OS5-1 燃料電池車用ジメチルエーテル低温水蒸気改質器の開発

松田直彦^{*1}, 八木克記^{*2}
野島 繁^{*2}, 鈴木信市^{*3}

Development of DME Autothermal Reforming System for Fuel cell Vehicles

Naohiko MATSUDA^{*1}, Katsuki YAGI^{*2},
Shigeru NOJIMA^{*2} and Shinichi SUZUKI^{*3}

^{*1,2} Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Technical Headquarters Hiroshima Research & Development Center 6-22, 4-Chome, Karomshinmachi, Nishiku, Hiroshima 733-8553 Japan.

^{*3} Japan Oil Gas and Metal National Corporation, 1310 Oniyarcho, Saiwaiku, Kawasaki city, Kanagawa, 212-8554 Japan

Dimethyl ether (DME) is suitable fuel for onboard reforming. We have developed 30kW autothermal onboard DME reformer. This reformer is packed in 50liters. The load change response is under 10 seconds and CO concentration in reformed gas is kept under 10 ppm. In addition to these experiments, we have developed a DME reforming FC simulator. By inputting experimental data of reformer, we have got required battery size, fuel consumption. Through these experiments and simulation, we have evaluated the convenience of onboard DME reforming system for fuel cell vehicles.

Key Words: DME, Fuel cell, Reformer

1. 緒 論

燃料電池は、将来の自動車用動力として有望視され数々の開発が行われている。しかし、燃料電池の燃料である水素を車上で貯蔵する方法が課題である。現在、自動車メーカーでは圧縮水素方式を中心的に採用しているが、航続距離を伸ばすための車搭タンク高圧化、水素スタンド設置など課題が多い。

一方、オンボード改質方法は、改質器の応答性の課題はあるものの、液体燃料使用により上記問題が解決出来る。図1にオンボード改質の基本構成を示す。燃料を改質器で水素含有ガスに変換し、燃料電池へ供給、発電する。燃料電池からの残水素は、改質器の熱源として再利用する。また、燃料電池とモーターの間には2次電池があり、改質器の応答遅れを補完する役目を担う。

図1 オンボード改質の基本構成

現在、石油代替エネルギーとして生産がおこなわれつつあるジメチルエーテルは、オンボード改質の燃料として以下の点に優れている。

- ① 硫黄分を含まないために脱硫器が不要。
- ② 低温度 (約 400°C) で改質が可能。
- ③ 常温、低圧 (約 0.4Mpa) で液体貯蔵が出来る。
- ④ LPG スタンドインフラ流用可能

本報告では、このジメチルエーテルを燃料とした車載用改質器の開発状況を報告する。

筆者らが採用した改質の方法は内部加熱型で、改質反応に必要な熱を、原料に混入した酸素とジメチルエーテルとの反応熱で供給する方法であり、伝熱面積

*原稿受付 2006年5月19日。

*1 正員、三菱重工業(株) 広島研究所 (〒733-8553 広島市西区観音新町46-22)。

*2 三菱重工業(株) 広島研究所 (〒733-8553 広島市西区観音新町46-22)。

*3 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大倉町1310 希ミュージア川崎セントラルタワー5階)

が不要で改質器をコンパクトにでき、応答性も速い利点がある。改質器の基本構成を図2に示す。まず、蒸発器で水蒸気を発生、ジメチルエーテルと内部防熱用空気を混入させて改質触媒へ流入して主に水素を生成。次に、CO シフト触媒、CO 除去触媒を配置し、ガス中のCO 濃度を随時低減させて、最終的に 10ppm 以下にして燃料電池へ供給する。

各触媒での反応を式1～4に示す。

図2 改質器の基本構成

(改質触媒内での反応)

(CO シフト触媒での反応)

(CO 除去触媒での反応)

使用する改質触媒は銅、アルミナベースで、耐久性を考慮すると触媒温度は最大 500℃に抑えたい。筆者らは、この問題に対して図3に示す2段空気供給方法を開発して、改質触媒温度を低減することに成功した。1段で内部防熱用空気を供給した時は、すべての空気を一度に流入するために、触媒入口温度が上昇して約700℃まで到達する。

一方、2段空気供給方法では、改質触媒を2段に分割して、それぞれの入口で空気を供給するために、温度上昇が分割されて、触媒温度を 500℃以下に抑制することが出来た。

図3 2段空気供給方法の構造

図4 2段空気供給法による触媒温度分布

2 改質器の構成

開発した改質器の基本構成と概観写真を図5に示す。コンパクト性を向上させるために、蒸発器とバーナーを改質触媒部に内蔵し、CO シフト触媒とCO 除去触媒は一体化してある。基本仕様は表1に示すように、サイズ 50L 以下で 30kWe 発電相当の水素 425NL/min を発生させる。

図5 改質器の基本構成

表1 改質器の仕様

項目	仕様
サイズ	42L
重量	58k g
発生水素量	425NL/min
負荷応答性	負荷範囲 36~100% 36→100% : 10秒 100→36% : 5秒
起動時間	常温から 10分 3分停止後リスタート 1分

3. 負荷応答特性

車載改質器には、車での運用を考えると可能な限り速い応答が要求さ、同時に燃料電池被毒を起こす CO の濃度を 10ppm 以下にする必要がある。もし CO 濃度が増大すれば、燃料電池の電圧が著しく低下して、発電電力の低下、燃料電池の寿命低下を招く。開発した改質器の応答特性を、前述記載の表 1 に併記する。

図 6 に本改質器を連続的に 10 回負荷変動させたときの改質器出口 CO 濃度変動を示す。

若干の CO 濃度変化はみられるものの、常に CO10ppm 以下に抑えることが出来ている。

図6 連続負荷変動時の CO 濃度変化

負荷 UP/DOWN でのガス流量の変動を図 7、8 に示す。負荷 UP 時には水蒸気流量 UP に多少の遅れが見られるが、約 10 秒以内には負荷 100% 相当の水蒸気流量に到達し、それにあわせて原料 DME を増大することで改質ガス流量を 100% まで増大することが出来る。

一方、負荷 Down 時は、蒸発器からの水蒸気量低下速度がさらに速く、約 5 秒で改質ガスを低負荷まで低減することが出来る。

図7 負荷 UP 時の流量変化

図8 負荷 Down 時の流量変化

4. 改質器の起動方法

車載改質器には起動が遅い問題がある。改質器は触媒を収納した容器であり、この触媒を所定の温度にしなければ CO10ppm 以下の水素ガス生成は不可能である。内部防熱型改質器は、触媒内の発熱で熱供給するために熱伝達面を持ち合わせていない。これは改質器のコンパクト化に優位であるが、逆に昇温手段がないことを示す。

この課題に対して筆者らは、酸素レスガスを触媒に直接流入することで解決した。図 9 にそのシステム概要を示す。本システムでは空気比 0.7~0.8 の条件でバーナーを燃焼させ、表 2 に示す酸素濃度の低いガスを発生させ、触媒に流入する。

図 10 にこの方法で実施した各触媒の昇温履歴を示す。試験では約 10 分で各触媒が反応に適切な温度に到達することを確認した。

図9 酸素レスバーナーの昇温システム

表2 酸素レスバーナーの排ガス組成

ガス成分	濃度(% Dry)
H ₂	85
CH ₄	0.1
O ₂	0.2
CO	10.6
CO ₂	8.0
DME	0.0
N ₂	70.1

図10 起動バーナーによる改質器内触媒昇温結果

5. 車載シミュレーション

筆者らは、改質器本体の開発のみでなく改質器を燃料電池車でどのように運用するかを評価するために、車載シミュレーションも実施している。図11にそのシミュレーションモデル概略を示す。燃料電池からの電力過不足を補完する形で2次電池を設置してある。

シミュレーションでは、主に2つの項目を評価している。

- ① 改質器起動、燃料電池発電までの間に車を動かすための2次電池容量

- ② 10-15モード、LA-4モードで負荷運転した場合の2次電池、改質器＝燃料電池発電のそれぞれの負担状態

図12には、LA-4モード運転時の車速、モーター要求電力、燃料電池発電電力の計算例を示す。

図11 車載シミュレーションモデル

図12 LA-4モードでの負荷変動計算例

6. 結言

現在までに、前述の応答性をもつ改質器を開発した。今後は、以下の項目を更に進める。

- ① 起動時間の短縮による2次電池容量の低減
- ② 改質器本体の更なるコンパクト化
- ③ 車載シミュレーションによる運転条件最適化

□最後に、この研究は、独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構の委託研究で平成15年から平成19年の4ヵ年計画で実施しており、大阪ガス株式会社、日揮株式会社、三菱ガス化学株式会社、ルネッサンス・エナジー・リサーチ株式会社との共同研究により実施している。