

日 時： 2014 年 1 月 25 日(土) 13:30-17:00

場 所： 名城大学名駅サテライト (MSAT) 多目的室

出席者： 22 名

調尚孝(主査, 日本自動車部品総研)[追: 河野正顕], 新国哲也(講師, 交通安全環境研究所), 内田登(講師, 新エイシーイー), 田村守淑(幹事, 東邦ガス), 高橋周平(幹事, 岐阜大学), 大平哲也(スズキ), 大田篤治(トヨタ自動車), 駒田佳介(長崎大学), 佐々木覚(デンソー), 山川尚正(マツダ)[代: 飯田晋也], 中島公平(名城大学), 野田進(豊橋技術科学大学), 園比呂志(本田技術研究所)[追: 神尾純一], 中村俊秋(豊田自動織機), 高野孝義(豊田工業大学), 寺地淳(日産自動車), 木下久寿(ヤマハ発動機), 太田安彦(元名古屋工業大学), 内田睦(大阪ガス)[代: 佐古孝弘], 鬼頭俊介(豊田高専)

議事

1. 話題提供

(1) 交通安全環境研究所 新国 哲也氏 (13:30-15:00)

「電動化車両の今後の展開, 試験法について」

要旨:

電気自動車の試験法に関して, 交通安全環境研究所の新国哲也氏より話題提供を頂いた。電動化車両のメリットは走行中の排出ガスがないことであり, また, 自然エネルギーやシェールガスなどの多様なエネルギー源を, 発電を通して利用できる点である。一方で, 問題点として挙げられるのが, バッテリーのエネルギー密度が小さいという点である。たとえば Li-ion 電池は過去において将来的には 250Wh/kg のエネルギー密度を持つと期待されていたが, 現状ではこの値の半分程度に達するにすぎない。電気自動車の普及という観点では, 現時点はハイブリッド車が全体の 30%を占めるようになったものの, 電気自動車は 1 万台程度にとどまっている。量産型の EV, PHEV, HEV に関しては, 現状ではやや過熱感が去った感もあり, たとえば EV 関連企業が清算に追い込まれるなど, 残る企業と淘汰される企業とが表れ始めている。このような中で, バスなどの大型の EV も現れ始めており, これら EV の試験法をどのように決めるべきかが課題となってきた。

EV の公表性能としてまず挙げられるものは, ユーザー側から最も関心のある 1 充電当たりの走行距離である。また, 行政的には, 電力量消費率, いわゆる電費を, 内燃機関自動車の燃費と同じ様に公表することで, 電費のよい自動車をユーザーに選んでもらい全体としてのエネルギー効率を上げたいという狙いがある。よって, 1 充電走行距離と電費を公表することによって, ユーザーには自分の使用形態(平日の短距離走行か, 休日の長距離走行か, etc.)にあった自動車で, かつ, 電費のよい車を選択できるようにすることを目的としている。現在, 電気自動車の性能試験は, シャン台上で JC08 モードを用いて行われている。この試験法ではフル充電の EV を JC08 モードで繰り返し走行させ, 電池が消耗したら充電するという実験を行うため, すべてのデータを取得するのに 3 日ほどかかっている。目標とする車速や時間に対して $\pm 2\text{km/h}$, $\pm 1\text{s}$ という許容範囲があり, 電欠となりこの範囲を 4 秒以上逸脱すると試験終了として, そこまでの距離を 1 充電走行距離としている。電力量消費量は, コンセントから EV に入る電力を積分し, この電力を走行距離で割ることで電費を算出する。このため, 交流直流変換や充電の効率も電力量消費率に考慮されている。現試験法では, 電欠となるまで JC08 を 20~25 回繰り返す必要があり, このため試験時間が 7~8 時間かかっている。このため, この試験時間を減らし, かつ, 移行しやすい新試験法が求められている。この手段として, 単位時間当たりの電力使用量を増やす試みがあり, 具体的には, アイドリング時間を減らす, 高負荷試験にするといったことが挙げられる。JC08 では停止時間が全体の約 1/4 を占めるが, 内燃機関と異なり EV では, 例えばこの時間を圧縮することが検討されている。また, もう一つの案としては, 計算値から二次電池の容量を推定することも検討されている。現在, これらの案に対して, 実際の自動車に適応した場合の結果がどのようになるかといった試験を行う方向で議論が進んでいる。電気自動車の試験法に関しては, 国連の機関を通して国際基準調和を行う動きとなっており, 乗用車用の試験法に関しても, 前述の時間短縮法が議論される予定である。

Q.1 時間短縮した場合としない場合で, どの程度電費が異なるのか?

A.1 実際に試験を行ったところ, 2%ほど時間短縮試験を行ったほうが電費がよい結果となる。これを補正するのか許容するのかは今後の議論が必要である。

Q.2 試験において電池の劣化に関しては考慮されているのか?

A.2 現時点ではしていない。新品の電池を用いることを仮定している。劣化の影響をどのように評価するのかは重要である。

Q.3 AC200V で充電を行うとなっているが、これはユーザーにとっては一般的なのか？

A.3 充電は 100V でも 200V でも可能だ。新規ユーザーが 200V のソケットを導入することは、特に高いハードルでなく、問題はないと考えている。

Q.4 WLTP において上流側での CO2 排出は議論されているのか？

A.4 欧州においては各国で電力 MIX が異なるので、議論しない方向になっている。一方で、中国はライフサイクル的な評価を求めているという話もある。

Q.5 エネルギー供給の評価において、ソケットから供給された電力でなく、電池へ蓄えられたエネルギーをきちんと計測する必要があるのではないかと？

A.5 エンジニアリング的には、電池にどの程度のエネルギーが入っていったかを計測することが重要ではあるが、実際の計測は難しいところがあり、またユーザー側からの視点に立って試験法を制定するということもあり、ソケットからの電力量での判断となる。

Q.6 たとえばエアコンを使用した場合の電費なども考慮しているのか？

A.6 エアコン・暖房の使用、バッテリーの劣化なども考慮した試験法も議論する必要があるという意見は出ている。

また、EV の環境負荷への影響の評価も行っている。車両の中で、バッテリーは重量の約 20% を占めるため、バッテリーの環境負荷の影響が EV 特有の項目となる。バッテリー製造時の負荷としては、材料そのものと組み立てにおける電力消費量を考える必要がある。ガソリン車と比較した場合、走行時の CO2 排出量は当然低いが、バッテリー製造時のエネルギー使用量が高くなると、ガソリン車より環境負荷が低くなる時期が後半にずれ込むこととなり、バッテリー製造時のエネルギー使用量をどれだけ下げることができるかが重要であることが分かる。バッテリー劣化の影響であるが、バッテリーは劣化すると内部抵抗が次第に増加するという要因と、劣化により利便性が低下しユーザーがバッテリーを交換するという要因がある。内部抵抗の増加は、充電時の電力量増加につながり電費の低下につながると考えられる。ただし交通安全環境研究所の電気自動車を使った実験では走行距離の増加に対する、電費の変化は顕著でなかった。また、交通安全環境研究所がバッテリー試作メーカーに依頼して作成したりチウムイオンバッテリーを使い、実験的にバッテリーの性能劣化を予測したところ、バッテリーの容量は、7 万 km 走行すると 20% 程度低下するという結果が得られた。たとえばユーザーが 7 万 km 走行した時にバッテリー交換することを考慮すると、既存のガソリン車と比べて格段の優位性があるとはいえなくなる。このため、車の生涯を通じた総合的な評価が必要であるといえる。

Q.7 ガソリン車の製造時のエネルギー消費量はどのように算出しているのか？

A.7 本試算では、製造コスト全てが入っている。一方で EV のほうはバッテリー製造時のみのため、厳密に比較できるようにはなっていない。

Q.8 電池の価格は今後劇的に下がるということはあるのか？

A.8 現在は EV の出荷台数が非常に限られているので、大幅な低下は見込めないのであるが、EV の増加率は HV 登場時のそれを超えているので、今後が注目される。

Q.9 充電時間は今後短くなるのか？

A.9 充電ステーションの電力供給設備の問題もあり、一概に言えない。

Q.10 CO2 排出量という観点では EV はガソリン車とさほど変わらず、また、既存のガソリンエンジンの排出基準は、現時点でかなり高水準であるが、国としては EV をどのような位置づけとして考えているのか？

A.10 走行レンジなどにより適材適所的な割り当てを考えているようだ。

Q.11 1km あたりの走行コスト(値段)を出すことはしないのか？

A.11 電気料金は将来的に変わる要素でもあり、数字が独り歩きすることも懸念されるため、現時点では出していないが、たとえば米国ではユーザーが Web ページから試算できるようになっており、このような方向で公表することもよいと思われる。

(2) (株) エイシーイー 内田 登委員 (15:10-16:40)

「ディーゼル燃焼の高効率化コンセプト」

要旨：

新エイシーイーの紹介と内田氏が着任した 2012 年 4 月から内田氏が 2 年間の取り組みを中心に話題提供。

新エイシーイーはつくばの JARI の所在地に同居。1987 年に自動車関連メーカー 13 社出資が発足しディーゼル研究を 25 年間継続。現在単気筒エンジンベンチを 2 機所有。

着任後に研究方針を 3 つに整理。①将来の自動車用ディーゼル燃焼コンセプトの創出(発足時の目的と同じ) ②企業ではリスクが高く、大学単独ではハードルが高いテーマの解決 ③大学、研究機関との積極的な連携(共同研究、コンソーシアム)。将来課題の幅広い共有化と技術のボトムアップとした。

新エイシーイーでは、次世代ディーゼルに適用できる燃焼コンセプトを創出するだけでなく原理究明して多様な

エンジンへ適用できる現象の一般化することを目指している。

これまでエミッション低減がディーゼル燃焼の研究中心。国内の NOx は 0.4g/kWh、PM は 0.01g/kWh。米国では NOx=0.2g/kWh をさらに 75%低減し 0.05g/kWh という話もでており、エミッション低減の努力も引き続き必要であるがエミッション低減対応は排気後処理技術の進歩でひと段落し、燃費改善へと回帰している。国内の燃費規制は大型車向けが 2015 年、米国でも 2017 年にスタート。また、軽油価格の上昇も目標設定のモチベーションの一つ。

近年のエンジン基本設計はダウンサイジングによって低回転化、高トルク化しフリクション低減して燃費低減。従来の単段ターボだと低速域ではターボマップのサージラインに引っかかるので低速用と高速用の 2 段過給が主流となってきた。

米国の大型 GHG と 2017 年燃費規制案としては Class8 で燃費 20%削減。

燃費低減の取り組みとして米国 DOE で Super Truck Project を実施中。Cummins、DTNA、Navistar、Volvo が参画しエンジンは正味熱効率を 50%レベル（現状から 20%向上）が目標。50%超は難しく、ターボコンパウンドやランサイクルなどの排熱回生技術も不可欠な技術となってくる。

新エイシーイーとしては研究目標値としては正味熱効率 55%を設定。エンジンの歴史をみるとオットーサイクルからディーゼルサイクル、過給ディーゼルと新たなコンセプトで熱効率が飛躍的に向上しており、現在は 42%程度。ここから 55%に引き上げるにはやはり新コンセプトが必要。

熱効率=55%の可能性をオットーサイクル理論式から逆算すると理論的には今と損失が変わらないとしても圧縮比 30 以上が必要。但し、フリーピストンで圧縮比 30 の実施例では熱効率はそれほど上がっていない。比熱比の燃焼期間中のコントロールも検討したい。一方、熱効率が最も高い船用エンジンではディーゼルサイクルであり有効圧縮比は 14。また、内燃機関はカルノーサイクルでなくカルノー効率に規定されず、限界熱効率は 100%との理論もある。

熱効率 55%を目指す 2 つの攻め方としてサイクル仕事を増加させることと燃焼の不可逆性を除くその他損失を低減すること、またそれぞれは強い相関がある。NOx と PM がトレードオフの関係にあったように、正味熱効率の改善では図示燃費と損失総和がトレードオフ関係。

現状把握として LE55(1994)と HECC(2009)プロジェクトを調査。LE55 は正味熱効率 55%が目標で直列 6 気筒 100φ×160 のエンジンを選定。Pmax は 23MPa、船用より高い過給器効率 76%を用いた楽観的なシミュレーションを実施。

Cummins の HECC (High Efficiency Clean Combustion) 実機試験 (φ137×169) では 550HP で NOx 排出量 1.0⇒0.2g/bhph まで検討。エンジン単体熱効率 46%、ランキンサイクルで 50%超が目標。さまざまな検討を行い、顕著な効果があったのは VVA と過給機マッチング。

排気エネルギー回生も高効率化のポイントなので排気損失のエクセルギー解析を行ったが常用モードではほとんど排熱回生はできない。実際多気筒エンジンへのターボコンパウンドの採用で重量車燃費基準としては+0.1%取れるだけ。

エンジン冷却損失がねらい目と考えたのでヒートバランスを検討。エンジン回転数 800~1600rpm (ベース 1200rpm)、燃料量 115~130mm³/st、過給圧 191~276kPa、EGR 率 0~50%、吸気温 50℃、SOC は TDC の条件で燃料噴射圧、噴射時期、エンジン回転数の影響を検討。噴射圧の増加で排気損失が減少し、ポンプ駆動損失と壁面からの熱損失が増加。正味熱効率は最適値がある。噴射時期の進角により壁面からの熱損失は増加。エンジン回転数下げるとメカロス低減するが熱損失が増加。

低速化でメカロスは減るので低速で壁面損失を減らしたい。高 EGR 率による火炎温度の低下やマルチ噴射で壁面に火炎を衝突させない方法にトライ。

マルチ噴射における火炎の空間制御を行った。リエントランス型でない浅皿ピストンにおいて噴射火炎は外周壁に沿って燃えるので燃焼室中心近くに空気が残っている。マルチ噴射で外周壁に沿って燃えるメイン噴射火炎と中心部で燃えるアフタ噴射火炎に分割し、燃焼室中心部に残っている空気を使い空気利用率を上げてスモーク低減するとともに外周壁からの熱損失を低減。

EGR による燃費改善をボアスコープで観察し 2 色法で分析。EGR 率 60%で約 1800K まで火炎温度が低下しており熱効率が改善。

シングル噴射と 3 段噴射性能を比較すると 3 段噴射にて燃費が向上した。Woschni の式による熱損失履歴を評価したがシングルと 3 段で履歴はあまり変わらなかった。Woschni 式はローカルな壁面熱伝達の評価に課題。

2 色法解析においてクランク角度ごとの撮影画像を比較するとマルチ噴射ではシングルに比べ輝度が速く減少している。また、ピストン頂面の局所熱流束分布についてのシミュレーション結果においてもマルチ噴射で壁面への熱損失が減っている結果を得ている。

ヒートバランス解析するとマルチ噴射で壁面熱損失が減って熱効率向上しているが、排気に回っている部分も大きい。

排気損失として筒外に排出される前に仕事に変換する方法として高膨張比化が考えられる。但し、同時に幾何圧

縮比が増加し、Pmax 制約のため噴射時期を遅延し等容度が悪化したり燃焼室が小さくなるので火炎が筒内室壁に衝突して熱損失が増加し結果として燃費向上に繋がらない懸念がある。

そこで圧縮比と膨張比を独立に制御するサバテ・ミラーサイクルについて研究し理論式を導出した。

膨張比が圧縮比より大きい場合に熱効率は改善、かつ有効圧縮比が高い方が効率がよい。

膨張比/圧縮比= α が1よりも大きいところ、すなわち完全膨張（初期圧まで膨張する場合）の場合が理論熱効率は極大となる。その条件式を導いた。

国交省プロジェクトの多気筒エンジンでバルブタイミング変更してミラーサイクルを検討。デフォルトは有効膨張比が0.86と1を切っていたが $\alpha=1.02$ に変更。2.5%ポイント程度の理論効率向上が見込め、実際、燃料消費量改善としては幅広い運転領域で2~3%ぐらいは改善。

単筒エンジンでは、ベースの幾何圧縮比は18で有効圧縮比固定のまま膨張比を拡大すると図示および正味熱効率は上昇。有効圧縮比が10では膨張比を増加し $\alpha=1.8$ 程度で予混合的な燃焼となり、完全膨張に近くなり、図示効率はほぼ極大値をとる。

異なる幾何圧縮比でも有効圧縮比を同じとすると α に対して図示効率はほぼ同一曲線状に乗る。只、正味効率は幾何圧縮比が大きい方がフリクションは大きく図示効率程の効果は得られない。

図示熱効率は幾何圧縮比を22程度まで上げて最高57%（従来は52%）までになった。しかし、正味はポンプロスと機械損失により向上は抑制される。幾何圧縮比は30までやりたいと考えている。

目標とする正味熱効率55%は遠い。まず燃焼制御として筒内空間遮熱（EGRによる低温化）、高膨張比化が有効であるが機械損失、ポンピング損失を減らすことが必要。2スト、ロングストローク、低 λ 燃焼などいろいろ考えている。

新しい燃焼室コンセプト、新型燃焼室で空気利用率を向上し必要空気量を低減しポンプロス、機械損失を低減。燃焼系による改善例として、段付きリップで低速時と高速時で燃料分布を分け空気利用率の改善をCFDで検討し燃焼の等容度も改善した。

6年計画で正味効率55%を達成したいと計画していたが、現状は技術方向性が決定できた段階。今後現象の詳細把握と一般化（フリクション、噴霧混合、ポンピングロス、壁面熱伝達、燃焼化学反応）に取り組むが課題は山積しているものと認識。

Q1: ヒートバランス解析で冷却損失、フリクションはどのように評価しているのか。また、未燃分はどこに入っているのか。

⇒排気損失は排気マニフォールドの温度をベースに排気弁開時の排気エネルギーを計算で求めた。フリクションは図示仕事と正味仕事の差。投入エネルギー量から分析可能な量を差し引き残りが冷却損失とした。冷却損失の分析にはまだ課題がある。その他損失にまとめてあり、割合としてはごく小さい。

Q2 ボアスコープの有効性についてどのように考えているのか？

⇒実エンジン運転条件との一致や応答性を重視している。確かに、積算情報で空間情報がとれないことや視野が狭いので火炎がどこにあるかわからないデメリットもあるが。今後は、その他の手法と組み合わせで全体像を把握していく。

C1:大型船用ではそもそもボアが大きくロングストロークになっているので比較対象にはならない。かなりEGR入れて火炎温度を下げていることと圧力上昇率が小さいので境界層が厚いので熱損失が減っている。Wochini式は問題があり、火炎が壁にあたっているときの伝熱現象は定式化されていない。そこが解明されると新たな世界が出てくる可能性がある。

Q3 SOCが固定だがMBTで比較すべきではないか？

⇒燃焼時期、熱発生率形状（理論式における最適膨張比/圧縮比比率が固定）を同一で比較したかったため。

Q4 EGR率50%では2色法のKL値のクランク履歴はほぼ一定であるが60%のときにピークがあるのはなぜか？燃焼温度が低くなりすぎて現象が変わったのでは？

⇒着目していなかった。温度は1700℃程度で燃焼的には未だ悪くない。ボアスコープなので全体像はわからないので今後の課題。

2. 事務連絡(16:45-17:00)

次期研究会(内燃機関を改良する継続的技術に関する研究会)の案内、委員交代・新委員の紹介。

次回(第1回)は4/12(土) 名城大学名駅サテライト(MSAT)多目的室で開催予定。

3. 懇親会(17:30-19:30)

研究会終了後、2013年度懇親会を行った。20名の参加があり、相互の親睦を深めた。

以上