

日時：2006年 5月20日(土) 13:30 - 16:50

場所：名古屋国際センター 第3研修室

出席者：31名

藤川 武敏 (主査, 豊田中央研究所), 高木靖雄(講師, 武蔵工業大学), 守谷隆史 (講師, 本田技術研究所), 青木 茂 [追: 宮崎 幸保], (豊田自動織機), 伊東 輝行 (日産自動車), 井原 禎貴 (岐阜大学), 植田 隆広 [追: 石山 日出夫](いすゞ中央研究所), 加藤 正明 [追: 増田 様](デンソー), 加藤 隆輔 (ヤマハ発動機), 金子 誠 (富士重工), 小池 誠, 斎藤 昭則 [追: 大久保 陽一郎] (豊田中央研究所), 柴田 元(新日本石油株式会社), 高野 孝義 (豊田工業大学), 竹野 忠夫 (名城大学), 田村 守淑 (東邦ガス), 中田 浩一 (トヨタ自動車), 野田 進 (豊橋技術科学大学), 堀 政彦 (日本自動車研究所), 真弓 和久 (トヨタタービンアンドシステム), 守家 浩二 (大阪ガス), 吉富 和宣 (日野自動車), 若井 和憲 (岐阜大学), 調 尚孝 [代: 塩澤 方浩](日本自動車部品総合研究所), 大平 哲也 [代: 森本 一彦, 河村 和宏](スズキ), 古谷 正広 (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(13:30-13:35)

「限界熱効率をめざす内燃機関研究会」の2005年度活動報告が本研究会開催に先立ち、藤川幹事から行われた。

(1) 活動報告

第12回 2005年3月26日 名古屋国際センター (27名参加)

相澤 哲哉 先生 (東京工業大学), 青柳 友三 氏 (新エイシーイー)

懇親会 (20名参加)

第13回 2005年5月21日 名古屋国際センター (29名参加)

村瀬 英一 先生 (九州大学), 端無 憲 氏 (デンソー)

第14回 2005年8月20日 名古屋国際センター (32名参加)

梅村 章 先生 (名古屋大学), 串田 丈夫 委員, 前田 薫 氏, 松本 圭右 氏 (ボッシュオートモーティブシステム)

第15回 2005年11月18日 東邦ガス 総合技術研究所 (26名参加)

田村 守淑 委員 (東邦ガス), 東邦ガス 総合技術研究所 見学

第16回 2006年2月11日 名古屋国際センター (37名参加)

脇坂 和行 先生 (大阪市立大学), 野村 佳洋 氏 (豊田中央研究所)

懇親会 (22名参加)

(2) 決算報告

「持続可能な社会のためのエンジン技術研究会」の藤川主査から就任挨拶と、実施計画について説明があった。

開催日程 (8月, 11月, 2月) と話題提供の予定

委員の移動 (佐見委員の退任)

2. 話題提供

(1) 武蔵工業大学 高木 靖雄 先生 (13:40-15:10)

「燃料電池自動車と水素インフラ開発の現状と課題」

要約:

燃料電池とは何か、なぜ燃料電池が期待されているのか、自動車用燃料電池の現状と問題点および水素のインフラについて述べる。

背景:

自然界のバランスが保持できない程に二酸化炭素やフロンなどが排出され、環境破壊が問題となってきている。実際に、海抜2メートルのツバル島では、道路が海水で溢れ水没の危機に瀕している。地球温暖化防止のための二酸化炭素削減、大気環境の保全、エネルギー保全いわゆる資源枯渇対策を背景として、燃料電池が要求されている。

燃料電池の分類とその特徴(特に固体高分子形):

燃料電池には電解質の種類によって、固体高分子形、アルカリ形、リン酸形、熔融炭酸塩形、固体酸化形がある。そのうち固体高分子型燃料電池(PEFC)が現在自動車用に使用すべく検討が進められている。自動車用に使用できる可能性がある。リン酸形や熔融炭酸塩形、固体酸化形燃料電池は、作動温度が200-800℃と高いため自動車用には使用

できない。またアルカリ形は作動温度が低いものの、電解質が液体のため自動車用には不向きである。

PEFC の作動温度は 100 °C 以下と低く、リン酸形や炭酸塩形、アルカリ形燃料電池のように特殊な電解質溶液が不要である上、エネルギー利用率が高い。しかし低温反応ゆえの課題もある。白金触媒やプロトン伝導用の水、燃料の純水素が必要であり、CO や硫黄など不純物の影響も大きい。その構造は、固体高分子膜の両側を炭素と白金触媒の電極が覆い、さらに炭素のガス拡散層と炭素もしくは金属製のセパレータが挟んでいる。ひとつのセル厚さはおよそ 50 μm である。理論効率は約 1.3 V であるが、実際は約 0.8 V まで低下するため積層して使用する。水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)セミナーの資料によれば、燃料電池の燃費(10・15 モード)は現在ガソリンの場合の2倍近く、将来的には2倍以上になるとされている。

内燃機関との比較 熱効率:

熱効率について内燃機関と比較する。圧縮比 10 としたオットーサイクル(空気サイクル)の理論熱効率が 0.60、正味熱効率が 0.23 となるのに対して、燃料電池では、それぞれ 0.83, 0.47 となる。内燃機関の理論熱効率が燃料電池と同じになるためには、圧縮比が 84 となればよいが実用上の制約がある。燃料電池にも内燃機関の損失に相当するものがある。高分子膜をプロトンが通過することに伴う抵抗など分極と呼ばれる一連の損失により、1.23 V の電圧が 0.7 V となる。これらの損失を考えると、オットーサイクルと燃料電池の図示熱効率はほぼ等しいオーダとなる。

内燃機関との比較 排気組成:

環境面に関しては、内燃機関では高温のため窒素酸化物が排出されるのに対して、燃料電池は実際の作動温度が 70-80 °C と低く窒素酸化物は生成されない。この点が燃料電池の利点である。燃料電池は内燃機関と比べ高効率であり、低エミッション性と静粛性に優れている。

内燃機関との比較 走行距離:

JHFC の実証試験結果を示す。これまで4年間の累積でこれまで4年間の累積で走行距離は乗用車が 30 万 km、バスが 14 万 km、水素供給量は乗用車が 8.3 t、バスが 15 t であった。平均車速に対する燃料電池の燃費(10・15 モードの水素消費率)は、ハイブリッド自動車よりも優れておりガソリンエンジン自動車の場合と比較すると2倍強である。

課題:

DOE が公表した 2010 年の目標値に対して、出力や効率などの項目はすでに達成しているが、白金使用量やコスト、耐久性の問題が残る。現状を紹介すると白金は世界の年間生産量その生産量すべてを利用する分量が必要となり、コストは目標値の3倍となっている。

まとめ:

効率など基本的なことが明らかになりつつある段階であって課題は多いといえる。具体的には、車載燃料貯蔵やコストの低減、高分子膜の耐久性向上、燃料供給インフラに関する問題が残されている。

現在、各国の法規制整備(解釈を含む)が進められており、世界に目を向けるとバスや乗用車を中心に実証試験が行われている。日本では燃料電池実用化推進戦略委員会より、燃料電池普及目標が示され JHFC が推進している。インフラ整備として関東地区に 10 基、愛・地球博会場に 2 基の水素ステーションが建設された。また天然ガスを利用した近未来水素供給システムが考えられている。首都圏のような天然ガスパイプを整備し、ガソリンスタンド毎に水素を供給する On-site の方法と、都市規模で水素を作り供給するセントラルステーションという方式がある。将来的には天然ガスに代わり水やバイオマスを利用して水素を得る方法も考えられている。

化石燃料が枯渇する時代が到来することは明らかであり、水素を使う社会にしていかなければならない。

質疑

Q1. 10・15 モードではなく、高速道路を走行した場合の燃費はどうなるか。

A1. 燃料電池自動車の場合には低負荷の方が高効率となるため、高負荷である高速走行では燃費の差は縮まる。しかし逆転することは難しい。

Q2. 自動車としては動力が欲しい訳であるが、燃料電池を使って動力を得るという構造は二重にならないか。

A2. 効率か何かで矛盾しなければよいのではないかと。電気を動力に変える効率は悪くても 90 % 程度あり、それほど損失が大きい訳ではないため不合理性はない。

Q3. リットルあたり出力 50 kW という社会になることが前提であるのか

A3. これは DOE の出した値であり、日本のメーカーも使用していないし私自身も納得していない。実際には 100 kW 近くは必要であると考え。50 kW で車がどれだけ走るかと言えば十分ではないと思う。走らないと思う。

Q4. 移動手段にそれぞれが出力 50 kW でよいという社会を考えるならば、今の内燃機関でよいのではないかと。

- A4. 思考パターンの変革,つまり今の価値判断を変える必要がある。1回の充電で100kmしか走らない自動車でも、セカンドカーとして駅までの通勤に利用するのであれば問題ないし、十分機能し得る。
- Q5. 熱の半分ぐらいは捨てなければならぬと思うがどうしているか。
- A5. システムとして冷却は考えられている。それを含めても現在の熱効率45%はでている。
- Q6. 燃料から直接動力を取り出す必要があるのではないか。
- A6. 熱エネルギーを変換する現在のシステムよりも、燃料を電子に変えてモーターを回すシステムの方が効率よく合理的である。燃料電池は燃料から直接動力(電流)を取り出していると考えてよい。
- Q7. 原動機は同じことをひとつずつするために、外燃機関から内燃機関に移行した訳であるが、燃料電池は外燃機関と同じものではないか。
- A7. 二段になっているという考えはしたことはないし、むしろ一元化されていると理解している。取り出すエネルギーが電子であり、それによりモーターを回すことはより合理的である。モーターを否定すると、現在のシステムは成り立たない。電子エンジンでもできない限り無理である。

(2) 本田技術研究所 守谷隆史 氏(15:40-16:50)

「ホンダにおける燃料電池自動車の開発」

要約:

自動車の普及と共に大気汚染の深刻化、CO₂ 排出量増大による地球温暖化、更に将来的にはエネルギー枯渇の可能性が指摘されている。これらの問題を同時に解決できる有力な技術の一つとして、ホンダでは燃料電池車(FCV)の研究、開発を進めている。

使用しているのは固体高分子形で、原理は1837年にイギリスで発明されたものである。イオン交換膜は・プロトンの移動・水素と酸素の直接反応を防ぐガスバリア・電気絶縁体等の機能が要求されるキー技術である。近年デュポン等で耐久性が高いイオン交換膜が作られるようになり、それに伴って性能が向上してきている。単体のセルで得られる電圧は、電流を取り出さない状態で約1Vと低いため、高い電圧を得るにはこれを積層して燃料電池スタックとして使用する。自動車用には通常400~500枚積層したものが使われる。一方電流はセルの面積に比例する。すなわち燃料電池スタックのサイズそのものが出力(電流 x 電圧)になる。またこの電流-電圧特性が燃料電池スタックの性能曲線となり、取り出す電流が大きくなるほど電圧が低下する右下がりの特性になる。水素が持つエネルギーから、取り出せる電力を除いた部分は熱として放出する必要がある。内燃機関で排気ロスとして捨てる場合、ガス温度は500-700℃と高いため、自然に逃げて行く部分が少なくない。しかし燃料電池は作動温度が70-80℃と低いため、全熱量を捨てるためには大型の放熱器が必要となる。このような冷却系をはじめ、空気供給用コンプレッサー・インタークーラー、燃料系タンク・調圧装置・ポンプ、駆動用モーター、制御用 ECU 等は内燃機関で使われているものに近い技術が多く用いられている。燃料電池スタックはさすがに電気化学の分野であるが、それ以外の技術は機械系の仕事かなりの部分を占めている。

ホンダでは1980年代後半からFCVの基礎研究をスタートし、1999年に最初の試作車FCX-V1を発表した。当初は水素吸蔵合金を使用したり、メタノール燃料を改質する、等の方法を試行したが2001年のFCX-V3より高压水素タンク方式を採用している。この高压タンクは天然ガス自動車で培った技術が使われている。またモーターは電気自動車EV-PLUSの技術、エネルギーマネージメントはハイブリッド車の技術、というように、さまざまな技術の融合がFCVにつながっている。

次に最新のFCX '05年モデルの技術について紹介する。水素貯蔵は350気圧の高压水素タンクで燃料電池スタックの最高出力は86kW、モーターの最高出力は80kWである。この差が補機の駆動動力となる。モーターの最大トルクは272Nmで、これは3リッタークラスのガソリンエンジンに相当する。最高速度は150km/h、航続距離はLA4モードで430kmである。エネルギーストレージにはウルトラキャパシタを使用している。バッテリーが化学変化で蓄電するのに対し、ウルトラキャパシタは物理的に電子を吸着するもので、蓄電量は少ないが耐久性があると同時に、瞬時に高出力が出せるという特徴がある。発進、加速時等の条件下では、燃料電池スタック自体は応答性が高いものの、水素や空気の応答遅れがあるため、FC出力は徐々に増加させ不足分をウルトラキャパシタでアシストする、という制御を行なっている。これによりガソリンミドルサイズの車両と同等の発進加速を得ることができる。

FCスタックに関しては当初バラード社製のものでスタートしたが、ホンダ独自の次世代型FCスタックを2005年に発表している。この大きな特徴は従来のカーボン製セパレーターを金属プレス製にしたこと、及び電解質膜を従来のフッ素系ではなくHC系であるアロマティック電界質膜としたことで、これらは世界初である。これらの技術により、まず体積、重量の両出力密度を共に従来の2倍に高めることができた。更に従来電界質膜で制限されていた最高使用温度を80℃から95℃まで上げることができ、ラジエーターを小型化することができた。一方新FCスタックでは低温始動性も向上している。低温になると①電界質膜の水素イオン導電性が低下②セパレーターの接触抵抗が増加③生成した水が凍結等の問題で始動が困難になる。新FCスタックでは新電界質膜の採用で①の膜抵抗を1/2に低減、セパレーターに金属プレスを使うこと

で②を1/4に低減,更にヒートマスが小さくなったために昇温時間を1/5に短縮し③の水の凍結を防止,等の対策で-20°Cの寒冷地でも始動可能となっており,各地で実証試験も実施した. これら数々の改良により'05年モデルは'03年モデルに比べCityモードで22%, Highwayモードで11%の燃費向上を果たし,航続距離も19%延ばすことができた.

最後にFCVの技術課題を述べる. 既に述べたようにパワープラントの性能向上や小型・軽量化,或いは低温始動性や高温時の排熱等の環境性能については,十分では無いもののがかなり見通しが立ってきていると言える. 一方数千時間の耐久信頼性や積層型FCスタックの品質管理は,まだまだ難しい問題である. 更にコスト低減も大きな問題である. このためには白金使用量の削減や大量生産技術の確立が必須と言える. 航続距離を確保するための水素貯蔵技術に関しては,現在の手法である・水素吸蔵合金・液体水素貯蔵・高圧水素貯蔵のいずれの方式にも課題が多く,これに関しては今後革新的な技術が必要と考える. 更に「水素は危険」という一般概念も,水素社会に変えてゆく上では変革してゆく必要がある. 実際ホンダではFCVに対してガソリン車ではパスできないレベルの・発火試験・落下試験・火炎暴露試験・銃撃試験等を実施し,その安全性を確認している. 但しFCVが現在の内燃機関自動車と全ての面で同等のレベルになるには,少なくとも10~20年は必要と考えられる.

インフラの整備に関しては,高木先生の話と重複するので割愛するが,ホンダとしては家庭用の水素ステーションの研究も行っている. 一つは太陽電池で発電した電気で水素製造を行うもの. もう一つは都市ガスを家庭で改質し水素を得るもので,この場合はエネルギー利用効率向上のために,家庭にもコージェネ型燃料電池を設置し,給電と給湯を行う. これら製造した水素を家庭設置の小型水素スタンドでFCVに供給するというもので,現在このシステムの課題や問題点を探っているところである.

質疑

Q1. 膜を改良して-20°Cでスタックとしては機能しても,水そのものが凍ってしまうのではないか.

A1. 電解液は希硫酸になっているので,鉛電池と同じで電解液自体は凍結しない.

Q2. そうすると生成した水が凍結することが問題か. その水の温度は反応熱で上げるのか.

A2. そうである. 燃料電池の反応は発熱反応なので,如何に熱容量を小さくして速やかに水の温度を上げるかが重要.

Q3. 私算であるが,2002年頃のFCVの発熱量当たり走行距離を同等サイズのガソリン車と比べると,Tank to wheelでは勝っているがWell to wheelでは劣っているのではないか.

A3. どのような車両と比較するかが難しいが,Well to wheelでもガソリン車に負けているということは無い. 但し効率が良いハイブリッド車とは,現状はほぼ同等レベルと言える.

Q4. 航続距離に関して言うと,車両の大きさや定員が異なっているにも拘らずこのメーカーの車両も350km程度になっているのは何故か.

A4. 他社の事は良く分からない. 但し我々の値はEPAという公的な機関の評価値である.

Q5. 燃費測定の場合,バッテリー(キャパシター)分はどう扱っているのか.

A5. バッテリーを使った場合,測定の最初と最後にSOC(State of charge)を100%に調整するという難しい問題がある. しかしキャパシターは容量が小さいため,必ずSOCは100%になるので特に問題は無い.

Q6. 白金のリサイクルはどう考えているのか. リサイクルプロセスに大量のエネルギーが必要だと問題であろう.

A6. リサイクルは必須なのでサプライヤーと一緒に考えているし,ラボレベルでは実施している. また白金使用量を下げてゆくことも当然重要である. ただリサイクルに要するエネルギーまで現段階ではケアするに至っていない.

Q7. 例えば-20°Cで車両を停止したときに,水が配管に残らないようにパージ等を行う必要があるのか.

A7. 配管内については通常の車両と同じである. 問題はスタックでパージの必要がある.

Q8. FCスタックは500枚もの積層構造になっており,電力集中や応力集中等で全てが同じように働くとは信じられないが,大丈夫なのか.

A8. 確かにそこは大きな問題で,この部分を如何にクリアーするかということが実用化の一つの鍵でもあり,真剣に取り組んでいるところである.