

部分酸化改質法による水素製造技術の開発

(新燃横浜研究室) 安斉巖、水野康、定兼修、杉浦行寛、犬飼敏男、上野精一

1. 研究開発の目的

灯油等の液体燃料から水素を製造する方法として、水蒸気改質、自己熱改質、部分酸化改質がある。水蒸気改質は、燃料電池を含め各種工業プロセスへの適用例が多く技術的にも確立されているが、触媒が硫黄による影響を受け易いため、改質前に原料を高度に脱硫する必要がある。また改質反応が大きな吸熱であるため外部加熱機器が大掛かりになり、脱硫処理と合わせてシステム全体が大きくなり、そのため起動時間も長いといった課題がある。自己熱改質は、反応器内で燃料の一部を燃焼させ改質反応の吸熱を補完する方式のため、外部加熱機器の小型化や起動時間の短縮を図れる可能性はあるが、触媒が硫黄により劣化し易いため、水蒸気改質と同様に改質前の脱硫処理が必要である。一方、部分酸化改質は酸化反応による発熱で熱自立させるため理想的には外部加熱機器は不要となり、また反応温度が比較的高温のため触媒は硫黄の影響を受け難く、脱硫は改質後に簡便に処理できる可能性がある。これらの特徴から部分酸化改質による水素製造法は、システムの簡素化、起動時間の短縮といったメリットが期待されるものの、技術的には大型ガス化プラント等での実用例がある程度で、装置の小型化や燃料電池への適用はまだ十分に検討されていない。本研究開発では、燃料電池への適用を目的に部分酸化改質による水素製造技術の研究開発を行う。

2. 研究開発の内容

表1に平成12年度からの5年間の研究開発工程を示す。当初2年間は触媒を用いない部分酸化改質方式の検討を実施したが、1kW級の熱自立型反応器を製作し各種条件で検討を行った結果、無触媒で改質反応を行わせるには1000℃以上の高温が必要であり、NO_xの発生、反応器の耐熱性、高温維持のための高空気/燃料比による水素濃度の減少(N₂稀釈)といった課題が抽出された。そこで平成14年度から、反応温度を下げるために触媒を用いた部分酸化改質方式に変更し、未脱硫灯油を直接改質処理するための耐硫黄性触媒の探索研究を開始した。昨年度までの研究で、適切な貴金属種を選択することにより、改質活性が高くかつ硫黄劣化が小さい触媒を見出すことができた。本年度は触媒改良を行うとともに、加速試験による耐久性の確認、1kW級熱自立型改質器による性能検証、改質ガス中の硫黄化合物の除去とCOの低減方法、改質ガスの燃料電池発電特性、ならびにシミュレーションによるシステム設計について研究を実施した。以下に、各検討項目について概要を示す。

2.1 部分酸化改質触媒の探索

昨年度、各種遷移金属ならびに貴金属を活性種とする触媒を試作し、未脱硫灯油による評価試験を行った結果、適切な貴金属を選択することにより硫黄劣化の小さい触媒を見出すことが出来た。一方、灯油転化率100%を得るためには、空気/燃料比としてO₂/C=1程度が必要であり、改質ガス中の水素濃度が低いといった課題があった。そこで本年度は、硫黄耐久性を維持させるとともに、低O₂/Cでも灯油を100%転化できる触媒探索を目標に、昨年度の触媒をベースに改良研究を実施した。なおO₂/Cとして、燃料電池改質ガスとして実用的な水素濃度が得られる0.5を目標とした。次に改良触媒について、未脱硫灯油を原料としLHSV加速条件により

1000時間相当の寿命確認を目標に、耐久性試験を実施した。

2.2 部分酸化改質ガスの精製方法検討

昨年度の研究で、未脱硫灯油を原料として部分酸化改質を行った場合、硫黄化合物は改質ガス中に H_2S および COS として排出されることが確認された。部分酸化改質ガスを燃料電池 (PEFC) 燃料として使う場合、 CO 除去触媒 (変成、選択酸化) ならびに燃料電池本体への影響から、これらの硫黄化合物は改質後に除去しなければならない。そこで本年度は改質ガス中のこれらの硫黄化合物を除去する方法を検討した。脱硫目標として、SCD による H_2S および COS の検出限界以下 (0.02ppb 未満) とした。次に硫黄化合物除去後の改質ガス中の CO について、燃料電池許容濃度以下 (10ppm 未満) とするための検討を実施した。以上の検討により、改質ガス中の硫黄化合物ならびに CO を上記レベルまで低減できれば、部分酸化改質ガスを燃料電池燃料として利用できると判断する。

2.3 部分酸化改質ガスの PEFC 発電特性評価

部分酸化改質ガス中の硫黄化合物を除去し、続いて CO を変成、選択酸化処理で 10ppm 以下に低減したガスについて、1kW 級 PEFC スタックを用いて発電特性を評価した。部分酸化改質ガスは、水蒸気改質、自己熱改質に比べ水素濃度が低いために、発電効率が低下する可能性が想定される。各種改質方式を想定した模擬ガスにより、発電性能を比較評価した。また評価結果については、下記 2.5 燃料電池システム設計に反映させた。

2.4 1kW級改質器による部分酸化改質特性評価

実用機を想定した熱自立型の 1kW 級改質器に試作触媒を充填し、起動性能、水素製造効率を評価した。部分酸化改質は外部加熱が不要であることから、機動時間が短いことが期待される。この起動性を検証するとともに、改良触媒による $O_2/C=0.5$ 条件での灯油転化率 100% ならびに水素製造効率 70% の達成を目標に評価を行った。

2.5 燃料電池システム設計

前述の 2.2 から 2.4 の結果をもとに各反応器ならびに燃料電池の条件を設定し、プロセスシミュレーターを用いて 1kW 級燃料電池システムの設計を行った。プロセスフローとして改質、脱硫、変成、選択酸化、PEFC、オフガス燃焼、排熱温水回収を設定、各反応器に適した温度バランスが取れるか否かにより、部分酸化改質を用いた燃料電池システム構成可否を検証した。また発電効率、熱回収状況といったシステム性能を評価した。

表1 開発全体計画

項目	H12	H13	H14	H15	H16
無触媒部分酸化改質の検討					
触媒部分酸化改質の検討					
触媒探索					
改質触媒改良					
改質ガス精製方法の検討					
システム検討					

3. 研究開発の結果

3.1 部分酸化改質触媒の探索

図 1 に昨年度の試作触媒の性能を示す。昨年度の試作触媒は硫黄に対する耐久性は有していたが、改質活性が十分ではなく、原料灯油を 100% 転化させるためには $O_2/C=1$ とする必要があった。一方 $O_2/C=1$ では改質ガス中の水素濃度が低く、改質効率が低い結果となった。そこで本年度は、昨年度の試作触媒に対し耐硫黄性を損なわずに改質活性を向上させるため、担持貴金属の増量とともに分散性の向上と担体に第 3 成分を添加する検討を行った。

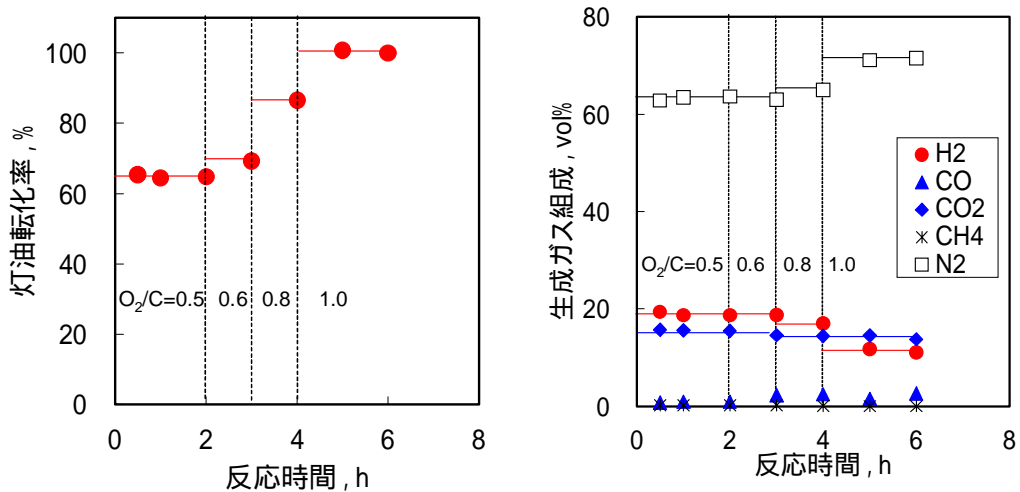


図 1 昨年度試作触媒の性能(O_2/C と灯油転化率ならびにガス組成の関係)
(触媒 6cc、800、S/C=1、原料灯油 S=49ppm)

改良触媒の評価結果を図 2 にまとめる。いずれの触媒も昨年度試作品の活性を上回ることが確認でき、特に C04-02 は目的とする $O_2/C=0.5$ の条件で、4 時間の反応ではあるが灯油転化率 100%を維持できることが分かった。

そこで次に、この C04-02 について耐久性能を評価した。灯油 (S=49ppm) にベンゾチオフェンを添加し、硫黄分として 80 ~ 100ppm とした原料を用い LHSV を実使用条件の 2 倍と想定した $3h^{-1}$ で連続試験を行った。図 3 に 500 時間評価を行った結果を示すが、概ね 100% 転化率が維持できることが分かった。本評価条件は、硫黄分も増量された、より過酷な条件である。原料中の硫黄は概ね H_2S 、 COS として排出されていることから硫黄分増量に対する加速の度合いを定義することは難しいが、改質系触媒の劣化要因として一般に想定されるコーク堆積による劣化は原料の通油量に比例すると考えられることから、LHSV として 2 倍相当の本評価条件からは、1000 時間相当の耐久性を有すると推察した。実用触媒としては一般に数万時間の耐久性が要求されるが、未脱硫灯油を直接改質可能な触媒としては、今回の 1000 時間相当の耐久性は評価できると考えられる。

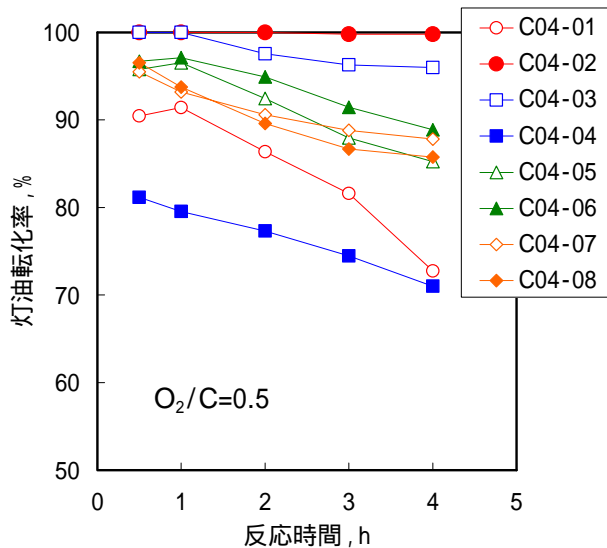


図2 各種改良触媒の性能評価
(触媒 6cc、800、S/C=1、原料灯油 S=49ppm)

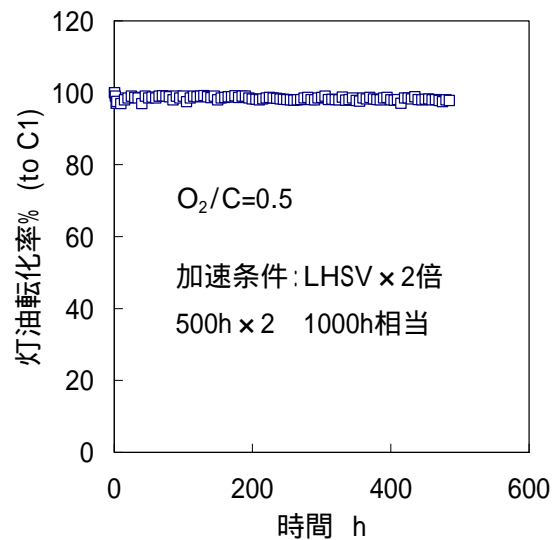


図3 改良触媒 C04-02 の耐久性評価
(LHSV=3h⁻¹、原料灯油 S=80 ~ 100ppm)

3.2 部分酸化改質ガスの精製方法検討

図4に未脱硫灯油を直接改質した際の改質ガス中の硫黄化合物の分析例を示す。微量のCOSとDMDS(ジメチルジサルファイド)が検出されるが、主成分はH₂Sである。この改質ガス中のH₂S、COSを除去する方法を調査した結果、ZnOが有効であると推察された。そこで市販ZnO脱硫剤を用いて、部分酸化模擬ガス中のH₂S、COS除去の可否を検証した。脱硫プロセスは部分酸化改質(800)と変成工程(200~300)の間に入ることから、設定温度は400とした。改質模擬ガスとしてH₂S/COS/H₂/N₂/H₂O=4ppm/4ppm/62/8/20%を用い、反応条件として、400、GHSV=1200h⁻¹とし反応器出口ガス中のトータル硫黄を分析した。図5に15時間反応を行った際の反応器入口/出口のトータル硫黄濃度の経時変化を示す。15時間の反応であるが、出口ガス中の硫黄分は完全にSCD検出限界以下(0.02ppb)に維持できることが分かった。従って部分酸化改質ガス中の硫黄分は、ZnOによって除去可能であると判断した。

硫黄化合物の除去が確認されたことから、続いてCO除去について検証を行った。市販のCu系変成触媒を用い、模擬ガス(H₂/CO/CO₂/N₂/H₂O=20/10/10/35/25%)により反応温度150~250でCOの変化を調べた。結果を図6に示すが、反応温度200以上で、COは1%以下に低減できることを確認した。次に市販のPt系選択酸化触媒を用いて、模擬ガス(H₂/CO/CO₂/N₂/H₂O=20/0.5/20/35/25%)により、反応温度150、O₂/CO=0.8~1.8mol/molの条件で、COの変化を調べた。結果を図7に示すが、O₂/CO=1.2mol/mol以上でCOを10ppm以下に低減できることを確認した。

以上の結果より、部分酸化改質ガスは、ZnOによる硫黄分除去(400)、Cu系変成触媒によるCO低減(200)、さらにPt系選択酸化触媒によるCO除去(150、O₂/CO=1.2以上)によって、PEFCセルスタックに供給可能な燃料品質が得られると判断した。

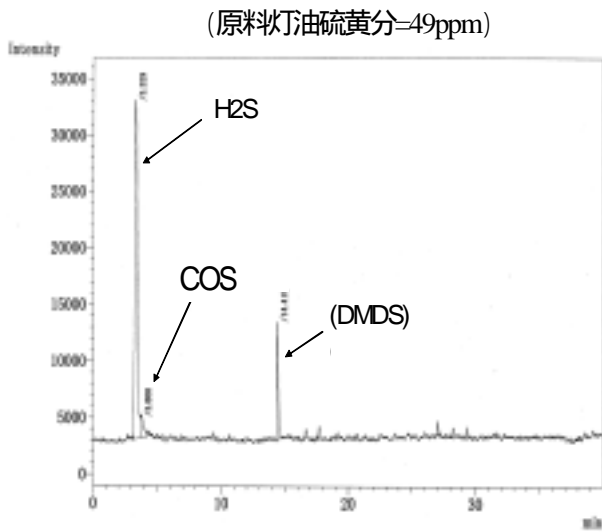


図4 改質ガス中の硫黄化合物
(O₂/C=0.5, S/C=1, 800)

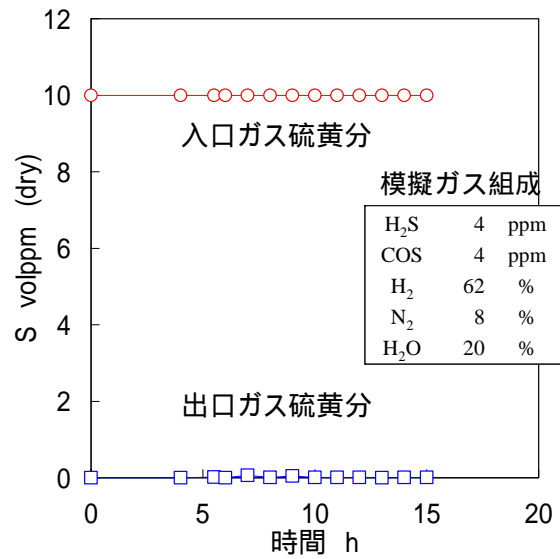


図5 硫剤 ZnO による部分酸化改質
模擬ガス中の硫黄化合物の除去
(脱硫剤 ZnO6cc、400、GHSV1200h⁻¹)

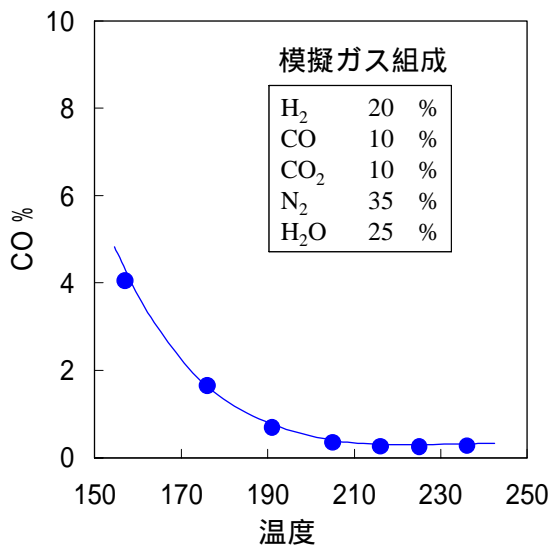


図6 Cu系変成触媒による部分酸化改質
模擬ガス中のCO低減
(触媒 12cc、GHSV2500h⁻¹)

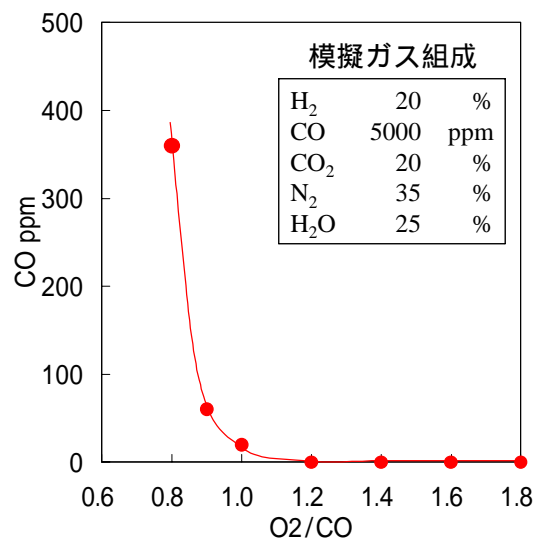


図7 Pt系選択酸化触媒による部分酸化
改質模擬ガス中のCO除去
(触媒 12cc、GHSV8500h⁻¹、150)

3.3 部分酸化改質ガスのPEFC発電特性評価

市販 MEA(電極面積 5 × 5cm)により、部分酸化改質ガスの発電特性を評価した。図8に水素濃度が異なる3種類の燃料ガスについて、燃料利用率 50、70%での I-V 特性の測定結果を示す。いずれの燃料利用率においても、比較的電流密度が低い領域では、部分酸化改質ガス相当(H₂=25%)と水蒸気改質ガス相当(H₂=75%)で顕著な I-V 特性の差は表れなかったが、部分酸化改質ガス相当では、燃料利用率 50%では約 250mA/cm²、燃料利用率 70%では約

100mA/cm²の限界電流が確認された。実用的な燃料利用率として70%を想定すると、部分酸化改質ガスを使用する場合、電流密度を高く取るとは難しいと判断された。

次に1kWセルスタックにより、3種類の改質模擬ガスの発電性能を調べた(部分酸化改質模擬ガス:H₂/CO₂/N₂=20/15/65%、自己熱改質模擬ガス:H₂/CO₂/N₂=45/20/35%、水蒸気改質模擬ガス:H₂/CO₂/N₂=72/28/0%)。図9にI-V特性ならびに出力特性をまとめる。なお本セルスタックは比較的低水素濃度の燃料にも対応可能で、約20Aで定格出力1kWが得られる仕様である。いずれの改質ガスでも定格出力は得られたが、水素濃度の差によって同じ電流値でも電圧は若干異なり、その結果、電流値19Aでのセルスタック出力は、水蒸気改質模擬ガス1044W、自己熱改質模擬ガス1026W、部分酸化改質模擬ガス990Wとなった。これより燃料利用率80%ならびに電流値からセル効率を算出すると、水蒸気改質模擬ガス52.6%、部分酸化改質模擬ガス51.7%、自己熱改質模擬ガス49.9%となった。改質方式の違いにより水素濃度が大きく異なるため、セル効率も大きく影響すると予測されたが、水素濃度72%と20%の違いに対して、セル効率は52.6%と49.9%と比較的小さな差となった。低濃度水素の場合セルスタック寿命への影響等が危惧されるが、初期性能では部分酸化改質ガスでも効率を大きく低下させずに発電させることは可能であった。

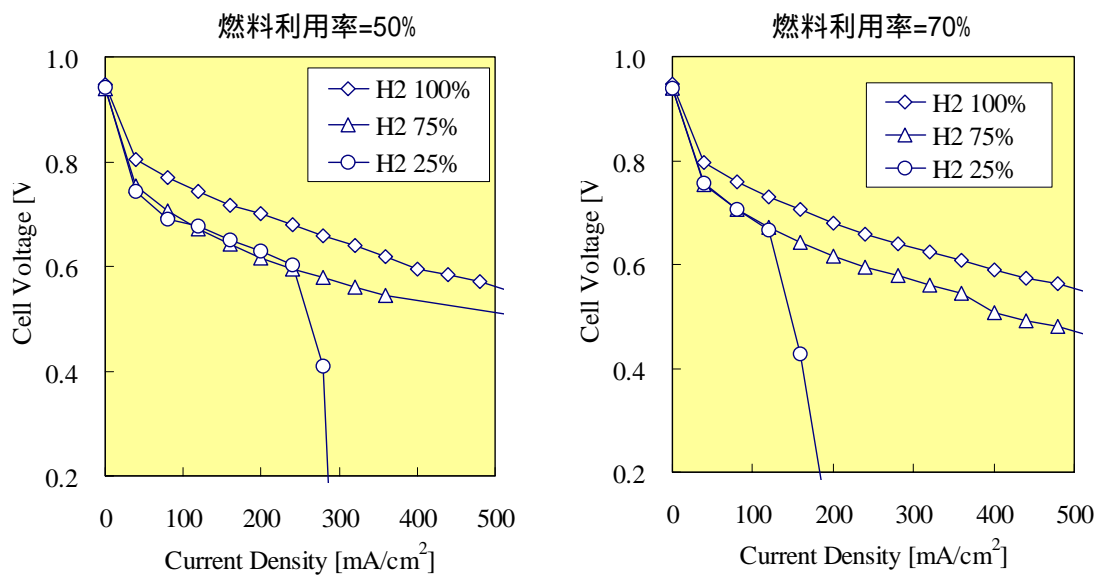
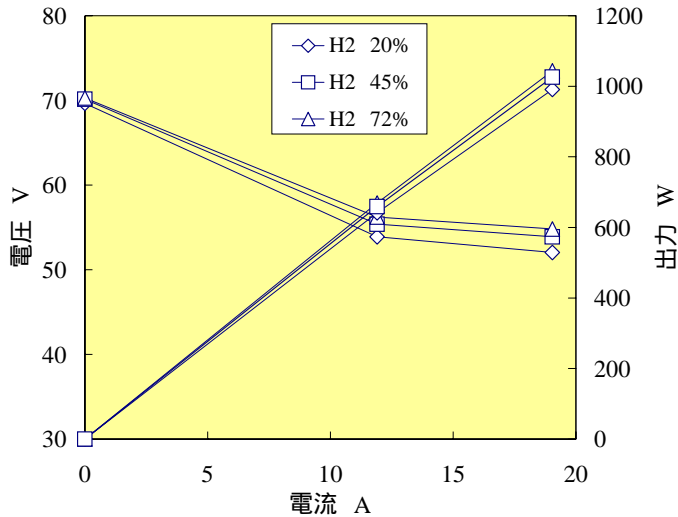


図8 市販MEAによる水素濃度の異なる燃料ガス評価
電極面積5×5cm²、空気利用率50%
ガス組成 H₂、H₂/CO₂/=75/25%、H₂/CO₂/N₂=25/20/55%



$U_f=80\%$
 $H_2/CO_2/N_2=20/15/65$
 $H_2/CO_2/N_2=45/20/35$
 $H_2/CO_2/N_2=72/28/0$

出力特性

H ₂ %	出力 W	Cell効率 %
20	990	49.9
45	1026	51.7
72	1044	52.6

図 9 1kWPEFC セルスタックによる改質模擬ガス評価

3.4 1kW級改質器による部分酸化改質特性評価

断熱式の熱自立型反応器に試作触媒 C04-02 を 300cc 充填し、未脱硫灯油を原料として部分酸化改質反応を行った。図 10 に起動から定格負荷で安定するまでの触媒層温度の経時変化の例を示す。予熱した空気により触媒温度を灯油着火温度に昇温するまで約 13 分要するが、これは空気予熱ヒーターの容量が小さいためであり、部分酸化改質の起動性の指標とは関係しないと仮定し、原料灯油と水蒸気の導入により灯油が自己着火し触媒が所定温度で安定するまでの時間によって起動性を評価すると約 8 分であった。この所要時間から、部分酸化改質はシステムとして短時間で起動できる可能性はあると判断した。

次に起動時/定常運転時(50、100%負荷)の未分解灯油の発生量、50、100%負荷での生成ガス組成、水素 + CO 発生量、水素製造効率の計算結果を表 2 にまとめた。定常運転状態(触媒温度安定後 1 時間経過)では、灯油未分解分は検出されず C1 化合物(CO, CO₂, CH₄)に 100%転化していることが確認されたが、起動時(灯油が自己着火し触媒が昇温し、所定温度で安定するまでの間)には、2~3%の灯油成分が改質ガス中に検出された。これらの未分解灯油成分は、後段の脱硫触媒、変成触媒、選択酸化触媒ならびに PEFC セルスタックに対し影響を及ぼす可能性が高い。従ってシステムを構成する場合、起動時の生成ガスは、触媒温度が安定するまでは後段のプロセスに導入せずに燃焼処理するような方式を検討する必要がある。

定常運転状態での水素 + CO 発生量は、所定の負荷 50、100%に対し、目標の水素 + CO 発生量=0.5、1Nm³/h がほぼ得られていることが確認できた。これらの負荷における水素製造効率はそれぞれ 71、73%(HHV)であり、目標とする 70%を達成することができた。

前述の 1kW セルスタックの発電性能評価の結果から、本改質器を用いて改質を行い、熱損失することなく脱硫、変成、選択酸化処理を行い 1kW セルスタックへ導入し、発電を行った場合、想定される DC 発電効率(補器損失考慮せず)は、水素製造効率 73% × U_f80% × セル効率 50% = 29%(DC, HHV)となる。

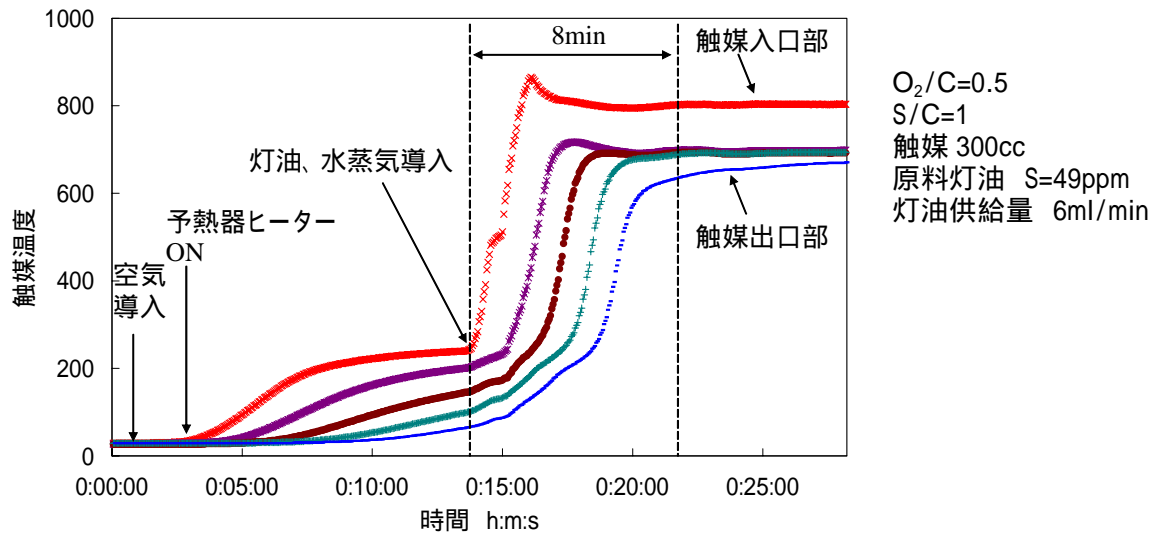


図 10 1kW 熱自立型改質器による部分酸化改質起動特性

表 2 1kW 熱自立型改質器の灯油部分酸化改質性能
($O_2/C=0.5$ 、 $S/C=1$ 、触媒 300cc、原料灯油 S=49ppm)

灯油供給量	ml/min	3	6
生成ガス組成	vol%(dry)		
H ₂		28.2	27.2
CO		9.3	11.4
CO ₂		14.8	13.6
CH ₄		0.1	0.1
N ₂		47.5	47.5
H ₂ +CO	Nm ³ /h	0.48	0.98
灯油転化率 (to C1)	%	100	100
水素製造効率 ¹⁾	%	71	73
起動時未分解分	vol%(dry)	2~3	

¹⁾水素製造効率(熱量比HHV) = H₂熱量* / 原料灯油熱量 × 100

*COは全量H₂に変換と仮定

3.5 燃料電池システム設計

以上の検討結果をもとに、プロセスシミュレーターを用いて燃料電池システムの熱収支、物質収支を計算した。各反応器の温度は、それぞれ改質器 840 /脱硫器 400 /変成器 304 +207 (便宜上 2 段構成)/選択酸化器 150 /PEFC セルスタック 80 とした。これらの温度を確保できるよう、原料灯油(C₁₂H₂₆:9.5ml/min)、プロセス水、空気との熱交換を行うとともに、温水回収による冷却系を組み込んだシステムフローとした。

結果を図 11、表 3 にまとめる。各反応器の温度を所定値に設定することは可能であり、部分酸化改質による PEFC システムが熱的にバランスできることが確認できた。また C₁₂H₂₆ 供給量 9.5ml/min に対し、セルスタック燃料利用率 80%、セル効率 50%を仮定すると、DC 出力 1.9kW、発電効率 33%HHV(DC 出力/原料C12H26)が試算された。一方、冷却用に導入する水(25)は、定格発電(1.9kW)を行う場合、14.7L/h 供給する必要がある、これは 80 温水として排出さ

れることが分かった。部分酸化改質の場合、反応系に供給される空気が多いため、改質後のガスを後段のプロセスに導入する際、ガス温度を下げるのに同伴される大量のN₂も冷却する必要があり、熱余りとなる傾向があることが分かった。

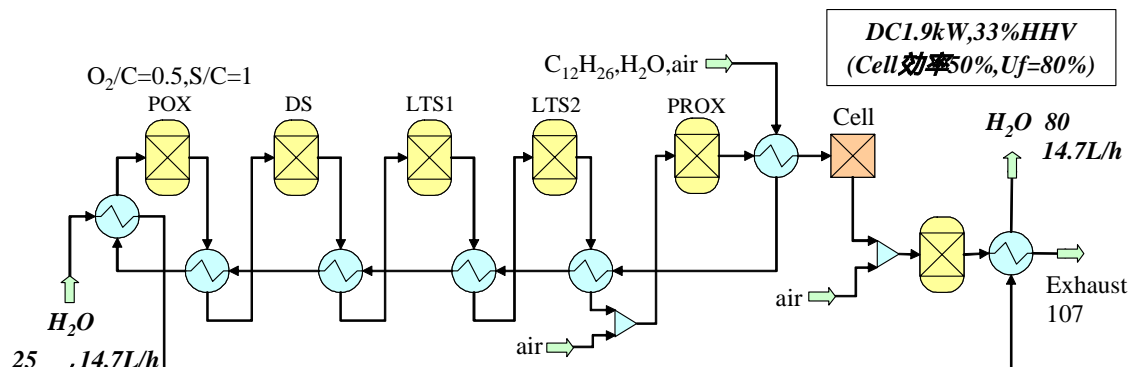


図11 部分酸化改質による燃料電池システム設計

表3 部分酸化改質による燃料電池システムの物質・熱収支計算結果

Temp		25	840	400	304	207	80	25	80	107
Flowrate	Mol/min	1.76	2.52	2.52	2.52	2.52	2.62	13.6	13.6	1.66
C ₁₂ H ₂₆	%	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H ₂ O	%	28.9	14.0	14.0	4.1	2.0	1.9	100.0	100.0	9.0
CO	%	0.0	14.0	14.0	4.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
H ₂	%	0.0	27.9	27.9	37.9	40.0	38.5	0.0	0.0	0.0
CO ₂	%	0.0	6.1	6.1	16.1	18.2	19.4	0.0	0.0	27.6
CH ₄	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
N ₂	%	54.3	37.9	37.9	37.9	37.9	40.2	0.0	0.0	60.2
O ₂	%	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4. まとめ

4.1 部分酸化改質触媒の探索

昨年度試作した貴金属系触媒に対し、担持量増加、分散性向上、担体への第3成分添加による改良を行い、目標とする O₂/C=0.5 の条件で未脱硫灯油を100%改質できる改良触媒を開発できた。改良触媒について、LHSV 加速(実条件2倍)、ならびに原料灯油への硫黄化合物添加(S=80~100ppm)による過酷条件で耐久性を評価、500時間の試験でほぼ100%転化率を維持できることを確認した。LHSV 加速2倍から1000時間相当の耐久性を有すると推定した。

4.2 部分酸化改質ガスの精製方法検討

原料灯油中の硫黄化合物は、分解されてほぼ H₂S, COS として排出されることが分かった。これらの改質ガス中の硫黄化合物は、ZnO によって吸着除去できることを確認した。また脱硫後の改質ガス中の CO は、市販の Cu 系変成触媒ならびに Pt 系選択酸化触媒により、10ppm 以下に低減できることを検証した。以上の結果より、未脱硫の灯油を部分酸化改質して得られるガスに対し、ZnO による脱硫、ならびに Cu 系変成触媒と Pt 系選択酸化触媒によって、PEFC セルスタックに導入可能な水素品質を確保できると判断された。

4.3 部分酸化改質ガスの PEFC 発電特性評価

市販 MEA により水素濃度の異なる燃料ガスの発電性能を比較評価した。水素濃度が低いガスでは限界電流が比較的低電流域で現れるため、燃料利用率=70%、 $H_2=20\%$ の場合、 $100\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下で発電を行う必要があった。低水素濃度仕様の 1kW セルスタックにより、模擬改質ガスで発電性能を評価した。水蒸気改質模擬ガス ($H_2=72\%$)、自己熱改質模擬ガス ($H_2=45\%$)、部分酸化改質模擬ガス ($H_2=20\%$) に対し、電流値 19A で定格出力 1kW がほぼ得られた。水素ガス濃度は大きく異なるが、電流値 19A での出力はそれぞれ 1044W、1026W、990W と差は小さく、セル効率も 52.6%、51.7%、49.9%と差は小さかった。低水素濃度ガスではセルスタック寿命への影響等が危惧されるが、初期性能としては部分酸化改質ガスでも効率を大きく低下させずに発電させることは可能であった。

4.4 1kW級改質器による部分酸化改質特性評価

断熱式の熱自立型反応器を用い、改良触媒により $O_2/C=0.5$ の条件で未脱硫灯油の部分酸化改質反応を行った。本反応器では電気ヒーターの容量が小さかったため、触媒を予熱するのに比較的時間を要したが、触媒を所定温度に予熱した後、原料灯油と水蒸気を導入し灯油自己着火により反応を開始させると、約 8 分で部分酸化改質は安定状態となった。このことからシステムとして短時間で起動できるポテンシャルがあることが確認できた。起動時/定常運転時の未分解灯油の発生を調べた結果、定常時には灯油は完全に C1 化合物に分解していたが、起動時には改質ガス中に灯油成分が 2~3%含まれる事がわかった。未分解灯油成分は、後段の脱硫触媒、変成触媒、選択酸化触媒ならびに PEFC セルスタックに対し影響を及ぼす可能性が高く、実際にシステムを構成する場合には、起動時の生成ガスは触媒温度が安定するまでは後段のプロセスに導入せずに燃焼処理するような方式を検討する必要がある。定格運転での水素 + CO 発生量は、目的とする $1\text{Nm}^3/\text{h}$ がほぼ得られた。この時の水素製造効率は 73%HHV であり、目標とする 70%を達成することができた。

4.5 燃料電池システム設計

以上の検討結果をもとに、プロセスシミュレーターを用いて燃料電池システムの熱収支、物質収支を計算した。各反応器と原料灯油/プロセス水/空気ならびに冷却水との熱交換により、それぞれの反応器に適した温度で熱バランス出来ることが分かった。従って、部分酸化改質による燃料電池システム構成は可能であると判断された。原料として $C_{12}H_{26}$ を $9.5\text{ml}/\text{min}$ 導入した場合、セルスタック燃料利用率80%、セル効率50%と仮定するとDC出力1.9kW、発電効率33%HHV (補器損失は考慮せず)が試算された。一方冷却水(25)は、1.9kW発電を行う場合、改質ガスを冷却するため14.7L/h供給する必要がある(セルスタック冷却含まず)、熱余剰傾向であることが分かった。

4.6 今後の課題

実用触媒としての耐久性は未検証であるが、耐硫黄性を有し改質活性が高い触媒の開発により、未脱硫灯油を改質できる可能性を見出した。また1kW 熱自立型改質器により、短時間で起動できるポテンシャルを確認するとともに、実用レベルに近い水素製造効率が得られることを検証できた。一方で触媒の長期耐久性、起動時の灯油スリップ対策、システムとしての熱余剰、低水素濃度燃料発電によるセルスタック寿命への影響等、実用面での課題はある。今後は本開発触媒について、各種水素製造プロセスあるいは高温型燃料電池等への適用性を調査し活用方法を検討する。

以上