

# 石油代替エネルギー・燃料電池のイチゴ栽培への 利用技術の開発

藪田信次<sup>\*</sup>・田中一久<sup>\*</sup>・小西信幸<sup>\*\*</sup>・人見周二<sup>\*\*\*</sup>・石丸文也<sup>\*\*\*</sup>

## 要 旨

メタノール型燃料電池を用いて、装置から得られる電気、熱、炭酸ガスのイチゴ栽培への利用による生産システムの開発と経済性を含めた実用性の総合的評価を行った。

燃料電池から得る温風の風量が少ないことから、送風配管方法（親ダクト）を二重配管とすることで加温を効率的に行えることを明らかにした。また、温風には水分を多く含むことから親ダクトに水抜き装置を設置することで円滑な送風が可能となった。ハウス内の炭酸ガス濃度は、1800 ppm程度となり、施用効果があるとされる濃度に達した。株元局所加温によってマルチ内の夜間温度は、2℃以上上昇させられることを明らかにした。また、これによりイチゴの収量は無加温に比べて高くなる傾向を示した。

電気の利用について、3時間連続電照及び1時間に15分照明を7時間行う間欠電照を行っても安定的に燃料電池が稼働することを確認した。イチゴ栽培における燃料電池稼働にかかる経費は、1ヶ月42,120円で温風暖房機の経費の約50%となることを明らかにした。本研究で使用した直接メタノール型燃料電池は、石油代替エネルギーとして期待されるものであるが、現時点では量産されていないことから、装置の価格が高いという問題がある。しかし、近い将来、この燃料電池が普及し、量産効果によって価格が下がれば、農業分野への利用も大いに期待できると考えられた。

キーワード： 燃料電池、イチゴ栽培、局所加温、電気利用、炭酸ガス利用

## 緒 言

三重県における施設園芸は重要な位置を占めている。しかし、近年の石油価格の高騰は施設園芸農家の経営を大きく圧迫している。特に生産コストの中で暖房費の割合の高い作目では経営が成り立たないことが心配されるまでになっており、加えて海外からの輸入の増加、産地間競争の激化、価格の低迷によって施設園芸産地の維持そのものが危惧される状況になり、石油価格高騰に対応した省エネ技術の開発が強く望まれるようになった。省エネ技術の開発は1970年代のオイルショック時に盛んに行われたがその後、石油価格が比較的安価に推移したことから研究が進展せず現在に至っている。このような背景の下に本研究は、愛知県総合農業試験場等の7つの研究機関等と共同して、施設園芸作物の収量・品質を落とすことなく暖房費を節減する省エネ技術の開発を行うとともに化石燃料に頼らない安定した施設園芸の確立を目的に取り組んだ。本県では石油代替エネルギーとして

開発が進む直接メタノール型燃料電池について、機器から発生する熱、炭酸ガス及び電気のイチゴ栽培への利用による生産システムの開発と周年利用等を含めた総合的な活用方法の評価を試みた。

## 材料及び方法

### 試験1．局所加温用送風ダクトの選定と配管方法

異なる5種類（表1）のダクト（かん水チューブ）を用い、供試ダクトをそれぞれ400m（50m×8本）配管し、電動送風機（SB-201HT-R3A3、出力40W）により送風し、50m先の膨らみ方、通風量を調査した。配管は図1の1と2の方法により行った。なお、風量を具体的に数値化するために子ダクト（かん水チューブ）内に45ℓ/分かん水して、配管接合部から5m及び45m地点における5分当たりの水の排水量を調査した。

<sup>\*</sup> 四日市農林環境事務所 農政普及室  
<sup>\*\*</sup> 農水商工部科学技術・地域資源室  
<sup>\*\*\*</sup> 株式会社ジーエス・ユアサコーポレーション

### 試験 2. 燃料電池装置のモデル装置による局所加温のシミュレーション

冬期を想定した 5 ～ 6.5 ℃の夜冷装置内に 50m 局所加温用ダクトを配管し、350m は戸外に配管した。発熱電球 2 個（170kcal）を熱源とする燃料電池のモデル装置を作成し、電動送風機により送風し、夜冷装置内の配管ダクトの中の温度と距離の関係を調べた。

### 試験 3. 燃料電池装置から得られる熱、電気、炭酸ガスの利用（現地試験）

#### 平成 18 年度

鈴鹿市石薬師町のイチゴ高設用ビニールハウスを用い現地実証を行った。供試品種は「章姫」とし、燃料電池装置による局所加温区（1000 m<sup>2</sup>）と対照区として小型温風器による加温区（1000 m<sup>2</sup>）を設けた。

局所加温は、燃料電池装置より排出される温風および炭酸ガスを親ダクト（直径 4cm 塩ビ管）から電動送風機（SB-201HT-R3A3）により送風し、更に子ダクト（かん水チューブ）でイチゴのマルチ直下に送風する方法で行った（写真 1, 2,）。



写真 1 燃料電池システムの構成

燃料電池の試験は、2006 年 11 月 29 日から 2007 年 2 月 28 日まで行った。燃料電池の稼働は 21:00 ～ 7:00 までとし、送風機は 22:00 ～ 6:30 まで稼働させた。22:30 ～ 3:15 までは充電を行い、3:30 ～ 6:30 の早朝には電照灯（蛍光灯）を点灯した。

ハウス内のイチゴは、2 段に重ねたプラスチックコンテナの上部に培土（スミリンコンパル）を 36 畝入れ、8 株を 9 月 15 日から順次定植し、高設栽培を行った。株間 17cm、条間 25cm の 2 条植えとし、かん水チューブ（点滴）を 2 条配管し、慣行栽培に準じて栽培した。葉数、草丈、果梗長を 11 月 29 日、12 月 29 日、1 月 29 日、3

月 1 日に調査、1 株あたりの収量、可販果率、果実品質を 12 月 15 日から毎週調査。



写真 2 送風ダクトの配管状況

#### 平成 19 年度

H 18 度に試験区と対照区のハウスの日照条件が異なることがわかったため、平成 19 年度は同一ハウス内に試験区と対照区を設けて実施した。また、対照区は無加温の条件とした。

局所加温方法は、平成 18 年度と同様としたが、燃料電池から得られる排熱に水分が多く含まれ送風ダクトに水がたまり、送風詰まりを起こすことが明らかとなったため、送風ダクトに水抜き装置を設置した。

燃料電池の稼働は、11 月 29 日から、21:30 ～ 7:30 まで行い、送風機は 22:30 ～ 6:45 まで稼働させた。電力の有効利用を図るため 12:30 ～ 6:45 の間に 1 時間に 15 分の電照灯（蛍光灯）を間欠点灯した。なお、22:30 ～ 3:30 までは充電を行った（電照灯点灯時除く）。

9 月 15 日から定植を行い、その他の管理は平成 18 年度と同様とした。局所加温は 11 月 30 日から開始した。収量調査は局所加温効果の現れると予想される局所暖房開始約 1 ヶ月後の 1 月 4 日から局所加温終了（2 月 28 日）1 ヶ月後の 3 月 28 日まで行った。

## 結 果

### 試験 1. 局所加温用送風ダクトの選定と配管方法

局所加温のための送風子ダクト（かん水チューブ）の適正については、噴霧散水用を 4 タイプ（A～D）、点滴散水用を 1 タイプ（E）で比較した。送風したときの送風子ダクトの膨らみ方は、B が最もよく、次いで A、E、D、E であった。C は両面に孔穴があり、孔径も大きいので 50m 地点では膨らみが小さかった。通風量は B が最も多く次いで A、C、D、E となった（表 1）。

配管方法の検討については、子ダクトから排出される風量を具体的に数値化するためにダクトに送水し測定した。その結果、親ダクトを環状に配管する（配管方法2）方が直線的に配管する（配管方法1）より5m先、45m先ともに4区平均の排水量が多くなり、配管位置による

差も小さくなった（図1、表2）。

以上のことから、局所加温用子ダクトはB、親ダクトの配管方法は環状配管（配管方法2）が適することが明らかとなった。

表1 局所加温配管のための送風用チューブの適正比較

種類	タイプ	折径 mm	口径 mm	孔ピッチ mm	孔径 mm	孔数	材質	色	膨らみ方※		通風※
									指数※	指数	
A	噴霧散水 片面	50	20	片側100(50千鳥)	0.3	2	ポリエチレン	黒	○	○	○
B	噴霧散水 片面	58	32	片側100(50千鳥)	0.4	1	ポリエチレン	黒	◎	◎	◎
C	噴霧散水 両面	52	33	片側144(72千鳥)	0.6	1	ポリエチレン	青	×	△	△
D	噴霧散水 片面	42	20	片側50(25千鳥)	0.18	1	ポリエチレン	黒	×	△	△
E	点滴散水 片面	42	20	片側44(22千鳥) スリット状	1.2	1	ポリエチレン	黒	△	×	×

※膨らみ方は送風機から8本に配管を分岐し、50m先のダクトの膨らみ方を調査した(総配管長400m)。

※通風は上記と同じく50m先のダクトの水中での気泡の発生程度による。

※評価指数

膨らみ方、通風程度：◎ 良好 ○ やや良 △ 不良 × 無

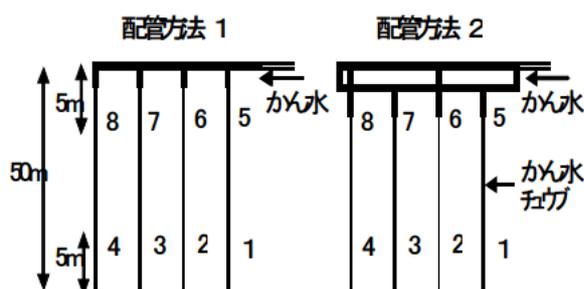


図1 配管方法

※排水量を計るために水で行った。

表2 配管方法と水の排出量

位置	配管方法 1		配管方法 2	
	排出量 ml/5min	4区平均 ml/5min	排出量 ml/5min	4区平均 ml/5min
1	310	254	295	278
2	245		295	
3	240		263	
4	220		260	
5	500	406	455	428
6	410		458	
7	345		383	
8	370		415	
1~4 の差	90		35	
5~8 の差	155		75	

### 試験2. 燃料電池装置のモデル装置による局所加温のシミュレーション

170kcal の熱源のモデル装置を使って、冬期を想定した5～6.5℃の冷蔵庫内における局所加温のシミュレーションを行った結果、温風が7℃になるまでの距離は13.7mであった（図2）。燃料電池からの温風の熱量は2,000kcal/時であり、温風の利用率を80%と仮定すると、燃料電池からの7℃の温風の到達距離は①式より64mとなった。

・燃料電池による800m配管した時の7℃になるまでの距離(①式)：

$$2,000\text{kcal}/170\text{kcal} \times 13.7\text{m} \times 1/2 \times 80/100 = 64\text{m}$$

以上のことから、長さが50m規模のハウスでは、燃料電池の局所加温により最低温度を7℃に保つ事が可能であることがわかった。

### 試験3. 燃料電池装置から得られる熱、電気、炭酸ガスの利用（現地試験）

#### 平成18年度

収量は、対照区に比べて総果数で7%減となり、総果重は2%減となった。減収の要因は、対照区のハウスが新しく保温性が良いことや日照時間が長いことが考えられた。しかし、局所加温区の1株あたり収量は600gで慣行栽培とほぼ同等の収量が得られたと考えられる。

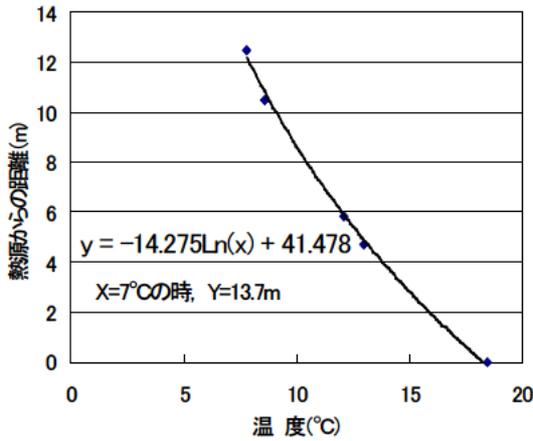


図2 モデル実験による温度と熱源からの距離

なお、局所加温区の第1腋果房の総果数、総重量が共に低くなった要因は収穫開始期が2週間以上早く株に負担がかかったためと思われた（図3、4および表5）。

品質については、可販果率は摘果の影響で両区とも非常に高くなった。秀品率、大果率、酸度、Brixは局所加温区が対照区に比べてやや低くなった（表3、4）。

以上のことから、燃料電池区は対照区と比べ98%とほぼ同等の収量が得られるが、品質についてはやや低くなることが明らかとなった。

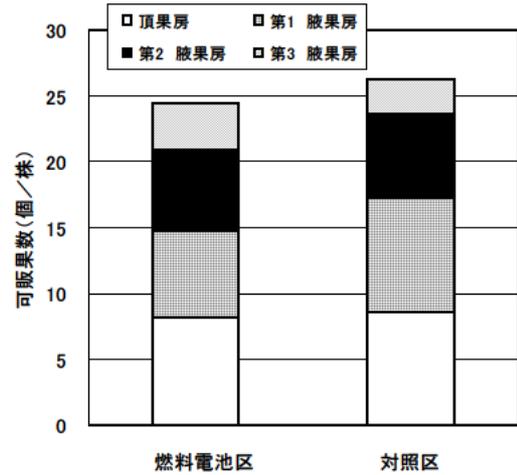


図3 燃料電池がイチゴの可販果数に及ぼす影響

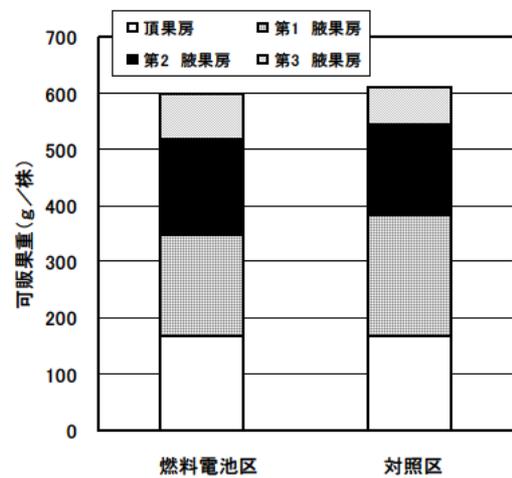


図4 燃料電池がイチゴの可販果重に及ぼす影響

表3 燃料電池がイチゴの収穫物に及ぼす影響

区	試験区	収量		秀品果重 g/株	大果重 g/株	可販果率 %	秀品率 %	大果率 %
		kg/10a	%					
1	燃料電池区	4,778	98	442.7	540.1	99.8	73.8	90.2
2	対照区	4,870	100	492.3	569.6	99.7	80.6	93.3

表4 燃料電池がイチゴの果実品質に及ぼす影響

区	試験区	酸度(%)	Brix
1	燃料電池区	0.50	9.50
2	対照区	0.61	9.81

表5 収穫開始期

試験区	月	日
燃料電池区	11	21
対照区	12	7

現地試験 H 19 年度

局所暖房開始 1 ヶ月後の生育は試験区と対象区に差がなかった (図 5) が局所加温開始後 2 ヶ月の生育では燃料電池に近い区の草丈、新葉数が增加する傾向を示した。

(図 6)

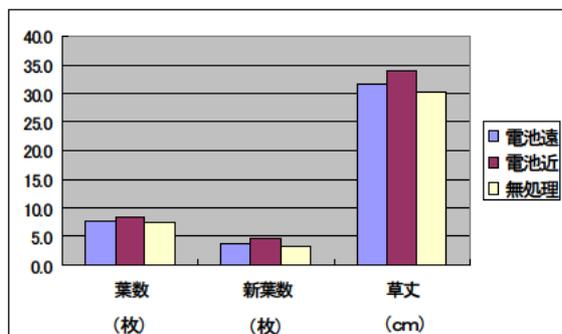


図 5 暖房開始 1 ヶ月後の生育 (12/29)

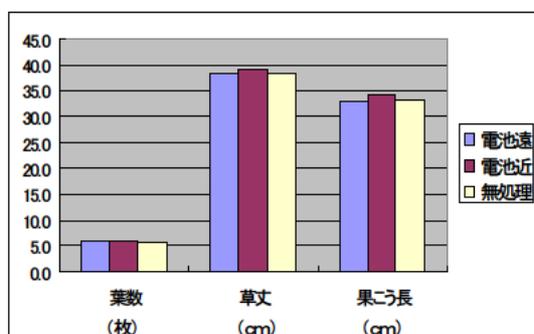


図 6 局所暖房開始 2 ヶ月後の生育 (1/29)

- \* 電池近：燃料電池の排気口に近い測定地点
- \* 電池遠：燃料電池の排気口から遠い測定地点

局所加温開始後の 1 / 4 ~ 3 / 29 の収量は燃料電池にもっとも近い区の収量が優る傾向を示し (図 7)、秀品率も燃料電池区が高くなる傾向を示した (図 8)。

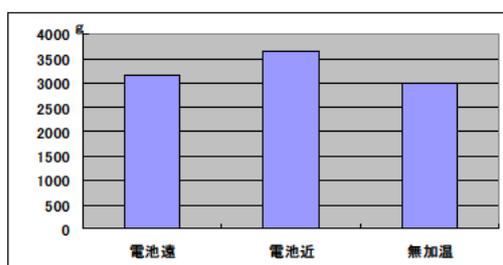


図 7 10 株当たり 1/4 ~ 3/29 日の収量

燃料電池区の生育・収量が向上した要因は、局所加温によって安定的にマルチ内温度を高める (平均 2℃) ことができたためと考えられた (図 9)。

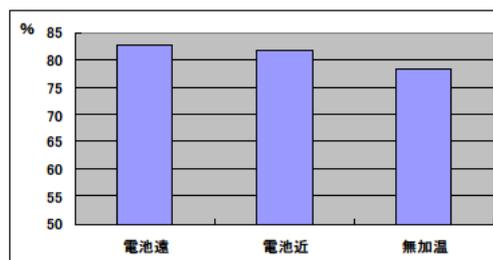


図 8 秀品率の比較

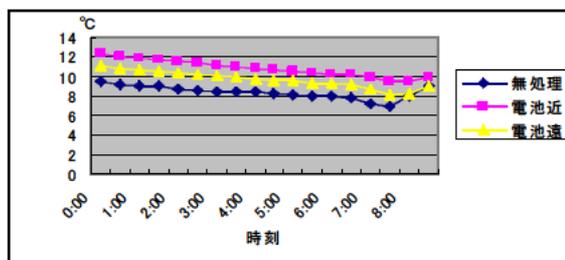


図 9 厳寒期における (2/14) マルチ内温度の変化

また、ハウス内の炭酸ガス濃度は、1800ppm 程度となり、施用効果があるとされる濃度に達することが明らかとなった (図 10 および 11)。

さらに、電気の利用については、早朝 3 時間連続電照及び 7 時間間欠電照において安定的に燃料電池が稼働することを確認することができた。また、イチゴ栽培における燃料電池稼働にかかる経費は、1 ヶ月 42,120 円となり (表 6)、通常の暖房機を使用した場合に比べ約半減することが明らかとなった。

表 6 燃料電池の運転経費 (試算)

駆動時間	10時間/日
メタノール (53%) 消費量	1.8ℓ/時間
〃	540ℓ/月
〃 単価	78円/ℓ
〃 使用料	42,120円*

\* 温風暖房機の約50%

考 察

昨今、地球温暖化に関する懸念が高まっており、化石燃料の削減などによって温暖化の原因である二酸化炭素などの発生を抑制する対策が重要になっている。燃料電池もその対策の一つで、将来普及が見込まれる発電装置として大きな期待がかけられている。現在は導入コストが高く採算が合わないと言われているが、石油エネルギーを多く使用する日本の施設園芸分野において、電気と

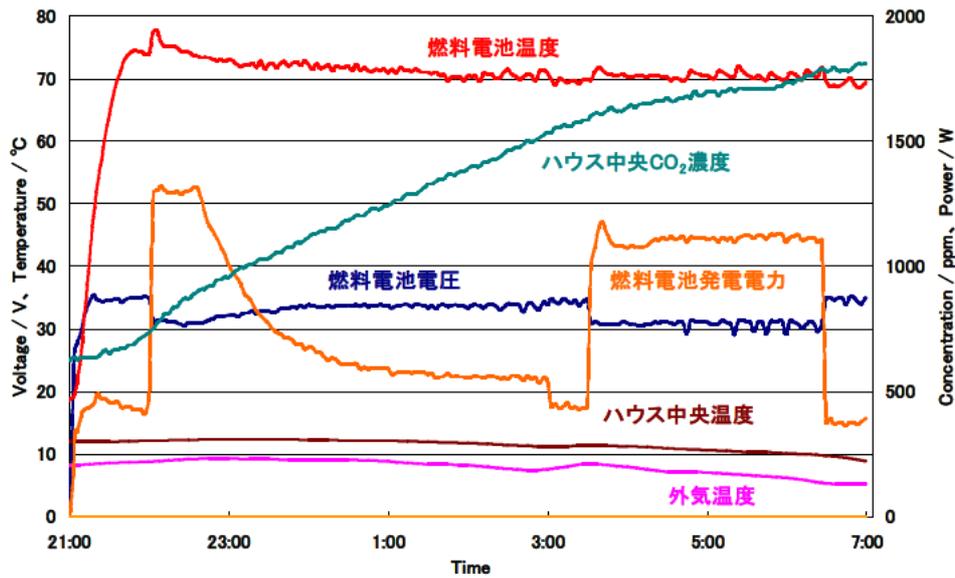


図10 ハウス内の炭酸ガス濃度等の推移（平成18年度）

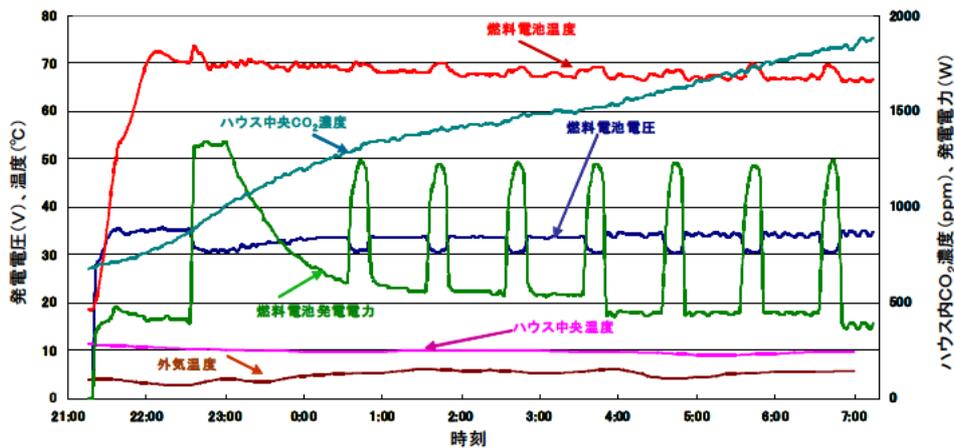


図11 ハウス内の炭酸ガス濃度等の推移（平成19年度）

熱に加え二酸化炭素も利用できる装置と考えるならば多くの可能性が開けてくる。一方、地球温暖化とともに問題となっているのが化石燃料の高騰である。平成21年度は比較的安価で推移しているが平成20年度は異常な高騰となり施設園芸産地の崩壊さえ危惧される事態となった。このようなことから、化石燃料の削減対策の一環として三重県の施設園芸の重要品目であるイチゴに着目して、燃料電池の利用技術の開発を目指した。

本研究は、メタノール型燃料電池を用いて、装置から得られる電気、熱、炭酸ガスを効率的に活用し、イチゴにおける電照、高設栽培における効率的局所加温技術及び炭酸ガス施用技術の開発を行ったものである。

燃料電池から得られる熱（排熱）は熱量が少ないこと

から効率的に利用する必要がある。このため、加温方法は株もと局所加温とし、局所加温用の最適送風ダクトの選定と配管方法について検討し、送風ダクトはスミチュウ果菜25、配管方法は二重配管とすることで効率よく送風できることを明らかとした。また、燃料電池から排出される温風には水蒸気が多く含まれることから低温期には送風ダクトに結露・滞水し、送風を阻害することから、送風ダクトに水抜き装置を設置し、1週間に1度程度水抜きを行うことで円滑な送風を可能にすることができると明らかとした。

ハウス内の炭酸ガス濃度は、燃料電池稼働10時間後の午前7時には1800ppm程度となり炭酸ガス施用効果があるとされる濃度に達することが明らかになった。

株元局所加温によってマルチ内の夜間温度は燃料電池から最も遠い位置でも、夜温目標温度の7より2以上高まり、無加温区に比べて収量・品質とも向上させることができることを明らかにした。

電気の利用については、生育促進をねらいとした早朝3時間電照に利用した(H18)。また、H19には電気の有効利用を図ることをねらいとして、燃料電池により負荷がかかる7時間間欠電照を行い、余剰電力を蓄電し循環扇等の稼働に利用した。いずれの方法においても燃料電池が安定的に稼働することを明らかにした。

イチゴ栽培における燃料電池稼働にかかる経費は、1ヶ月あたり42,120円で、三重県のイチゴ栽培における通常の暖房経費の50%となることを明らかにした。

なお、本研究で使用した直接メタノール型燃料電池は、

石油代替エネルギーとして期待されるものであるが、現時点では量産されていないことから、装置の価格が高いという問題がある。しかし、近い将来、この燃料電池が普及し、量産効果によって価格が下がれば、農業分野への利用も大いに期待できると考えられた。

#### 謝 辞

鈴鹿市石薬師町の大島農園様には現地試験の準備等積極的なご協力をいただき感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 財団法人農産業振興奨励会平成19年3月・燃料電池農業分野利活用調査事業実績報告書

## Application of fuel cell to the strawberry cultivation as an alternative energy source of oil

Shinji YABUTA, Kazuhisa TANAKA, Nobuyuki KONISHI,  
Shuji HITOMI, and Fumiya ISHIMARU

### Abstract

Heat, electricity and carbon dioxide from fuel cell were successfully used for strawberry cultivation as an alternate energy source of oil. However, there is a problem that the price of the device is high because it is not mass-produced now though Direct Methanol Fuel Cell used in the present study is the one expected as an alternative energy to oil. the application of fuel cell to agricultural sector was able to be expected very much if this fuel cell would spread in the near future, and it sank in price by the effect of mass production.

Key words: fuel cell, strawberry growing, local calefactory, electric use, and carbon dioxide use

