

農業用 1 kW 級直接メタノール形燃料電池の フィールド試験

Field Test for Application of 1 kW Class Direct Methanol Fuel Cell System to Agricultural Use

山 尾 剛 生* 石 丸 文 也* 野 村 栄 一*

Takeo Yamao Fuminari Ishimaru Eiichi Nomura

Abstract

The field test for application of 1 kW class direct methanol fuel cell (DMFC) system to agricultural use has been conducted in the greenhouse of a strawberry grower in Suzuka City, Mie Prefecture since December 2004. The system was automatically operated for 8 hours every day using the daily start up and stop running program. A fuel tank with 200 liters capacity was attached on this system to attain a continuous operation test for 10 days without additional fuel. The lighting or refrigerator worked by power generated from this system. Furthermore, additionally emitted carbon dioxide of 100 ppm h⁻¹, water, and heat of 3400 kcal h⁻¹ were utilized for photosynthesis to encourage the growth of strawberries, rearing of seedlings, and heating in the greenhouse, respectively. It was verified by this field test that the system has highly practical performance for agricultural use.

Key words: DMFC; Methanol; Fuel cell; Field test

1 緒言

直接メタノール形燃料電池 (DMFC) は、メタノール水溶液を燃料として直接スタックに供給することにより発電できる燃料電池である。そのために、改質器を必要とせず、シンプルで安全なシステムを構成することができる。また、燃料が液体であるので、貯蔵や取り扱いも容易である。我々はこれらの利点に注目し、移動体電源用としての 1 kW 級 DMFC システム “YFC-1000” を開発した^{1,2)}。この DMFC システムの使用用途としてはキャンプ用電源、災害時非常用電源、遠隔監視機器用電源、および農業ハウス用電源などが

考えられる。その中で農業ハウス用電源として、三重県および鈴鹿市からの援助を受け 2004 年の 12 月から鈴鹿市内の農家で実証試験をおこなってきた。この実証試験の内容とその運転結果について報告する。

2 実証試験

2.1 コンセプト

実証試験のコンセプト図を Fig. 1 に示す。

作物の成長に必要な日照時間が不足する冬場において、それを補うための対策として日没後、または夜明け前の数時間、照明器具の点灯等の対処をすることがある。また、暖房効果を上げるために換気がおこなえず、農業ハウス内の炭酸ガス濃度が低下して、光合成

* 研究開発センター 第三開発部

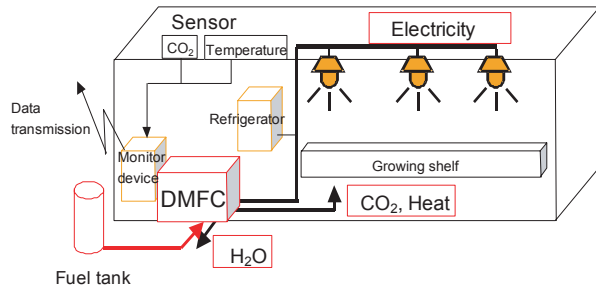


Fig. 1 Functional concept-flow of 1 kW class DMFC system applied to the agriculture field test.

に必要な濃度が不足するという報告例もあり，それを補うための対策として炭酸ガス発生装置が使用されることがある（炭酸ガス施用）．しかし，これらの照明器具や炭酸ガス発生装置を使用するためには電力が必要であり，農業ハウス内に電源工事を施して商用電源を供給しなければならない．さらに炭酸ガス発生装置は燃料として灯油を使用するために別途，大きな灯油タンクが必要になる．本実証試験では商用電源のない農業ハウスに燃料電池システムを設置して照明器具を点灯させ，さらに発電の際に発生する炭酸ガス，水および熱を利用することによって，農業ハウス内で栽培される作物（イチゴ）に光合成を促して，その生育を促進させることを目的とした．これにより山間部など無電化地域にある農業ハウスでも炭酸ガス施用の可能性が見出せるものと考えられる．また，日照時間が不足しない冬場以外は，燃料電池システムからの発電電力を保冷库の電源に利用し，収穫した農作物を一時的に保存することで出荷するまでの鮮度を保たせる運用をおこなっている．

2.2 システム構成

システムの構成図を Fig. 2 および Fig. 3 に，また，その仕様を Table 1 に示す．

システムの基本的な構成はすでに発表した“YFC-1000”標準システム^{1,2)}と同じであり，燃料電池で発電した直流の電力を内蔵のインバータで交流 AC 100 V に変換して外部へ供給している．システムの起動および停止は DSS (Daily Start up and Stop) 運転で，毎日 8 時間の自動運転に対応できるようにタイマー方式に改造した．また，これらの自動運転を 10 日以上燃料無補給で可能にするために，200 L の燃料タンクを別置きタイプで用意し，農業ハウス外に設置した．燃料電池システム内の循環タンクの燃料濃度が薄くなった場合，54 mass% メタノールを自動でシステム

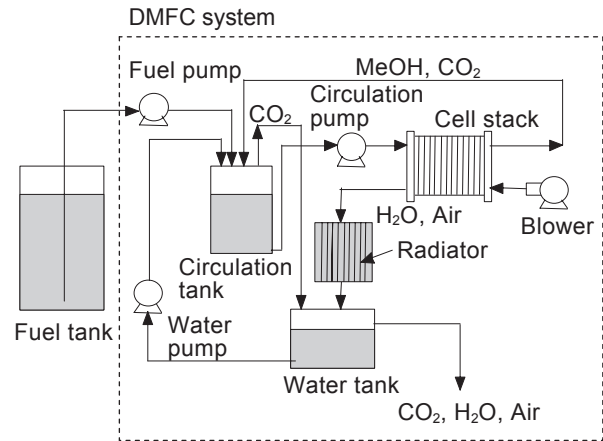


Fig. 2 Schematic function-diagram for 1 kW class DMFC system.

へ供給できるようにしている．また，システムの監視項目として“YFC-1000”標準システムのセルスタック電圧，セルスタック温度，筐体内温度，直流地絡抵抗，燃料タンク状態および非常停止ボタン信号に加え震動情報を追加し地震への対応を考慮している．これらの入力情報から電圧 L (下限)，セルスタック温度 H (上限)，筐体内温度 H (上限)，直流地絡発生，燃料切れ，非常停止信号そして地震（震動）発生のいずれかの警報を受信したときには，出力および補機への電力供給を遮断して，システムが安全に停止するようにしている．さらに，当社で，最近開発した遠隔監視装置“POST-NET”を設置し，遠隔地でシステムの動作状況や農業ハウス内の炭酸ガス濃度と温度の監視もおこなえるようにしている．異常発生時には，メールを通じて携帯電話等に異常情報を発報することができ，また遠隔地から非常停止信号を送信することによって現場のシステムを安全に停止させることもできる．これら遠隔監視装置やセンサの電源等，本実証試験で使用される電力はすべて燃料電池システムでまかなっている．なお，実証試験サイトの農業ハウスは約 1000 m² (高さ約 3 m) の広さであり，その設置状況を Fig. 4 および Fig. 5 に示す．

2.3 動作特性

2.3.1 照明器具を負荷として接続した特性試験

Fig. 6 に照明器具を負荷とした場合の諸特性を示す．本試験は冬場の日照時間不足を補う目的で，11 月末から 4 月初めまでの約 4 ヶ月間，午前 4 時から 6 時まで 52 個の照明器具を点灯させた（定格 728 W）．このときのセルスタックの発電電力は約 1100 W であ

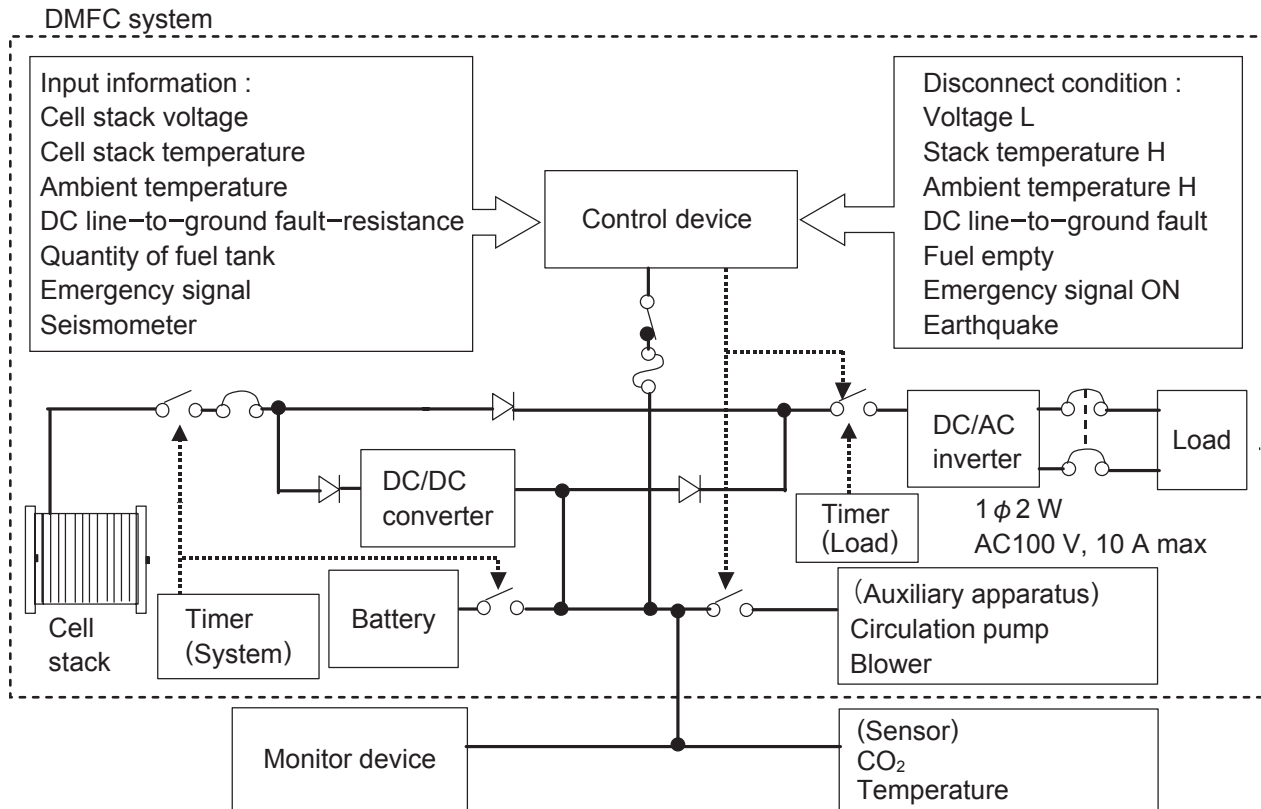


Fig. 3 Electric circuit flow of 1 kW class DMFC system applied to the agriculture field test.

Table 1 Specifications for 1 kW class DMFC system.

| Items | Standard | | |
|---------------|---------------------------|------|---|
| Conditions | Temperature | / °C | 5-40 (Humidity 30-90%) |
| | Maximum power | / W | 1000 |
| | Output voltage | / V | AC 100 (Output wave, Distortion 3%) |
| System design | Continuous operation time | / h | 8 |
| | Outside dimensions | / mm | 484 W x 850 L x 778 H |
| | Mass | / kg | 120 |
| | Additional fuel | | Methanol 54 mass% |
| | Support battery | | Small valve-regulated lead-acid battery |



Fig. 4 Scenery of 1 kW class DMFC system applied to the agriculture field test.

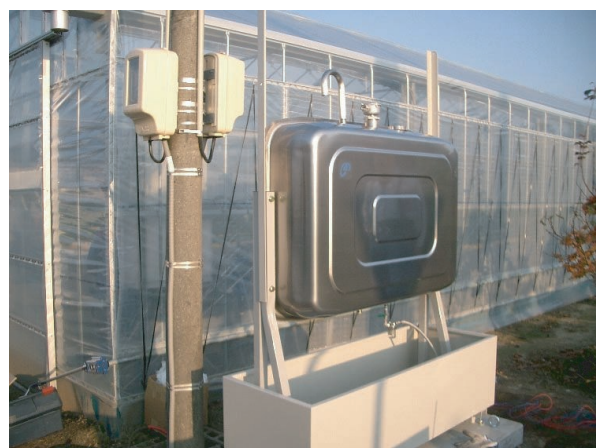


Fig. 5 Scenery of fuel tank of 1 kW class DMFC system applied to the agriculture field test.

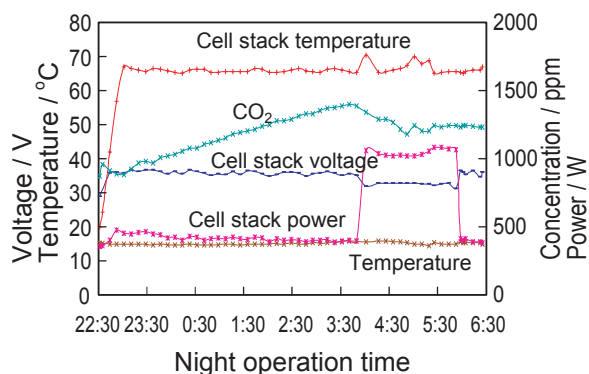


Fig. 6 Representative operation-characteristics under the connection of lighting apparatus for 1 kW class DMFC system.

Table 2 Accumulative operation-data on the field test under the connection of lighting apparatus for 1 kW class DMFC system.

| Items | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Term | Nov.29, 2004 – Apr.13, 2005 |
| Operation day | / day 128 |
| Operation time | / h 1024 |
| Total power of system | / kWh 591.5 |
| Total power of load | / kWh 176.4 |

り、このうちの約 400 W はシステムを駆動させるための補機や制御装置、そして遠隔監視装置やセンサの電源として使用されている。なお、システムの運転は 22 時 30 分から 8 時間稼動とした。照明器具を点灯した場合、点灯させる前とくらべセルスタックの電圧が約 4 V 程低下しているが、これは負荷電流によって電圧が変化するというセルスタックの特性によるものである。照明器具を点灯させてもセルスタックの電圧は安定しており、その温度も約 65 ~ 70 °C の間で動作していることから、濃度制御およびシステムの制御が問題なくおこなわれていると判断できる。また、Fig. 6 の炭酸ガス濃度の傾き（農業ハウス中央にて計測）からシステム運転中に排出される炭酸ガスは約 100 ppm h⁻¹ であり、装置本体から発する熱量は、消費したメタノール水溶液量より約 3400 kcal h⁻¹ であると推定できる。運転期間中の運転実績を Table 2 に示す。なお、11 月 29 日から 12 月 12 日まではシステムの準備稼動期間として稼動させた。

2.3.2 保冷庫を負荷として接続した特性試験

Fig. 7 に保冷庫を負荷とした場合の諸特性を示す。本試験は収穫した農作物を出荷するまで鮮度を保たせる目的で 6 月末より開始し、12 時から 19 時までの 7

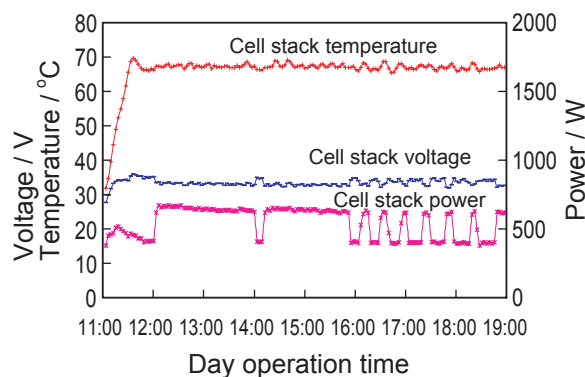


Fig. 7 Representative operation-characteristics under the connection of refrigerator for 1 kW class DMFC system.

Table 3 Accumulative operation-data on the field test under the connection of refrigerator for 1 kW class DMFC system.

| Items | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Term | June 21, 2005 – Aug.3, 2005 |
| Operation day | / day 33 |
| Operation time | / h 225 |
| Total power of system | / kWh 140.2 |

時間保冷庫を稼動させた。なお、システムの運転はタイマーによって午前 11 時から 8 時間稼動させた。負荷装置である保冷庫には起動時に大きな突入電流が流れるという特性がある。それに対し、システム内のインバータには負荷が異常時に過電流が流れないようにする保護機能があるために、突入電流が大きな負荷が接続すると起動不良をおこすことがある。以上のことから保冷庫の起動特性を確認するため突入電流値を計測し、過電流保護機能がはたらかない値であることを確認した（実測値：10 A_{0-P}）。その結果、消費電力が定格 215 W の装置を選択することになった。

また、保冷庫には内部の温度によって運転・停止を繰り返すという特性がある。Fig. 7 に示すセルスタック電圧および温度の特性からこのような負荷変動を繰り返す装置を接続しても安定した運転特性が得られることを確認できた。運転期間中の運転実績を Table 3 に示す。

3 農業用途への適用について

装置本体から排出される炭酸ガスおよび熱について、システムを稼動・休止させたときの農業ハウス内

の炭酸ガス濃度および温度の比較を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。なお、炭酸ガスの濃度と温度は農業ハウスの中央で計測した値である。Fig. 8 からシステムの稼働時は、農業ハウス内の炭酸ガス濃度は約 100 ppm h⁻¹ で上昇していることがわかる。これに対し、システムの休止時は、Fig. 9 より濃度が 700 ~ 800 ppm で一定となっている。イチゴ栽培において光合成には一般的に 1500 ppm 程度の炭酸ガス濃度が必要といわれている。したがって、約 1000 m² (高さ約 3 m) の広さをもつ農業ハウスにおいてシステムを 8 時間稼働させることにより適度な炭酸ガスを供給できることを確認できた。つぎに、農業ハウス内の温度変化は、Fig. 8 および Fig. 9 より、システムの稼働時と休止時との違いは、さほど見られなかった。この場合、3000 m³ (1000 m² × 高さ 3 m) の密閉された空間においてシステムを 1 時間稼働させた場合、どれぐらいの温度上昇になるかは、燃料電池のエネルギー効率と消費したメタノールのエネルギー量の結果からつぎの計算を用いて求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{外に与える熱量} &= (1 - \text{燃料電池のエネルギー効率}) \\ &\times \text{消費したメタノールのエネルギー量} \\ \text{つまり、} \\ \text{温度変化} &= \text{外に与える熱量} / (\text{物質の質量} \times \text{空気} \\ &\text{の比重}) \end{aligned}$$

上記の計算結果は、3.5 °C h⁻¹ となる。この値は暖房効果として、実効のあるものにみえる。しかしながら、実際には農業ハウスの外気温度による影響やそのシールが充分でないこと等から、ハウス内の温度に変

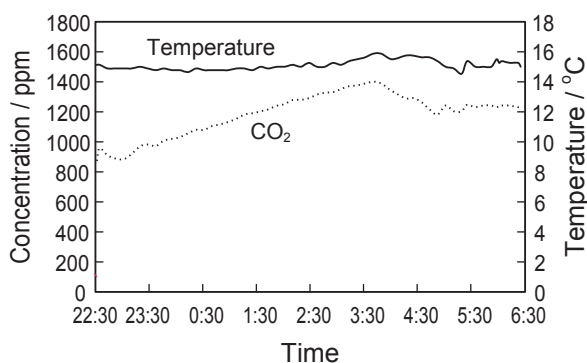


Fig. 8 Change in CO₂ concentration and temperature in the green house during night operation-time of 1 kW class DMFC system.

化を与えることができなかった。現在のところ、燃料電池から発生する熱は、周辺へ放出しているが、今後、廃熱の有効利用については、検討する必要がある。さらに、農業ハウス内で使用する場合、厳しい環境状況下におかれることも十分に考慮して、検討していかなければならない。たとえば、夏場、農業ハウス内の温度は 40 °C を超えることがあり空気極出口から生成される水回収が困難になる場合があった。また、燃料電池を発電させるには空気プロアを使用しており、周辺の空気をセルスタックに送り込まなければならず、セルスタックの特性を維持するために農薬等、空気中の不純物を取り除かなければならなかった。

4 成果

実証試験を通じてつぎのような成果を得ることができた。

- (1) 完全自動で DSS 運転が可能な燃料電池システムを開発できた。
- (2) 開始してから約 9 ヶ月間経過したが、この間燃料電池システム本体はもちろん、追加した起動・停止タイマー、遠隔監視装置、各種センサ、または設置した照明器具、保冷库に大きな故障もなく運転できている。また、燃料タンク状態の遠隔監視および供給体制を整えることによって、日々の燃料電池システムの運転に支障なく燃料を供給することができた。
- (3) 照明器具、保冷库という消費電力量および負荷特性の異なる 2 種類の負荷が接続されても燃料電池システムを安定して動作できることを実証した。

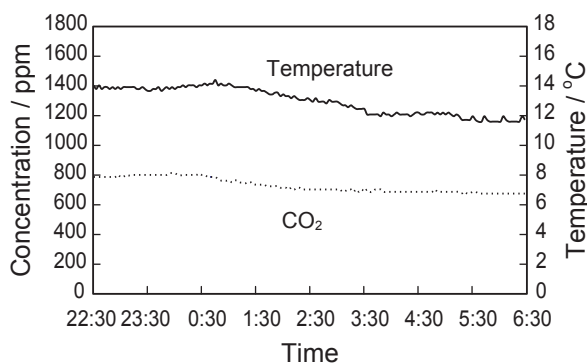


Fig. 9 Decay curve of CO₂ concentration and temperature in the green house after stopping the night operation-time of 1 kW class DMFC system.

(4) 冬場の8時間運転で燃料電池システムから、適度な炭酸ガスが供給できることを確認できた。

本実証試験で得られたこれらの成果を活用し継続していくことによって、燃料電池の農業ハウスへの適用の実用化をはかりたい。

謝 辞

本実証試験の一部は、三重県および鈴鹿市の「燃料

電池実証試験補助金制度」の適用を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 佐野利夫, 山尾剛生, 石丸文也, 野村栄一, GS *Yuasa Technical Report*, **1** (1), 42 (2004).
- 2) 佐野利夫, 元井昌司, 藤田幸雄, 石丸文也, 第45回電池討論会要旨集, p.604 (2004).