のゲル化対策。

Q1：米国、ブラジル以外の国のエタノール原料は何？

→フランスはいも、スウェーデンはわからない、タイはキャッサバいも。

Q2：エタノール濃度の検知方法は？

→O2センサーでストイキ運転し、濃度と理論A/Fの関係から学習する。ベースマップを数枚持っており、エタノール濃度に合わせて補完して運転する。

Q3：エタノールの始動性を改善するためYM-JETを使ったらどうか？

→トライしたが困難。蒸発はよくなるが温度があがらない。現在は空気量を減らして燃焼させる方法を模索中。最低限の燃料量で始動できる場所をトライしている。

Q4：始動性をイグニッションで工夫できないか？

→エネルギー量を多くする方法はあるが、20-30mJでやってもだめであった。

2. 事務連絡(16:20-16:30)

次回(第6回)は7/13(土) 名城大学で開催予定。研究室見学。

次々回(第7回)は10/12(土) 武豊火力発電所で開催予定。見学会を行う。

以上