

出光における灯油型燃料電池の開発状況

白川 敏行

出光興産株式会社

100-8321 東京都千代田区丸の内 3-1-1

Development of Kerosene Fuel Cell Systems of Idemitsu

Toshiyuki SHIRAKAWA

Idemitsu Kosan Co., Ltd.

3-1-1 Marunouchi, Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8321

Kerosene is one of the most attractive fuels for stationary fuel cells in terms of infrastructure and the fuel price, and as a result running-cost. Relatively high carbon/hydrogen ratio and sulfur content of kerosene, however, bring a disadvantage in reforming activity. To overcome this disadvantage, Idemitsu has developed an advanced fuel processing technology for kerosene. Using the reforming technology, we assembled PEFC co-generation systems in cooperation with fuel cell makers and started field test of the systems at some commercial facilities. In this paper, we present our technology for kerosene PEFC systems, especially the results of the field test.

Key words: kerosene, fuel cell, PEFC, fuel processing, reforming, field test

1. はじめに

クリーンで高効率な次世代のエネルギー変換システムとして期待されている燃料電池は、近年、国内外で活発な技術開発や普及に向けての環境整備が進められている。その中でも特に固体高分子形燃料電池（PEFC）は、出力密度が高く、コンパクト化が可能であり、作動温度が低いことから起動停止が容易と言った特長を有しており、自動車用、家庭・業務用、携帯用などの各種用途向けに開発が行われている。

家庭・業務用燃料電池は、家電／重電メーカーなどが中心となって、開発を推進しているが、ここ数年、メーカーの技術開発の進展と共に、基礎研究の段階から技術実証の段階に入ってきている。

出光ではこれまでLPガスや灯油と言った石油系燃料からの水素製造技術を核として、家庭・業務用燃料電池を開発してきた。中でも灯油は、経済性

に優れ、全国に供給インフラが整っている上、災害に強いなどの利点を持った燃料であり、灯油型燃料電池が実用化されれば得られるメリットは大きい。その一方で、灯油から水素を製造する技術は、都市ガスなどを燃料にした場合に比べ難しく、実用化へ向けてのネックとなっていた。

出光ではこれらの技術的課題を克服し、灯油型燃料電池においてもフィールドでの実証試験を行うレベルまで技術開発を進めてきた。本報では、出光における灯油型燃料電池の開発状況について、これまで実証試験を行ってきた結果を中心に概説する。

2. 灯油からの水素製造技術

図1に灯油からの水素製造工程を示す。最初の脱硫工程では、後段の改質、CO変成工程などの触媒の硫黄被毒による劣化を防止するために、原料の灯油中に含まれる硫黄分を0.05ppm以下まで低下さ

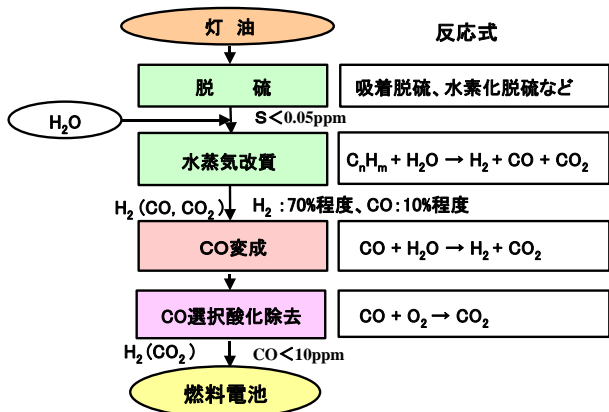


図1. 灯油からの水素製造工程

せる。次の改質工程では脱硫した灯油と水蒸気を改質触媒上、700℃前後の温度で反応させ、水素とCO₂、COに変換する。COはPEFCの電極性能を低下させるため、後段のCO変成、CO選択酸化除去工程において、改質ガス中に含まれる十数%のCOを10ppm以下まで低減させる。出光では、灯油から水素を取り出す工程の中で、脱硫剤、改質触媒、CO選択酸化触媒を開発し、これらの技術を組み合わせて、灯油型燃料電池の実機を製作、実証試験を行ってきた。次にこれらの実証試験の状況について述べる。

3. 灯油型燃料電池の実証試験

(1) SSにおける灯油型業務用燃料電池の実証試験 [1-2]

出光では、2003年7月から2005年3月まで、自社系列のSS(サービスステーション)において、灯油型業務用(5kW)燃料電池の実証試験を行った。本実証試験は、灯油を燃料とするPEFCとしては、世界初の商業施設における実証試験であった。表1に設置した燃料電池システムの仕様を示す。

表1. 灯油型業務用燃料電池(SS設置)の仕様

項目	仕様
原燃料	JIS1号灯油
発電容量(送電端)	AC 5kW
灯油消費量	1.7L/h
温水(60℃)発生量	最大150L/h
発電効率(目標値)	30%(HHV)
排熱回収効率(目標値)	35%(HHV)
システム本体サイズ(幅×奥行き×高さ)	1.8m×0.7m×1.6m
起動時間(目標値)	60分以内
貯湯槽容量	200L

燃料電池の原燃料としては、燃料電池用の特別仕様灯油ではなく、全国どこでも入手できる市販のJIS1号灯油を用いている。市販灯油を用いることで、新たな供給インフラを整備することなく、燃料電池に使うことができるメリットがある一方で、市販灯油には水素を取り出す際の触媒毒となる硫黄分が30~50ppm程度含まれるため、これらの硫黄分を取り除く脱硫技術が難しいというデメリットもある。出光は、簡便な方法で灯油中の硫黄分を0.05ppm以下まで取り除く脱硫技術や脱硫した灯油から水素を取り出すための改質技術について開発を行っており、本燃料電池には脱硫剤、改質触媒が採用されている。

石川島播磨重工業株式会社の協力により、燃料電池システムの設計・試作を行った。システムの定格発電容量はAC送電端で5kWであり、灯油の使用量は1.7L/hである。電気と同時に発生する熱は60℃の温水として回収し、その量は最大毎時150Lである。回収した温水を蓄えておくために容量200Lの貯湯槽が備わっている。

システムの発電効率、排熱回収効率の目標値はそれぞれ30%、35%(いずれもHHV: Higher Heating Value, 高位発熱量基準)、起動時間は60分を目標とした。燃料電池システム本体のサイズは幅1.8m×奥行き0.7m×高さ1.6mで、全自動で起動/停止が可能なインバーター及びパージ用窒素ガスポンプを内蔵したシステムとなっている。

システムのフローを図2に示す。

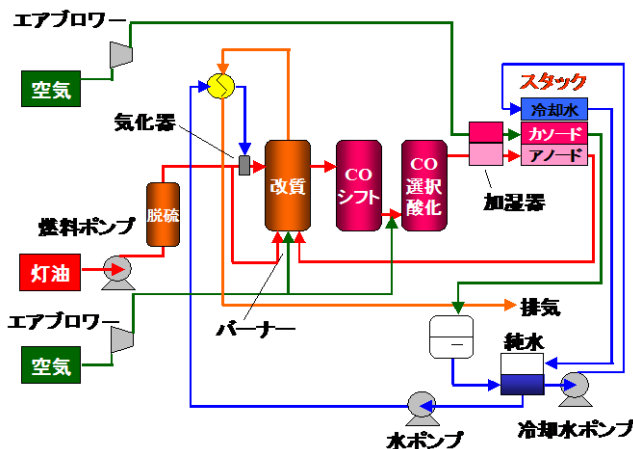


図2. 灯油型燃料電池システムのフロー図

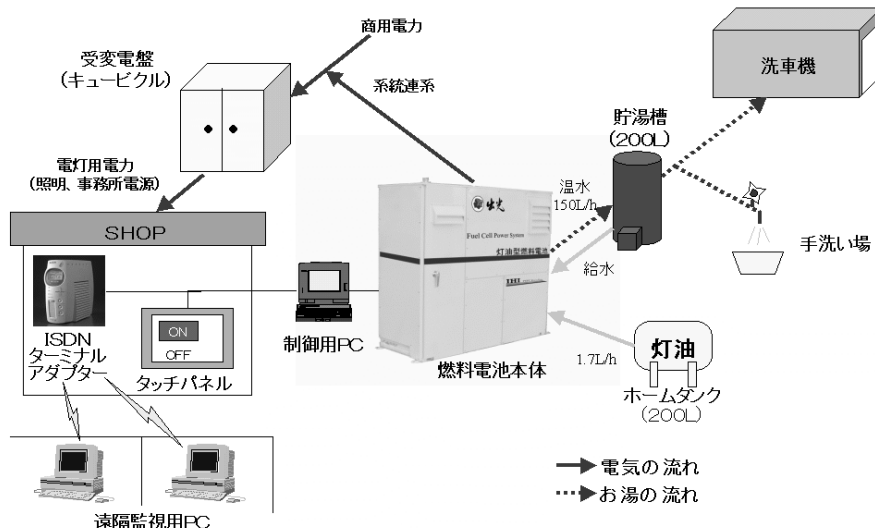


図 3. SS における燃料電池実証試験の概念図

灯油はフィードポンプで脱硫器に供給され、硫黄分が除去された後、気化器で気化されると同時に水蒸気と混合され、改質器に送られる。改質器はバーナーで 500~700℃に加熱されているが、ここで灯油は改質触媒の作用により、水素と CO₂、CO に分解される。更に改質器を出たガスは、PEFC の電極性能を低下させる CO を、シフト反応器、CO 選択酸化器と呼ばれる 2 つの反応器で 10ppm 以下に低減され、燃料電池スタックのアノードへ送られる。一方、発電に必要な空気はブローにより加湿器を経てスタックのカソードへ送られる。アノードで電池反応に消費されなかった水素は改質器の熱源としてバーナーで燃焼される。電池反応でカソード側に生成する水は回収され、水蒸気改質反応の水蒸気としてリサイクルされている。スタックで発生する熱は、冷却水と水道水を熱交換する形で温水として回収される。改質器のバーナーはアノードオフガスと灯油の混合燃焼が可能なタイプとなっており、起動時や改質器の発熱量が足りない場合には、灯油を燃焼させて加熱するようになっている。

図 3 に SS における灯油型業務用燃料電池実証試験の概念図を、図 4 に燃料電池システムの設置状況の写真を示す。

燃料電池システムは、SS の片隅に防火壁で囲った専用の設置コーナーを設け、灯油供給用のホームタンク (200L) 及び貯湯槽と共に設置した。

燃料電池で発電した電気は、高圧受電・変電設備



図 4. SS における灯油型燃料電池システムの設置

(キュービクル) において商用電力と系統連系し、SS 内の電灯電力として使用した。発電と同時に発生した熱は 60℃の温水として一旦貯湯槽に蓄えた後、温水洗車や手洗い場の温水として利用した。燃料電池の起動停止は SS 事務所に設置したタッチパネルからワンタッチで行い、運転データは電話回線を通じて遠隔監視できるようになっている。

運転パターンは SS の営業時間に合わせた DSS (Daily Start and Stop) で、定格出力での一定負荷運転を行った。

表 2 に今回の実証試験における代表的な改質器各部のガス組成を示す。

CO 選択酸化器出口の水素濃度がドライベースで 71%とシミュレーション結果とほぼ一致するデータが得られた。CO についても 10ppm 以下となっており、CO シフト反応器及び CO 選択酸化反応器が問題なく働いていることもわかった。また、各

表 2. 代表的な改質器各部のガス組成測定結果

	水蒸気改質器出口	COシフト反応器出口	CO選択酸化反応器出口
H ₂	70.5	74	70.7
CH ₄	0.4	0.4	0.3
CO	12.7	0.7	0.0(10ppm>)
CO ₂	16.4	24.9	24.3
N ₂	0	0	4.7
C ₂ ⁻	0	0	0
合計	100	100	100

部のガス組成は熱力学平衡計算より予想される値とほぼ同等であり、灯油の転化率は100%であった。このことから、今回試作した灯油型燃料電池システムにおいては、問題なく灯油から燃料電池用の水素を取り出すことができるということがわかった。

表 3 に今回の実証試験における代表的な発電性能を示す。AC 発電端出力で5.0kW、発電効率31.8% (HHV) が得られ、商業施設における灯油型 PEFC システムの第 1 号実証機としては、まず第一ステップの目標をクリアする結果が得られた。しかしなが

表 3. 実証試験における代表的な運転パフォーマンス

項目	運転実績
発電出力(発電端)	5.0kW
発電効率(発電端)	31.8% (HHV)
改質器効率	79.3% (HHV)
起動時間(@DSS運転)	30min.
改質器における灯油消費量	1.3L/h
水素発生量	4,545L/h
温水発生量	120L/h (60°C)
脱硫器出口における灯油中の硫黄濃度	<0.02ppm

ら、発電端出力から燃料電池内部で自己消費する補機動力を差し引いた送電端出力や送電端での発電効率については、当初目標としていた5.0kW、30% (HHV) には到達しなかった。補機動力の削減やスタック性能の更なる向上が課題であることがわかった。

また、DSS 運転における起動時のパフォーマンスを図 5 に示す。

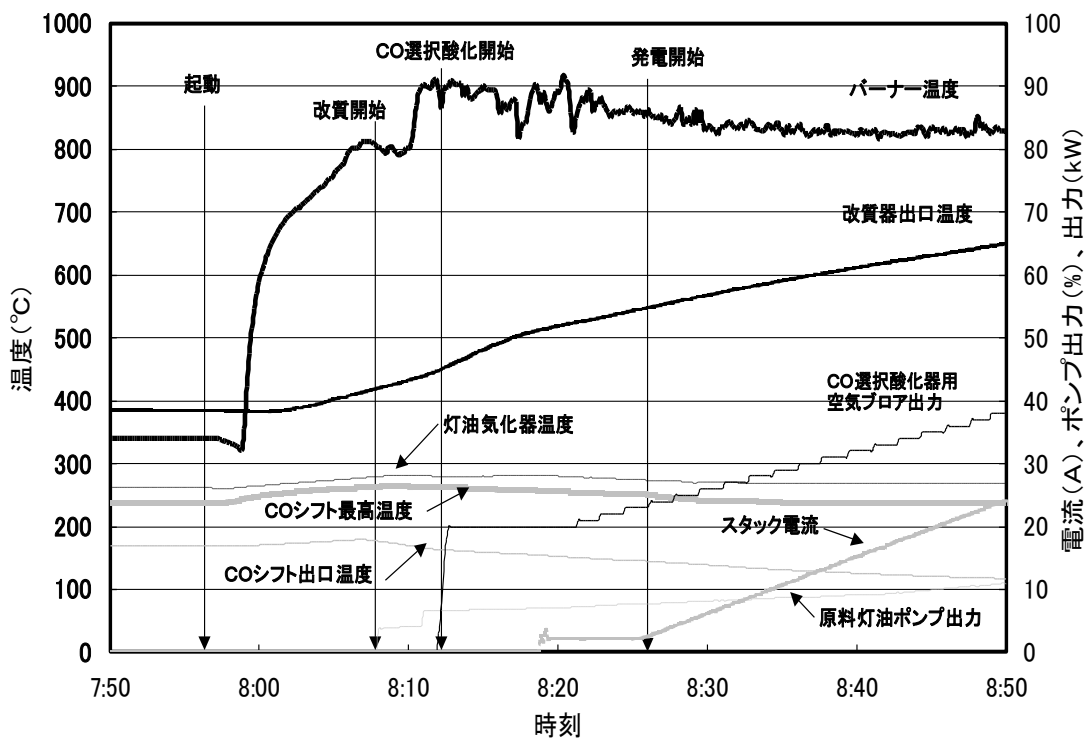


図 5. DSS 運転における燃料電池システムの起動状況

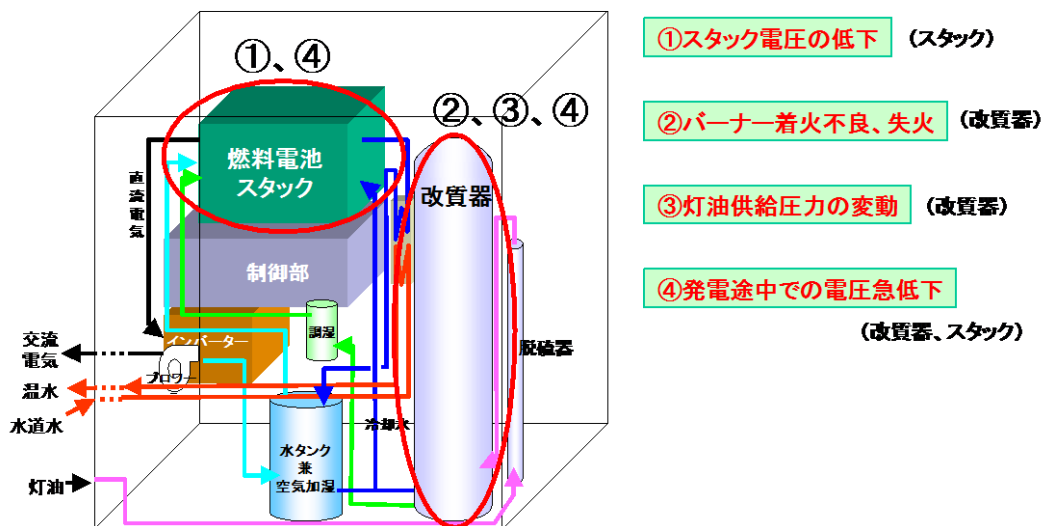


図 6. 実証試験におけるトラブル事例

DSS 運転では、改質器の温度が完全に室温まで下がりきっていないため、改質器の加熱にそれほど時間を取られることがなく、起動後約 30 分で発電開始となっている。このように実用上あまり問題ないレベルでの短時間での起動が可能であることがわかった。

当 SS における実証試験は約 1 年半行ったが、商業施設における灯油型 PEFC システムの第 1 号実証機ということもあり、トラブルも多く見受けられた。そのために運転時間はあまり稼ぐことはできず、稼働率（計画運転時間に対する実際の運転時間）も低かった。主なトラブル事例を図 6 にまとめた。

この中で、改質器での灯油供給圧力の変動など、灯油型に特有の課題もいくつか顕在化しており、これらの課題については、次の実証機製作時に反映するなど、開発に活かしている。

(2) 独身寮における灯油型業務用燃料電池の実証試験

2002～04 年度の 3 年間、(財)新エネルギー財団が経済産業省の補助金を受けて実施した「定置用燃料電池実証研究」の一環として、出光では 2004 年 3 月より 2005 年 2 月までの 1 年間、北海道苫小牧市にある独身寮において、SS と同じく、灯油型業務用 (5kW) 燃料電池の実証試験を行った。本実証研究は、北は北海道から南は九州まで全国 33 サイトにおいて各種燃料電池の実証試験を行ったものであるが、その中で灯油型燃料電池の実証サイトは

本サイトを含め 2 ヶ所のみであった。

本実証試験における灯油型燃料電池システムの設置状況の写真を図 7 に、系統図を図 8 に示す。なお、システムの仕様は前項で紹介した SS 設置の灯油型業務用燃料電池システムとほぼ同様である。

燃料電池で発電した電力は寮内の照明や電気製品で使用し、発生した温水は厨房や洗面で使用した。なお、設置場所の関係で、温水を風呂に接続することが困難であったため、今回の実証試験においては、燃料電池で発生した温水が寮内で消費できずに熱余りの状態で燃料電池が運転される場合があった。

北海道のような寒冷地に燃料電池を設置する場合、氷点下になると燃料電池スタックで発生する水が凍結するなどの問題があり、現状は屋外に設置することは難しい。そこで、今回の実証試験においては、専用のプレハブ建屋を建設して、その内部に燃料電池の設置を行った。



燃料電池システム本体

貯湯槽

図 7. 独身寮における灯油型燃料電池システム

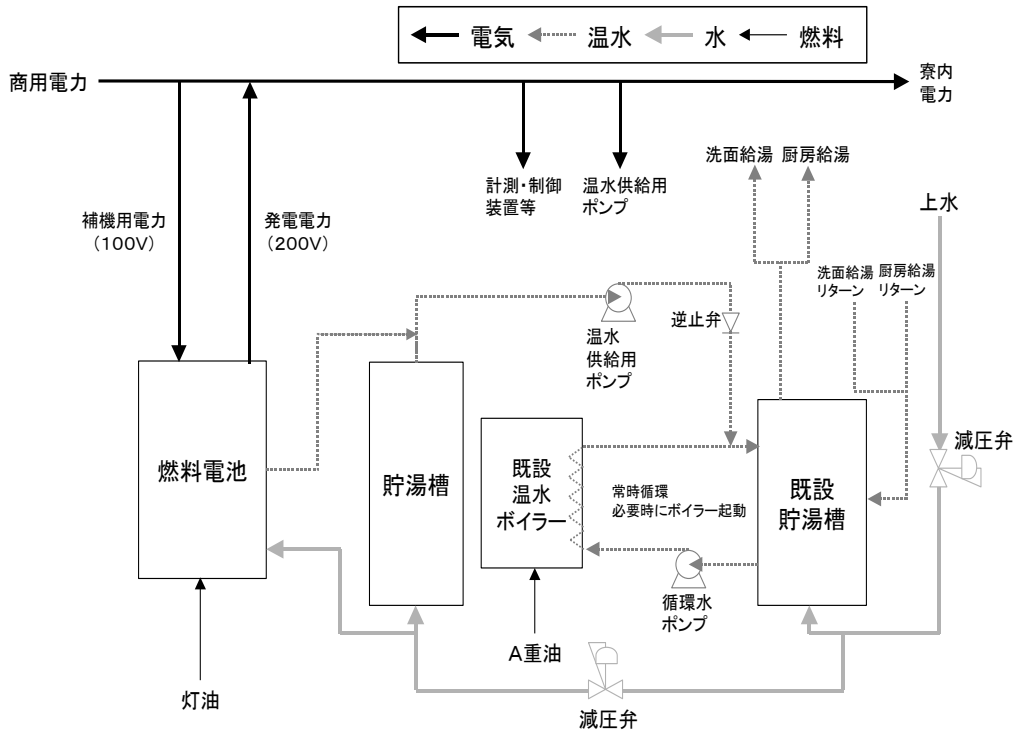


図 8. 独身寮における燃料電池実証試験の系統図

燃料電池の設置による一次エネルギー削減率やCO₂削減率を評価するために、電力計や温度計、流量計などの各種センサー類とデータ収集システムが備えられており、日々の運転データを蓄積した。

当実証試験に用いているシステムはSSでの実証試験と同様、石川島播磨重工業株式会社が製作したものであるが、SSでの実証試験から判明したシステムの問題点を反映して改善した部分も多いことから、小さなトラブルはいくつかあったものの、ほぼ順調に稼動し、1年間の実証試験で約3,500時間の運転時間を達成した。

(3) 灯油型家庭用燃料電池の開発

出光では、灯油型業務用燃料電池の実証試験と並行して、2002年度より独自の灯油気化技術やプロセス設計、評価技術に基づき、家庭用燃料電池向けの灯油脱硫器、改質器の自社開発を実施している。図9に開発した1kW級灯油改質器と本改質器を搭載した灯油型家庭用燃料電池システムの試作機の写真を示す。

本灯油改質器は、試作機ながら、都市ガス型と遜色のない改質効率(79%)を達成している。その改質器を組み込んで試作した灯油型家庭用燃料電池

システムの仕様を表4に示す。



試作改質器



図 9. 灯油改質器と灯油型家庭用燃料電池システム (自社製1号機)

表 4. 灯油型家庭用燃料電池システム (1号機) の仕様

項目	仕様
原燃料	JIS1号灯油
発電容量(送電端)	AC 1kW
発電効率	30%(HHV)
排熱回収効率	30%(HHV)
システム本体サイズ(幅×奥行き×高さ)	1m×0.3m×1m
起動時間	60分以内

弊社の中央研究所における当システムの評価により、システムの性能向上や安定運転に向けた課題を抽出しその改良点を明らかにすることができた。

更に 2004 年度からは、株式会社コロナと共同で灯油型家庭用燃料電池システムの開発に取り組んでいる。自社で開発した 1 号機の評価結果を活かし、出光、コロナの両社で灯油改質器を共同開発した。その結果、改質効率 80%、サイズ 27L、起動時間 45 分と自社開発した 1 号機を上回る性能が得られ、開発目標をクリアすることができた。また、2005 年 3 月には当灯油改質器を組み込んだ灯油型家庭用燃料電池システムの試作機を完成させた。図 10 に当システムの写真を示す。当システムは、今後、コロナと弊社においてそれぞれ評価を行い、実用化に向けた更なる改良を行なっていく予定である。



図 10. コロナと共同で開発した灯油型家庭用燃料電池システム試作機

4. おわりに

これまで家庭・業務用の灯油型燃料電池は、設置した場合の経済的なメリットが大きく、魅力的なシステムと考えられてきたが、一方で技術的なハードルが高いことから、都市ガス型やLPガス型に比べ、メーカーでの開発がやや遅れ気味であった。

しかしながら、出光は独自で灯油型改質器を開発するなど、困難な課題に挑戦し、また、メーカーと協同して、都市ガス型と遜色のない性能の改質器やシステムを開発するに至っている。但し、コストや耐久性・信頼性など実用化に向けての課題はまだ多く残されており、今後はこれらの課題を解決して、

灯油型燃料電池を少しでも早く世の中に出していくことを目指していきたい。

参考文献

1. 白川ら，第 11 回燃料電池シンポジウム講演予稿集，燃料電池開発情報センター，78 (2004)
2. 白川，堀川，出光技報，48, (1), 17-24 (2005)