

日時： 2013年10月12日(土) 13:00-17:00

場所： 中部電力(株)武豊火力発電所

出席者： 20名

調尚孝(主査, 日本自動車部品総研)[追：金原賢治, 河野正顕], 芹澤毅(ダイハツ工業, 講師), 高橋周平(幹事, 岐阜大学), 田村守淑(幹事, 東邦ガス), 中田浩一(トヨタ自動車)[追：太田篤治], 寺地淳(日産自動車), 太田安彦(元名古屋工業大学), 大平哲也(スズキ), 高野孝義(豊田工業大学), 野田進(豊橋技術科学大学), 山川正尚(マツダ)[追：井上淳], 小池誠(トヨタ中央研究所), 佐々木覚(デンソー), 園比呂志(本田技研)[代：小林慎一], 中村俊秋(豊田自動車機), 長谷川国夫(元ダイハツ工業)

## 議事

### 1. メガソーラーたけとよ見学(13:00-15:30)

メガソーラーたけとよ, 武豊火力発電所の見学を行った。

### 2. 話題提供

#### (1) ダイハツ工業株式会社 久留米開発センター 芹澤毅氏 (15:30-17:00)

「強力着火システムとマイクロ波プラズマによる燃焼支援」

要旨：

#### <研究背景>

プラズマを使った強力着火システム（アクティブ着火と呼んでいる）とマイクロ波プラズマによる燃焼支援について情報提供があった。

ダイハツや大学等の6者で実施したNEDO実証フェーズの研究開発の成果も発表。

軽自動車の燃費はハイブリッドに劣るためEGR燃焼で効率向上が研究の動機。課題となる燃焼改善策として体積着火に可能性のあるアクティブ着火に取り組む。

以前、イオン電流を検知による燃焼制御に取り組んでおり、HCCIで応用に取り組んでいた。通常の印加電圧75Vでは検知が難しく2.4kV以上なら検出が可能になった。このシステムで昇圧していくとプラズマが発生し今回の技術のきっかけとなった。

#### <アクティブ着火の燃焼特性>

アクティブ着火では周波数30kHz、印加エネルギーとして40mJ、3ms程度でプラズマ発生しOH、N<sub>2</sub>、O等のラジカルのため誘導放電より白く発光する。

マイクロ波プラズマの周波数は2.45GHz。高周波の場合とは立ち上がりが違う。この原理は逆制動放射過程による電子ビリヤードによる。電子揺らぎができて衝突確率が増加。高周波よりマイクロ波電解はピッチが小さいのでこのような効果ができているものと考えている。

高周波型の着火では強い電界領域はプラグ内狭い領域に限定され燃焼室内の流れにプラズマは流される。

流動を付加できる定容燃焼可視化装置においてアクティブ着火単体性能試験を実施。100mA限界で高周波を印加、流速は10、15、45m/s。アクティブ着火は通常点火で失火する高速流の中でも着火性がよいことを確認。また、燃焼生成物によって電極間抵抗が低くなるので放電が一旦途切れても再放電が可能。流速45m/sにおける着火も確認できた。

1L、3気筒のエンジン試験を実施。条件は周波数500kHz、印加時間0.5、1.0ms。A/F=25程度まで希薄限界は伸び燃費も向上。只、ストイキ付近で燃費が悪化。

#### <アクティブ着火のストイキ燃焼特性>

量論比でノーマル点火よりアクティブ点火の燃費が悪化する阻害要因を検討。

点火装置では逆流防止ダイオードにて半波整流しており、混合中の荷電粒子へ影響する可能性がある。これまでは電極消耗が少ないマイナス電圧印加で検討してきたがマイナス電圧印加とプラス電圧印加の違いに着目。マイナス電圧印加の場合、中心電極から陽イオンを引き付けるのに対し、プラス電圧印加の場合は逆となる。

可視化してみるとストイキの場合、アクティブ点火より従来点火の方が火炎の広がりが早く燃焼性がよくなっている。

プラス電圧印加では逆にアクティブ点火の方が燃焼性改善。但し、リーン側でNO<sub>x</sub>が多少増えた。

#### <Q&A>

Q アクティブ着火はリーン限界や放電継続状態は変わらないのでエンドガスまでには影響が及ばないのか。⇒ご指摘のとおり燃焼の初期にしか影響がない。

Q シュリーレン試験の圧力は？⇒大気圧

Q 流速は従来と比べどれくらい速くできるか？⇒ 定量的には話せない。2割増しではないか。

Q 流れ方向の影響はあるか？⇒3極プラグをつかっており、流れの方向を考慮し設置している。

Q アクティブ着火ではプラグに抵抗を入れているか。⇒入れている。

### <アクティブ着火の EGR 影響>

次に EGR の影響だが、熱効率向上効果を制限するエンジン運転領域があった。

中高負荷の回転数が高い場合（1940rpm）の燃費は改善し希釈限界も伸びるのに対し、軽負荷の回転が低い場合（1460rpm）は希釈限界が伸びるが燃費が改善しなかった。軽負荷では点火進角して燃焼を維持しており等容度の低下、冷却損失増加、燃費向上効果の制限によって燃費が低下した。中高負荷点では回転数が高いところでは、 $\theta 50$  は膨張行程側であり燃費改善につながる。最初の点火だけかんばってもだめな運転条件がある。

次に未燃分 HC、CO 増大について検討を実施。EGR 率の増加にともない燃焼変動は低下していても HC と CO の排出レベルは増大した。

投入エネルギーと COV の関係は投入エネルギー50、100、150mJ ではほぼ 100mJ で飽和。A/F リーン化について周波数の影響はみられなかったので 500 kHz とした。

また、高周波印加時期と Pmax の関係を調べたが着火前後だけ影響。

### <Q&A>

Q アクティブ着火は流動に強いので、流動強化により軽負荷条件の改善が可能ではないか？⇒現状エンジンのタンブル比はすでに高く量産品での流動改善は困難。

Q アクティブ着火は様々な可能性あるものと考えが見通しは？

⇒中高負荷条件の使用が多い軽自動車なら燃費改善に効果があるが、軽負荷条件が主体の一般車では不向きと考えている。

### <マイクロ波システム>

マイクロ波の伝送において導波管は市販品がある。導波管では磁界と電界ともそれぞれの影響をほとんど受けない場所があり。磁場だけの場所で電圧印加してもプラズマはできない。電場の影響が大きい。エネルギーとしては 80W でプラズマ発生し、点火と同じ程度のエネルギーレベル。

当初、3台の電子レンジのマグネトロンをつかっていた。半導体メーカーと携帯用の部品を活用して試作。車両用として使うためには法的整備が必要で総務省と相談中。

エネルギー量を 500mJ から 100mJ 低減。デューティ駆動、高速バースト制御可能にしている。印加周波数は 2.45GHz、100mm×100mm の小型化を実施。点火用と高周波印加用を同一線で行うミキシング方式を採用。

導波管内で火花放電後にマイクロ波でプラズマ発生する試験を実施。プラズマ発生では OH、N ラジカル等が見られるが、マイクロ波印加を止めても熱プラズマが発生する場合があります。デューティ制御してあげないと電極が消耗するので使い物にならない。熱プラズマについては分光分析で Ni、Fe がでてくるのを確認している。

マイクロ波プラズマ印加系を組み込んだ点火装置を製作し定容容器で試験を行い可視化した。通常点火では火炎核から伝搬するのに対し、プラズマ印加ではプラグ付近を覆う比較的広い領域で白いプラズマ発光が見られ、その中を火炎が伝搬していく。マスバーン量が増え、燃焼速度が速くなった。

次にエンジン試験を実施。プラズマ印加時間は 1ms と 5ms。5ms は上死点付近までマイクロ波を印加することとなる。1ms では通常点火と違いが見られなかったが 5ms で COV の安定、IMEP や Pmax の増加などの効果。初期の火炎核成長に影響しているのではなく、反応領域での緩慢な燃焼の促進に寄与しているものと考えている。

### <まとめ>

1. 大量 EGR に効果あるか⇒運転点による。
2. 抑制する要因はなにか⇒マイナス印加では陽イオンがプラグ中心部に集積し火炎伝搬を阻害。プラス印加では逆の効果を確認。
3. マイクロ波アシスト⇒長時間印加効果がある。

EGR 拡大には効果はあるが本質的に緩慢燃焼をアシストすることはできないのでマイクロ波を燃焼室に拡大していかななくてはならない。但し化学エネルギーをアシストするためにはかなり大量エネルギーを短期間にいれる制御技術を確立する必要があり、大きな課題となる。

### <Q&A>

Q 定容容器試験で電極が溶損についてスペクトル分析しているか。

⇒条件によっては溶けている。2msec を超えると 500mJ の条件で Ni 発光する。

実際は、マイクロ波の反射波が入ってこなければ印加出力を下げる制御をする。

Q マイクロ波のエネルギー密度はどれくらいか？

⇒計測できないのでシミュレーションの結果を参考とするしかない。容器寸法に対しマイクロ波の定在波が解析できるか疑問に感じており、精度確認できていないので答えられない。

C 高 EGR 燃焼では燃焼反応が低下する所謂スポンジ領域で活性なものを導入できるかがキー。どのように入れるのか？また、発光が真っ赤かときはケミカルでは無理で熱そのものではないか。

Q マイクロ波印加による燃焼促進アシストのデータをもっと教えてほしい

⇒NEDO 事業に一部であり、来年 2 月公開予定。

Q 燃費にマイクロ波の投入エネルギーを考慮しているか？

⇒使われていない回生エネルギーをマイクロ波印加エネルギーに使えばよいと考えている。

Q 大気圧ではプラズマが広がる。燃焼条件と圧力を合わせるべきではないか。

⇒やりたいのは山々だが設備上困難。

### 3. 事務連絡(15:10-15:20)

次回(第 8 回)は 1/25(土)に、名城大学名駅サテライト (MSAT) 多目的室で開催。懇親会を行う予定。

以上