

日時： 2008年2月2日(土) 13:30 - 16:50

場所： 名古屋国際センター 第1研修室

出席者： 39名

藤川 武敏(主査, 豊田中央研究所), 花村 克悟(講師, 東京工業大学), 都竹 広幸(講師, ヤマハ発動機), 塚原 映(講師, ヤマハ発動機), 青木 茂(豊田自動織機), 井原 禎貴(岐阜大学), 植田 隆広[追:中村 圭介](いすゞ中央研究所), 内田 登(日野自動車), 太田 安彦(元名古屋工業大学), 加藤 隆輔(ヤマハ発動機), 久保 賢明(日産自動車), 金子 誠(富士重工), 鬼頭 俊介(豊田工業高等専門学校), 桑原 一成(大阪工業大学), 斎藤 昭則, 小池 誠[追:白木 睦生, 大久保 陽一郎, 木下 雅夫](豊田中央研究所), 串田 丈夫[追:小掠 靖久](ボッシュ), 柴田 元(新日本石油), 調 尚孝[追:大道 重樹, 工藤 俊治, 中島 邦彦(ユニバンス)](日本自動車部品総合研究所), 園 比呂志(本田技術研究所), 高野 孝義(豊田工業大学), 高橋 周平(岐阜大学), 田村 守淑(東邦ガス), 野田 進(豊橋技術科学大学), 長谷川 国生(ダイハツ工業), 若井 和憲(岐阜大学), 鷺尾 修司[代:中井 俊作], 山本 茂雄(三菱自動車工業), 古谷 正広[追:佐々江 宏一, 加藤 裕一](幹事, 名古屋工業大学)[代:代理出席者][追:追加出席者]

議事：

#### 1. 連絡事項(13:30-13:40)

藤川主査より, 以下の連絡事項があった。

(1) 次期研究会について改めて報告があり, 野田 先生からご挨拶があった。

名称は継続. 主査は野田 進先生(豊橋技術科学大学), 幹事は大平 哲也様(スズキ)が新任, 古谷 正広先生(名古屋工業大学)が継続.

(2) 研究会として2008年年次大会での先端技術フォーラムを開催する旨の報告があった。

#### 2. 話題提供

(1) 東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター 花村克悟 教授(13:40-15:10)

「次世代のディーゼル後処理に向けて -DPFの可視化-」

要約：

まず炭素循環エネルギー研究センターの紹介があった。このセンターではCO<sub>2</sub>排出量低減を目的に ・太陽光利用 ・バイオマス ・化石燃料の高効率エネルギー変換 ・燃料電池 ・CO<sub>2</sub>隔離 等の研究を実施している。この中で、水素をはじめとした次のパワーソースにつながるまでの技術として、高効率な内燃機関であるディーゼルエンジンは極めて重要なエネルギー変換機器と言える。しかし問題はPMやNO<sub>x</sub>等の有害物質の排出量が多いことである。この解決のためにPMを捕集して再燃焼させるDPFが実用化されている。しかしその捕集や再生のメカニズムはほとんど明らかになっていない。今回、可視化装置を用いて実施したDPF内のPM挙動の解析結果を紹介する。

DPFの材質は大きく分けて酸化物系のコーセライト。非酸化物系のSiC、焼結金属の3種類があるが、現在一般に使われているのは前2者で、いずれもハニカム構造である。コーセライト製DPFは表面に100~200 $\mu$ m程度の大小不均一なクレーターが存在するが、内部ではこれらが大きさを変えながら蟻の巣状にネットワークを形成している。これに対してSiC製DPFは数十 $\mu$ mオーダーの粒子が焼結されているが、巨視的にはほぼ均質な構造となっている。

可視化実験では円柱形状のDPFを二つ割にし、流路壁を研磨で仕上げた後石英ガラスで蓋をした。ここに汎用ディーゼルエンジンの排気ガスを導きPMを堆積させた。次にバーナーの高温ガスをDPFに導き再生させ、これらの状況を種々のカメラで観察した。まず堆積状況を観察すると、排気ガス流入側に開いている流路に微粒子が堆積し、その隣の下流側に開いている流路にはほとんど堆積していないことが分かった。更に詳細に観察すると、通常使われている条件では微粒子はほとんど表面のクレーター部に堆積している。このようにクレーター部を微粒子が覆ってしまうため、DPFの圧力損失は堆積量に比例して比較的急に立ち上がる。その後はクレーター部に堆積した微粒子の周辺に堆積が広がってゆくが、それに対応して圧力損失増加の傾斜が緩やかになっている。

一方再生は、一般にDPFの入口側から着火し下流側に伝播して行くと思われていたが、実際には入口からある程度入った場所から着火し、それが上流側、下流側に伝播して行っていることが分かった。特に入口ガス温度が低い程着火点の位置が入口から離れる傾向にあった。これは高温ガスにより入口側の微粒子の反応が始まるものの、温度が低いとその反応は緩やかで少しずつガスの温度を上げることになる。このガス温度が微粒子の反応を活発にさせる閾値を超えた場所で急激な燃焼が始まり、それが起点となって上、下流に燃焼が伝播して行っていると考えられる。赤外線サーモビューアを用いた局所的な壁面温度履歴でも、ゆっくりと上昇してきた温度がある時刻で急激に上昇していることから裏付けられている。再生状態を拡大撮影してみると、再生も微粒子が堆積し易いクレーター部から始ま

り、それが周辺に広がって行くことが分かった。これはこのクレター部が周囲に比べ流路抵抗が少ないため、高温ガスが通過し易く再生の起点になったと考えられる。再生が進むとその部分の流路抵抗は更に下がるため、ガス流は更にそこを通過し易くなる。逆に再生が始まらなかった部分は、周囲からの燃焼の伝播、或いは母材の温度上昇を待って再生が始まるが、十分な温度に達しない場合これが再生不良として残ることになる。一方、ある程度再生が進んだ部分では、島状に残った未再生の微粒子がガス流に流され、はがれて飛んでゆく状況も確認できた。この塊は下流のどこかでまたトラップされ再生されると考えられる。

DPF の理想としては ・通り抜けが少ない ・表面ろ過への早い移行 ・圧力損失が少ない ・一様で速い再生、等が挙げられる。コーゼライトは圧損が少ないが捕集率が低い欠点がある。しかしここに微粒子が少しでも堆積すると、それによるフィルトレーションが起こり、通り抜けを阻止できる。この状態を最初から実現する手段として、DPF 壁面のクレター部にのみすすと同程度の粒径の粒子を付けることを考えた。同様なアイデアの物を実際に試作し、試験したという発表もあったが、このコンセプトを実証しており、今後のPM数規制にも対応できる有効な手法ではないかと考えられる。

可視化技術は定量的なデータは得られにくい。しかし観察することによって現象を理解し、それを基に次のDPFの構造や手法へと繋げることが出来る有効な手段と考える。

## 質疑

- Q1. 最後に理想のDPFの形態が示されたが、SiC製DPFはそのような構造を初めから持っているのではないか。
- A1. クレター部に付けたい粒子の大きさが数10nmオーダーに対し、SiCの気孔は30-40 $\mu\text{m}$ であり大きすぎる。
- Q2. その場合、圧力損失が大きくなるか。
- A2. コーゼライトに比べれば確かに圧力損失は大きくなるがSiCよりは小さく、低圧損と高捕集率を両立している。これは表面にのみ薄く付けるためである。
- Q3. 再生過程を見ると外部から母材を加熱して、その母材の温度を上げることによって再生が行われている、つまり母材温度が支配的なようだが、すすそのものが直接加熱されて再生し、それが拡がるというようなことは無いのか？
- A3. 確かにDPFの壁面にふんわりと付いているようすすは、高温の空気で加熱されて再生することもあるかもしれない。しかしすすの発熱量は小さいため、壁面に完全にトラップされているすすは、やはり母材の温度が上がらない限り再生は始まらない。
- Q4. 今回使用したDPFに触媒は付いているのか。触媒の有無で再生過程が変わることはないか。
- A4. 触媒はついていない。確かに触媒の有無で酸化の状況が変わることは予想される。触媒の付いている部分は低温で酸化が始まると考えられる。ただし、触媒もDPFの全面に塗布されているわけではないので、触媒の付いていない部分まで低温で酸化するとは思われない。このあたりは今後実験してゆく予定である。ただ問題は、触媒付きのDPFを実験した場合、それを供給していただいた企業との関係で、結果をオープンにできないことである。
- Q5. 再生の途中で脱離したすすが再度トラップされて再生してゆくという現象は捉えられているか。
- A5. 観察視野が限られているので実際にそこまでは観察されていない。しかし実機では後部にたまりすぎたすすが燃えて温度が上がり、DPFを溶損してしまうこともある。
- Q6. クレター部が起点になってすすのトラップが行われているようだが、人為的にクレターを作りそこにだけ触媒を塗って効率的に再生するという考えはどうか。
- A6. アメリカのメーカーでコーゼライトでは無くアルミナチタニアでそのような物が出来たという話も聞く。しかしそれを狙ってやっているのかどうかは定かではない。
- Q7. コーゼライトもSiCもすすの捕集は主に表面で行われているとのことであるが、壁の中で捕集することは難しいのか。そうだとすると400 $\mu\text{m}$ という壁厚は必要ないのではないか。
- A7. 現状のコーゼライトやSiCでは壁の中で捕集するのは難しく、気孔率の制御等の技術が必要と思われる。400 $\mu\text{m}$ の壁厚はトラップの点からでは無く、構造体として成り立つために必要かもしれない。また、ナノパーティクルが移動中に壁面と1回はコンタクトするために、400 $\mu\text{m}$ の行程が必要という意見もある。
- Q8. 今回見せて頂いたのはドライスートの挙動のようだが、SOFを多く含むスートとの違いはあるか。
- A8. きちんとした比較は行っていないが、エンジンを低負荷で回すとドライスートではなく燃料や潤滑油が主体のものがDPFに付着し、再生時も低い温度でそれが消えてゆく。このことから考えるとSOFを含んだPMの場合、300 $^{\circ}\text{C}$ 程度でまずSOF分が反応し、その後600 $^{\circ}\text{C}$ 位でスートが反応するという2段階の反応になることが予想される。
- Q9. すずサイズの影響は見ているか。
- A9. 現在計画中であるがまだ見ていない。一般にすす粒子の平均粒径は100nm程度と言われている。非常に大きな粒径のすすがあれば、まずそれがトラップされそれが起点になって表層ろ過で捕集効率が高まると予想される。逆に小さい粒径のすすの場合ブラウン運動でトラップされやすくなる。ちょうど平均粒径程度のすすが来た場合、それらの作用が働きにくくすり抜けが多くなると考えられる。
- Q10. 今回は軸方向の挙動がメインだったが、半径方向の分布はどうか。
- A10. 半径方向で最も問題になるのは温度分布である。中心付近は温度が高いが周辺部分は熱損失で温度が低くなる。

軸方向に温度分布が生じても流れによって上流の高温領域が下流に伝わって行くが、半径方向ではその効果も期待できない。そのため周辺部分の再生は遅れる傾向があり、中心部だけの圧力損失から再生を止めてしまうと周辺部に再生されないすすが残ることになる。

## (2) ヤマハ発動機 都竹 広幸 氏 (15:30-16:10)

### 「小型エンジンへの Fi 応用による燃費改善技術」

要約：

最近の大型モータサイクル

今年度のモデルでは 180 馬力、パワーウェイトレシオは 1 kg を切る程の高出力ユニットを搭載しており、その出力を得るためのデバイスを数多く搭載している。例えば電子制御インテーク (YCC-I)、電子制御スロットル (YCC-T)、排気制御 (EXUP) などである。EXUP は排気管長可変装置であり、1980 年代から搭載している。

二輪生産と各国での概要

2006 年度の全世界での二輪車生産台数は 3900 万台で、その 3 分の 4 は 100-150 cc の小型コンピュータであり、大型は数 % 程度である。小型コンピュータに対しての環境対応が急がれる。世界の二輪市場はこの 10 年で 2 倍以上増加しており、特に ASEAN (特にインドネシア、ベトナム) とインドでの増加が著しい。これらの地域では小型コンピュータが多い。

二輪排出ガス規制とその対応

二輪車排出ガス規制は 1990 年後半から導入され始め、この 10 年で 3 回の規制強化が行われた。現状は EU3 であり、NO<sub>x</sub> が 0.15 g/km、HC については排気量 150 cc 以上では 0.3 g/km、CO は 2 g/km である。国内での規制値もほぼ EU3 と同じである。これら排出ガス規制は国内、欧州、タイなどで導入されている。その他の国々でも EU1 や EU2 レベルでの導入が予想されている。

二輪車には燃費向上と環境性能という強い要求に(1) 走行性能、レスポンス向上 (2) 快適性の追求 (3) 耐久・信頼性向上が付け加わる。これらの要求に対して二輪車では自動車に比べて格段に低いコストで実現しなければならない。我々はシステムを集約化することで専用コンポーネントを新規開発し、小型化と省エネルギー化している。次にその一例を紹介する。

Fi 応用による低燃費技術例 (M-Jet)

M-Jet は燃焼改善、リーン限界の向上、燃料応答性の向上とポート流量係数との両立を目指している。このユニットは二つのバタフライ弁 (ファースト、セカンド) と噴射弁とから構成される。副通路を通して噴射口の直近に微粒化用の空気を供給する。

M-Jet と Air-Assist での噴霧粒径 (LDSA) を計測したところ、M-Jet の方が 10 分の 1 以下に微粒化されていることが確認された。PIV 測定によって M-Jet を装着することで筒内流動が強化されることがわかっている。動力試験によって M-Jet は燃費向上とリーン限界拡大を獲得することが示されている。高速 FID を用いて燃料の壁面付着量を計測したところ、M-Jet の有効性を確認した。

まとめ

小型コンピュータ領域で環境負荷低減を勧める必要がある。その対応策として、低負荷域での微粒化と筒内流動強化をあわせ持つ M-Jet システムを開発し、燃焼改善とリーン限界拡張による燃費向上効果を確認した。

質疑

Q1. M-Jet はコンベンショナルな噴射弁での噴射圧よりも高いのか。

A1. 同じである。

Q2. 同じ噴射弁であるにも関わらず、タンブルが強化されるのはなぜか。

A2. 中間負荷域での吸気はほとんどが空気は副通路からの空気であり、副通路からの偏流がタンブル流を形成する。

Q6. M-Jet でリーン限界に近づけば燃料消費は増加する理由はなにか。

A6. 自動車のリーバーン機関と同じで、燃焼が不安定になるためであろう。

Q5. M-Jet では NO<sub>x</sub> は増加するか。

A5. 増加する。

Q6. A/F の制御はしているのか。

A6. 小型では数は少ないが、酸素センサーを装着したものもある。

Q7. オービタルのようにエアアシスト噴射弁との差異はどのようなものか。

A7. 微粒化の程度ではほぼ同じである。M-Jet では吸気管に付けているのでコストは低い。

## (3) ヤマハ発動機 塚原 映氏 (16:10-17:00)

### 「吸排気バルブ表面を含むイオンプローブによる筒内噴射ガソリンエンジンにおける

## 火炎伝播計測とノッキング挙動解析」

要約：

ガソリンエンジンの筒内ノッキング挙動を解明するために、吸排気バルブ表面を含む燃焼室表面にイオンプローブを配置して火炎伝播を精密計測するとともに、燃焼室内 2ヶ所に燃焼圧センサーを配置してノッキング振幅の位相差を利用してノッキング発生位置を特定する手法で、ノッキングに及ぼす空燃比とエンジン冷却水出口水温の影響を調査したので紹介する。

イオンプローブは点火プラグを中心に同心円状に、さらに吸排気バルブ表面にも設置し、計 92 本とした。さらに、二つの燃焼圧センサーを燃焼室内に配置し、ノッキング発生箇所から到達するノッキング振幅立ち上がりタイミングの位相差を計測した。この位相差と、イオンプローブで計測された火炎面位置から、ノッキング発生位置が特定可能である。試験機関は排気量 0.58L、圧縮比 12.5 の単気筒エンジンで、回転数 2000rpm で全負荷運転とした。空燃比を 10.5、12.5 および 14.5 とした場合、TDC 時期の火炎面積は順に小さくなっており、火炎伝播が遅くなっていることがわかる。また、いずれの場合も火炎形状は吸排方向に垂直な楕円となっている。CFD を用いた解析では、乱れ強度の分布が同様の分布となっている。一方、同一ノックレベルとなるようにそれぞれの空燃比で進角調整した場合、空燃比が 10.5 では吸排気方向に均等な火炎伝播であるが、それより希薄な条件では排気側に偏った火炎位置となる。とくにノッキング強度の強いサイクルを選んで比較すると、空燃比の違いによる特徴は見出し難い。逆に、ノッキングが吸気スキッシュ部で共通して発生することがわかる。エンジン冷却水出口水温を 80、90 および 100°C とした場合、ノッキングレベルが中レベル同等となるように進角調整した条件では、火炎伝播速度への水温の影響はほとんどないことが分かった。

質疑

Q1. 乱れ強度の違いは温度によるものか。単位は何か。u' と同じものと考えて良いのか。

A1. 筒内直噴であるため、噴射燃料量の違いが乱れに影響していると考えている。単位は $m^2/s^2$ 。(3方向速度成分の変動値の合計)<sup>2</sup>である。

Q2. イオンプローブは燃焼室表面からどれくらい露出しているのか。

A2. 0.1~0.2mm 程度である。

Q3. ノッキング振幅の位相差によるノッキング位置特定方法には、局所温度を考慮しているのか。

A3. していない。代表温度を用いている。

Q4. ノッキングと気柱振動は対応していると考えているか。

A4. 今回の条件ではそう考えている。

### 3. 懇親会 (東天紅名古屋店 17:20 - 19:00)

研究会終了後、2007 年度懇親会を行った。話題提供者である花村先生を含めて、19 名の参加があり、和やかな雰囲気の中、相互の親睦を深めた。

以上