

日時： 2012年7月14日(土) 13:30-16:50

場所： 名城大学名駅サテライト (MSAT) 多目的室

出席者： 24名

調尚孝(主査, 日本自動車部品総研)[追: 河野正顕], 太田安彦(講師, 元名古屋工業大学), 佐々木覚(講師, デンソー), 高橋周平(幹事, 岐阜大学), 田村守淑(幹事, 東邦ガス), 小島晋爾(名城大学), 大平哲也(スズキ自動車), 内田睦(大阪ガス), 中村俊秋(豊田自動織機), 小池誠[追: 宮川浩], 寺地淳[代: 鶴島理史] (日産自動車), 高野孝義(豊田工業大学), 内田登(新エイシーイー), 中島大(日野自動車), 古谷正広(名古屋工業大学), 長谷川国生(元ダイハツ工業), 金子誠(富士重工), 加藤隆輔[代: 木下久寿](ヤマハ発動機), 井原真貴(岐阜大学), 鬼頭俊介(豊田高専), 中田浩一(トヨタ自動車), 駒田佳介(長崎大学)

議事

1. 事務連絡

COMODIA2012 ご案内

次回 10/27(土) 名城大学名駅サテライト (MSAT) 多目的室

2. 話題提供

(1) 名古屋工業大学 名誉教授 太田安彦先生 (13:40-15:10)

「自着火核発現の局所性と自着火での燃焼効率」

要旨:

均質予混合気の自着火現象は、本質的に不均質に発現する、というテーマで話題提供をいただいた。

本題に先立ち、前回の話題に関連した、熱管式 (Hot tube) の点火装置に関する考察をいただいた。熱管式の点火装置は、エンジンの端部に長い管を設置し、この部分を外部加熱する初期の内燃機関の点火方式である。一見、ディーゼルエンジンのグロープラグに似ているが、全く異なり、実際は HCCI 燃焼に非常に近い現象が生じていると考えられる。約 130 年前の点火方式が、現在の最新のエンジン燃焼技術にも通じる点は大変興味深い。

近年 HCCI 燃焼が注目されているが、この着火方式は、均質な予混合気の圧縮自着火である。HCCI 燃焼では、火花点火エンジンでは火炎伝播できないような希薄な予混合気を利用できることが特徴である。HCCI 燃焼が利用できる領域は、未燃ガス温度 vs 既燃ガス温度のグラフにおいて矩形に表わされる比較的狭い領域に存在する。この領域内においては HCCI はそれなりに利用できると考えられ、この領域をさらに広げようとするのは少々強欲である。それよりむしろ問題なのは、HCCI 燃焼においては、燃焼効率が従来のレシプロ内燃機関と比較してかなり低いという点である。従来の内燃機関においては燃焼効率は 99% 以上でほぼ 1 とみなせるが、HCCI 燃焼においては燃焼効率が 0.6 程度まで低下しうる。均質な予混合気から出発した自着火燃焼において、最終的にこのような燃焼効率の低下はどのように考えるべきか？また、HCCI 燃焼においては、高負荷側での早期点火に対して、成層的な温度分布を意図的に与えて dp/dt を緩和する手法も多く研究されている。この効果についても、私見を述べたい。

いわゆる Heavy knock 時には、未燃のエンドガス中に“カキ殻”状の火炎核が複数個できるこのことが報告されているが、この中で Detonation 状の高速伝播で発達するものは通常 1 つのみであり、これが発生することでピストンの焼損などが生じる。急速圧縮機を用いた実験でも、エンドガスから発達する火炎核は 1 つのみであり、しかも、このとき火炎は壁面から伝播して来るように見える。この過程を、さらに詳しく観察すると、圧縮後にまず Cool flame が現れるが、このときは燃焼室全体で比較的均質に Cool flame の核が見られる (米びつ状態)。しかし、この後、Blue flame へ移行する過程において、米びつ状態だった火炎核同士が合体して、急速に不均質な状態ができる。このとき、先に述べた“カキ殻”状のものが形成され、外側が白色、中が暗い構造となっている。他の研究では、感温色素を予混合気に混入して、レーザーを照射して温度分布の履歴を測定した報告がある。この報告では、反応が進み時間がたつと温度分布の組織が荒くなり、不均質さが増大する傾向が見られる。また、Blue flame 発生時の同時刻において、低温部で 800K、高温部で 1100K という 300K 程度の温度の不均一が存在することが示されている。このとき、高温部のスポット、低温部のスポットの両方が存在する。この温度の絶対値自体の信頼性は別にしても、これだけの温度差が均質予混合気から発生することは、自着火現象の不均質性が本質的であること (Packet nature) を示している。このことは、たとえば初期の予混合気に 20~30K 程度の温度勾配を与えた場合に、それがこの不均質性を超えて効果を現すのか、更なる議論が必要であることを示唆しているといえる。

また、予混合気に温度勾配を与えた場合には、火炎が Detonation like な伝播となり、knock 現象を生じるという研究報告があり、他にもこのような温度勾配の効果の計算を行った報告は多い。これらの解析には、通常、高温酸化反応 ($T > 1100K$) が用いられる。しかし、実際のエンジン内部においては、いわゆる着火形態 3 領域のすべてが“低

温着火”に相当するわけであり、1000/T 値が 0.9 にも達するような高温の初期状態は想定すべきでない。HCCI 燃焼は、これまでの内燃機関では利用されなかった環境・条件での燃焼であり、この点が従来の知識の延長では理解が難しい理由であるともいえる。計算においても解析においても、低温自着火時に発現する Packet nature の解明に焦点を向けることが重要である。

Q1 “カキ殻” 状の部分は熱炎なのか？

A1 熱炎になっているかどうかは不明である。

Q2 “カキ殻” 状の部分は高温着火なのかそれとも低温着火なのか？

A2 通常のエンジンの圧縮直後を模擬した実験なので、低温着火から発達した火炎が写っていると考えられる。

Q3 青炎と熱炎はどのように区別するのか？また熱炎は必ず青炎を経験しているのか？

A3 伝播炎がない場合はスペクトルで区別できるが、通常は伝播炎も重なってくるため区別できない。しかし、熱炎に至る前には必ず青炎を経験するはずだ。教科書的には $CO \rightarrow CO_2$ の反応が開始すると青炎から熱炎へ変化したといえる。

Q4 不均質のサイズはどの程度か？

A4 120mm のボア径で 5 つくらい存在するサイズなので、ウズラの卵程度である。

Q5 不均質のサイズは混合気の物性値や条件で決まるのか、それとも燃焼室のサイズなどが関係するのか？

A5 不明である。いままで得られた結果は、内燃機関のボア径程度のサイズを対象にしており、これをスケールアップしたものの現象へ拡大するのは危険である。

Q6 HCCI では 2 ストロークの物の方が、少ない火炎核から着火しているように感じているが、初めの核の数で knock の性質は変わるのか？

A6 現象の基本的な性質から議論する必要がある。従来の機関では着火すれば燃焼効率 100% 近くになるため、着火後にどのように燃えるのかが議論されてこなかった。HCCI では、着火後の挙動、特に不均質性の発現が重要であり、この部分に関しては、まだ十分な知見がないと考える。

Q7 自着火と火炎伝播との違いは何か？

A7 火炎帯におけるラジカルの供給の有無である。自着火の連続と火炎伝播は別のものと扱うべきだ。

(2) (株)デンソー パワートレイン機器事業グループ 特定開発室 佐々木 寛氏 (15:20-16:50)

「ディーゼル噴射系の進化」

要旨：

- ・今後とも排気規制、CO₂ 規制が強化される中、ガソリン車とハイブリッド車などは燃費低減、システムの簡素化を目指した技術開発が進む。逆に、ディーゼルは一般的には複雑化、燃費増加の方向でありデンソーではディーゼリボリューションと称し、超高压噴射系と燃料圧制御システムの開発を行い、燃費低減、システム簡素化に方向を目指している。
- ・将来ディーゼル車について NO_x は 70%、PM は 80%、CO は 30% の低減が必要。
- ・乗用車のディーゼル車のシェアについては EU で 50%、日本は 5~7% と推定。
- ・重量車ではディーゼルが主力でシェアは約 9 割が保持。
- ・超高压噴射系によるエミッション改善と燃料流量制御システム i-ART による噴射量ばらつき抑制により燃焼改善を行い、後処理システムを簡素化の取り組みを紹介。
- ・コモンレールシステムの噴射圧は 1995 年の第 1 世代は 120MPa、第 2 世代で 180MPa、第 3 世代で 200MPa と高圧化、またマルチ噴射が採用されてきた。第 4 世代では乗用車 250MPa、重量車では 300MPa が目標。
- ・超高压コンポーネントは耐圧設計と高効率噴射が課題であり、コスト、ロバスト性、高効率のバランスをとることが重要。
- ・噴射圧力の高圧化および高温化によりインジェクタでの燃料リーク量 (Q リーク量) が増加し、燃費劣化、燃料劣化、潤滑不良が問題となるため Q リーク量に低減に取り組んだ。第 3 世代では低圧と高圧通路が接続されていたが、第 4 世代では縁切りし、脱圧過程での燃料を抜く量も低減した。
- ・高圧ポンプのリーク低減については冷却パスを設置しシリンダを冷却し、第 3 世代では 80°C の燃料を高圧化すると樹脂耐熱温度 200°C に達するが第 4 世代では 300MPa としても -70°C 燃料温度を低下させて 120°C として容積率を 9% 向上させた。
- ・バイオ燃料は高温化すると酸化劣化するが、第 4 世代の噴射ポンプでは抑制できる。
- ・ポンプトルク 40% 低減、1.5% の燃費低減が可能。
- ・インジェクタの噴霧特性を比較すると従来より高圧化によって微粒化促進、ペネトレーションが強化され、空気過剰率を均一化して燃焼改善できる。単気筒 2.2L、過給圧 5bar、Pe=30kW/L のエンジン燃焼試験を行った結果、

220MPa から 300MPa の高圧化によって NO_x 排出量を一定に保持したまま、燃費低減、スートを低減可能。更に、燃料流量(1600cc→1400cc)、ノズル孔数(10→8)に適合させることで、スートを現状なみに改善も可能。

・ i-ART のコンセプトは気筒間の噴射量のばらつき抑制。燃料圧力と噴射流量は相関があり、燃料圧力に対してクローズドループを組んで噴射量を制御する。ECU の高速化と IC 集積技術の蓄積があって成立した技術であり、マルチ噴射の精度も向上。

・ i-ART で NO_x-PM のばらつき抑制が可能となり、適合の自由度が向上し燃費改善につながる。

・ 第4世代高圧噴射システムと i-ART により高拡散、強ペネトレーション、精度保障、生涯補償が可能となる。

Q1.エンジン燃焼試験で高圧化でもスート低減の効果がでていないようにみえる。また、300MPa 以上の高圧化の可能性はどうか。

→燃焼改善には混合気形成が重要であり、燃料噴霧の高圧化だけでなく燃焼室形状の組み合わせが必要。

Q2.燃料噴霧の高圧化により燃焼改善した後処理システムの簡素化の具体的なイメージは？

→DPF は残るが、SCR や DOC の触媒量の低減や省略をめざす。

Q3.エンジン燃焼試験は、DOE (実験計画法) ツールで行っているか。また、基準とした NO_x 排出量はいくらで、もっと低減できる可能性はあるか？

→DOE ツールで行っている。NO_x 基準は 0.4 g。NO_x 濃度 100ppm 程度である。

Q4.スートを現状なみに改善できた場合の燃費はどのくらいか

→今データの持ち合わせがない。

Q5. i-ART での補正後のサイクル遅れはどれくらいか？

→数サイクル遅れる。リアルタイムに次のサイクルに反映はしていない。

Q6. 制御量は何か？噴射率などを制御できるのか？

→通電時間であり、噴射率を制御するにはインジェクタ構造自体の変更が必要である。

Q7.i-ART はマツダ CX5 のような 5 回噴射などのマルチ噴射にも対応可能か？

→原理的には可能。

Q8.本システムはバイオ燃料でも対応可能か？

→対応は可能である。しかし、燃料性状が大きく変わった場合は、燃料性状検出が必要かも。

Q9.本システム制御は燃料圧を計測しているが、燃焼圧の計測の方がよいのではないか。

→センサー内でもいろいろな意見がある。個人的には、将来的に燃焼圧との組み合わせで更なる機能向上を図れると考える。

Q10.燃料圧のセンサは何を使っているのか？

→ コモンレールの圧力センサと同じものであり、精度的には問題ない。各気筒センサを相互チェックしており、信頼性も高いものとなっている。

Q11.各気筒ごとに i-ART を設置する必要はあるのか？

→設置数を減らすことも可能であるが、いろいろな考え方があると考える。

以上