

燃料電池発電プラントの燃料多様化への取組み

Approaches for Application of Various Fuels in Fuel Cell Power Plants

高橋 元洋
TAKAHASHI Motohiro

草間 伸行
KUSAMA Nobuyuki

和田 克也
WADA Katsuya

燃料電池発電プラント（以下、燃料電池プラントと呼ぶ）は、これまで天然ガスを主な燃料として都市部オフィスビルや近郊の工場などに導入されてきたが、最近の環境保全意識の高まりや分散型エネルギーの導入拡大に伴い、新たな適用形態の開拓が期待されている。

燃料電池プラントの特長の一つは、多様な燃料への適用性であり、当社は、LPG（液化石油ガス）を燃料とした燃料電池システム、下水汚泥から発生する消化ガスを燃料とした燃料電池システム、この成果を応用した食品廃水処理分野への適用などについて具体的なシステムの提案を行っている。

Fuel cell power plants (FCPPs) utilizing natural gas as fuel are usually installed in office buildings and factories in suburban areas. Due to the rising demand for environmental protection and distributed energy sources in recent years, FCPPs are expected to be increasingly adopted as clean energy sources by expanding new applications for them. The ability to utilize various fuels is one of the characteristics of the FCPP.

Against this background, Toshiba has been developing on the application of various fuels in FCPPs. This paper presents new system applications for FCPPs, as well as the results of tests that were executed in order to effectively utilize anaerobic digester gas (ADG) at a sludge treatment center. Systems that can be applied to similar waste-water treatment processes such as food industry facilities and to garbage treatment systems are also described.

1 まえがき

燃料電池プラントは、その良好な環境特性と小容量でも高い発電効率を発揮できることから、環境適応型コジェネレーションシステムとして位置づけられ、これまでに天然ガスを燃料として、都市部のオフィスビル、ホテル、病院、マンション、近郊の工場などの施設を中心に導入されてきた。

最近では、環境保全意識の高まりや分散型エネルギーの導入拡大に伴い、燃料電池プラントは、これまでの天然ガスによるコジェネレーションシステムとしてだけではなく、多様な燃料を利用した新たな分野へのいっそうの普及が期待されている。特に、燃料電池プラントの適用拡大などの一つとして、燃料電池プラントの特長である多様な燃料への適用性を具体化していくことが有効である。

ここでは、LPGを燃料とした燃料電池システムを紹介するとともに、省エネルギー面からも有効な下水汚泥から発生する消化ガスを燃料とした燃料電池プラントの検証結果⁽¹⁾と、この成果を応用した食品廃水処理分野への適用について紹介する。

2 LPG 適用燃料電池システム

燃料電池プラントは、天然ガスと並んで広く普及してい

るLPGを燃料とすることができる。LPGはプロパン主体のものとはタンク主体のものがあるが、いずれも適用可能である。当社は、日本石油ガス(株)と1996年度から3年間にわたりLPG適用燃料電池プラントの実証を行っている。

このシステムにより、天然ガスパイプラインがまだ整備されていない地域でも燃料電池プラントの導入が可能となる。また、LPGの備蓄性を利用した保安電源への適用や、燃料電池プラントから生成する純水も利用する電源・熱・純水供給システムとして防災拠点への適用が期待できる。図1に、保安電源システムとして適用する場合の構成を示す。

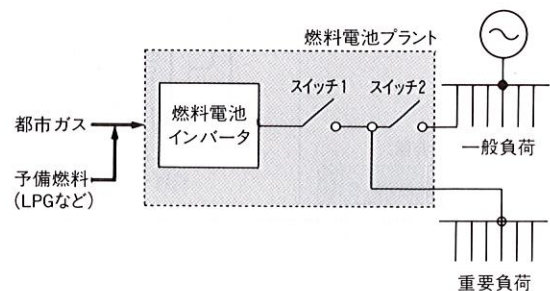


図1. 燃料電池の保安電源適用システムの構成 予備燃料も用意し、商用電源系統喪失時に備える。

Example of system scheme utilizing FCPP as emergency power source

通常時は都市ガスで運転し、その供給が断たれた場合には予備燃料として備蓄されたLPGを使用する。予備燃料は常時スタンバイ状態としておき、都市ガスの元圧低下時には燃料切替信号により瞬時に燃料の切替えを行い、プラント停止することなく運転が継続される。電気系については、通常時は系統連系運転を行うが、系統喪失時にはスイッチ2を開放し、独立運転モードとすることであらかじめ選定された重要負荷に電力供給を継続する。

また、燃料電池プラントの停止点検時などは、スイッチ1を開放してスイッチ2を“閉”とすることにより負荷への電源供給は継続される。

3 消化ガス適用燃料電池システム⁽²⁾

3.1 消化ガスとは

下水汚泥をメタン発酵処理したときに発生するガスを一般に消化ガスといい、その成分はメタン約60%、炭酸ガス約40%で、硫黄成分や塩化物などの不純物を微量に含む低カロリーガスである。全国の下水処理場の約40%がメタン発酵処理を行っており、その設置数は年々増加傾向にある。発生した消化ガスのうち、発電に利用されるのは約20%であり、残りはボイラ燃料として利用されているのが一般状況である。

3.2 ガスエンジンとの比較

このような状況のなか、横浜市では消化ガスの大部分をガスエンジン発電に利用しており、北部汚泥処理センターでは約5,000kWの発電容量をもっている。横浜市と当社は、94年度から97年度にかけて高効率で環境にやさしい燃料電池への適用検討を実施した。表1に現状のガスエンジン

表1. 燃料電池とガスエンジンの主要諸元比較

Comparison of power plant characteristics of fuel cell and gas engine

項目	燃料電池	ガスエンジン	
発電効率 (% LHV)	38 (送電端)	30 (送電端)	
排熱回収効率 (% LHV)	40	36	
供給形態	60°C 温水 (高温水/蒸気オプションあり)	100°C 蒸気 85°C 温水	
寸法 (mm)	5,500×3,000×3,000 H	6,440×2,750×2,900 H	
質量 (トン)	18.2	8.6	
排ガス (ppm)	NO _x 5 以下 SO _x 微量	NO _x 80 以下 SO _x 15 以下	
騒音 (dB(A))	65 (防音対策不要)	95 (防音対策要)	
始動時間	3 h	15 s	
設置場所	屋外, 屋内	屋内	
保守点検	運転中点検 (1回/3か月) 停止点検 (1回/年) オーバーホール (1回/5年)	停止点検 (1回/月) オーバーホール (1回/1年)	
評価	効率	◎	○
	環境性	◎	△
	始動時間	△	◎
	保守点検	○	△
総合判定	◎	○	

LHV: 低位発熱量

と燃料電池の特徴比較を示す。

ガスエンジンの情報は、横浜市の北部汚泥処理センターの実績に基づいてまとめたものである。また、図2は燃料電池のシステムフローを示す。

燃料電池の導入により排ガス性状や騒音などの環境性が著しく向上するとともに、発電効率も30%から38%に向上し省エネルギーに貢献すること、保守点検、経済性にもメリットが生まれることがわかる。

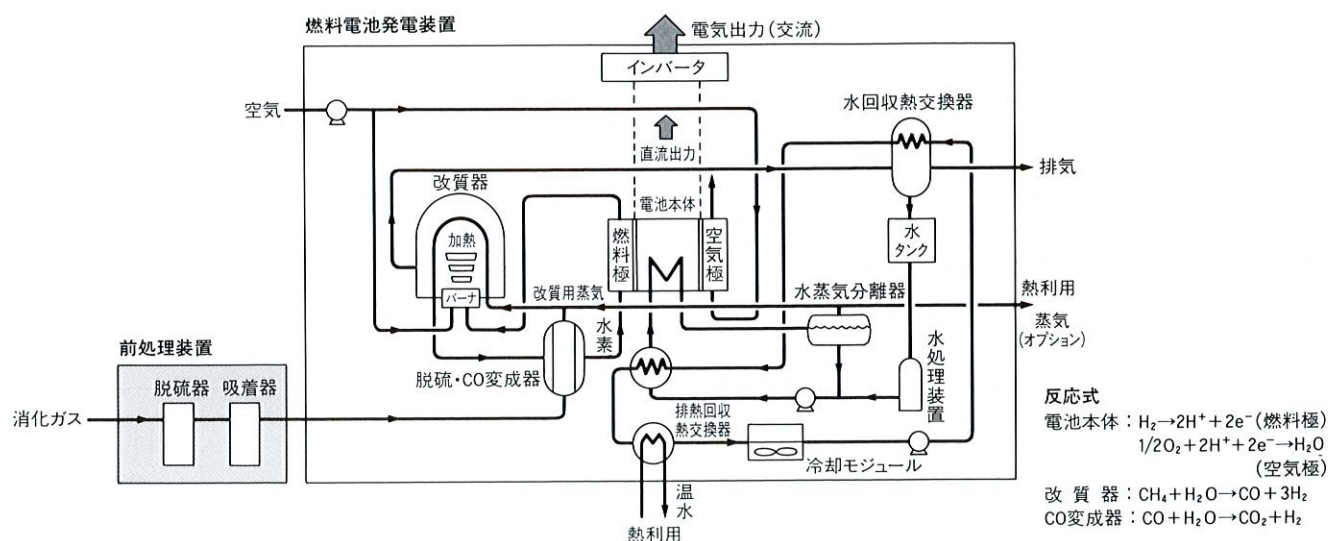


図2. 燃料電池プラントのシステムフロー 燃料ガスの前処理系を含めた燃料電池プラントのシステムフローを示す。

Process flow scheme of fuel cell power plant system

3.3 下水処理場への適用

図3は、メタン発酵処理設備をもつ下水処理場に燃料電池プラントを導入した場合の構成例を示す。燃料電池プラントから発生する電力は処理場内で消費し、排熱は消化ガスタンクに供給して汚泥の加温(約47°C)に利用する。これにより、排熱を含めた総合エネルギー効率の高いシステム構築が可能となる。

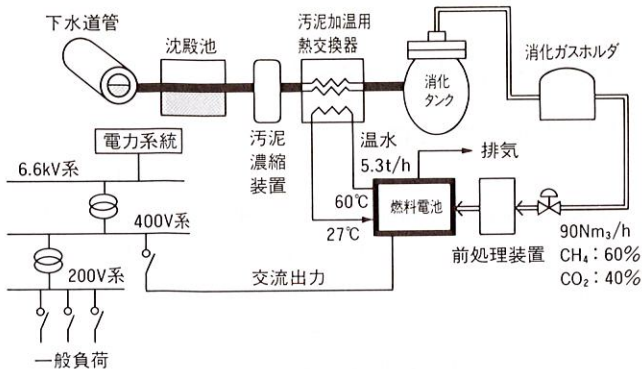


図3. 燃料電池プラントの下水処理場への適用例 下水処理場から発生する消化ガスを燃料とする燃料電池プラントの適用例を示す。燃料電池の排熱を消化タンクの加温に使用して排熱の有効利用を図っている。

ADG-fueled FCPP system applied to sludge treatment center

3.4 前処理装置の選定

消化ガス中には、硫化水素、アンモニア、塩化物などの不純物が含まれており、その含有量は都市ガス仕様の燃料電池プラントの許容値より高い場合が多い。そのため、これらの不純物をあらかじめ除去する前処理装置が必要となる。横浜市の場合、ガスエンジン用の既設脱硫設備があり、残留硫化水素の除去のため乾式脱硫と活性炭を組み合わせた前処理装置を選定した。また試験条件として、メタン濃度を变化させたときの運転特性を把握するために、PSA (Pressure Swing Adsorption) 装置を設置してメタン濃度を变化させることができる構成とした。

3.5 消化ガスによる運転検証結果

まず、ベンチスケール装置により燃料処理系の特性評価試験を行った。図4に、消化ガス中のメタン濃度を变化させたときの改質器、CO 変成器の反応特性を示す⁽³⁾。メタン濃度の低下に伴いメタン転化率は下がるが、変成器出口のCO 濃度はつねに1%以下であり、プラントの運転に支障のないことを確認した。

運転検証では、横浜市北部汚泥処理センター内に200kW オンサイト型燃料電池プラントを設置して実機試験を行った。図5に実機設備の外観を示す。96年2月の発電は、世界初の消化ガスによる燃料電池発電である。

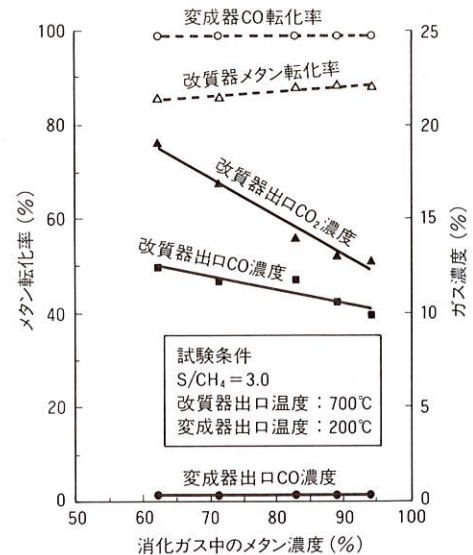
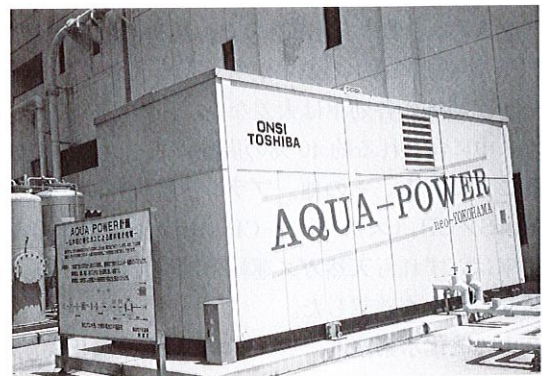
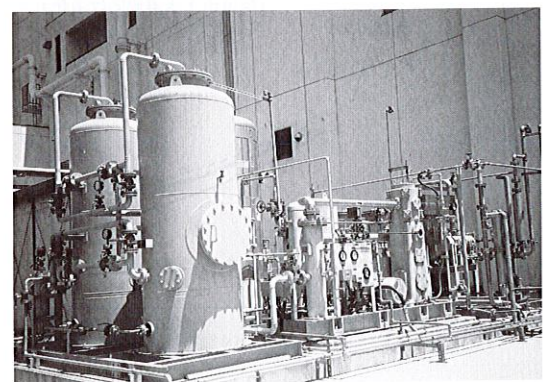


図4. 改質器およびCO 変成器の反応特性 消化ガス中のメタン濃度を变化させたときの改質器とCO 変成器の反応特性に関して、ベンチスケール試験で得られた結果を示す。

Bench-scale test results of reactor performance for reforming and shift reaction



(a)燃料電池発電プラント



(b)前処理装置

図5. オンサイト型燃料電池実証プラント 下水処理場に設置した実証プラントの外観を示す。

Views of demonstration plant : (a) FCPP, (b) pretreatment unit

表 2. 燃料電池プラントの標準仕様と消化ガス運転検証結果の比較
Comparison of power plant characteristics utilizing standard natural gas and ADG

項目	標準機プラント仕様	消化ガス運転検証結果
定格出力 (kW)	200	200
発電効率 (%)	40	38
FPS 効率 (%)	88	82
電池効率 (%)	53	52
インバータ効率 (%) × 補機効率 (%)	89	89
燃料転換率 (%)	91	92
スチーム/CH ₄	3.25	3.25
水素利用率 (%)	80	79
酸素利用率 (%)	60	60
原燃料	天然ガス 13 A	消化ガス
CH ₄ (%Vol.)	100 (max.)	60~64
CO ₂ (%Vol.)	3 (max.)	36~40
全硫黄 (ppmv)	30 (max.) / 6 (average)	3~64
アンモニア (ppmv)	< 1	検出されず
塩素分 (ppmw)	0.05	0.1 から 23

(注) 消化ガスの原燃料性状は、横浜市の実測値である。数値の幅は季節変動による。

200 kW 燃料電池プラントによる検証試験結果を表 2 に示す。ここでは、天然ガスを燃料とする標準型燃料電池発電プラントと比較して示した。

サブシステムの効率を比較すると、燃料処理系の効率（以下、FPS 効率と略記）の違いがもっとも大きく、電池、インバータ、補機の各効率は大きな差はない。FPS 効率の違いは、消化ガス中に含まれる約 40% の炭酸ガスを改質器で昇温していることによる。その他、プラント特性にかかわる燃料転換率、S/CH₄（スチームと CH₄ の比）、水素利用率、酸素利用率はいずれも天然ガス運転と同様であり、発電運転に問題ないことを確認した。

表 2 中の硫化水素濃度、アンモニア濃度、塩化物濃度は、

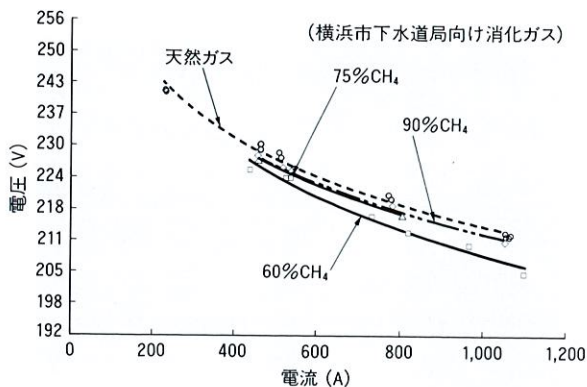


図 6. 電池本体の運転特性 天然ガス運転時の電流-電圧特性と、消化ガス中のメタン濃度を 60% から 90% まで変化させたときの電流-電圧特性を比較して示す。

Current and voltage characteristics of natural gas and ADG operation

原燃料（前処理装置上流）の測定値を示しているが、燃料電池プラント入口ではいずれも許容範囲内であり、前処理装置は十分性能を発揮していることも確認した。

図 6 は、炭酸ガスとの比率によるメタン濃度をパラメータとしたときの電池本体の電流-電圧特性を示す。燃料中の炭酸ガスの影響により、消化ガスでは改質ガス中の水素濃度が低くなるために電圧は低下するが、特性の急激な低下はなく安定しており、良好であった。このことから、十分に安定な燃料電池発電が可能であることを検証できた。

4 バイオガス利用システム

4.1 バイオガスとは

バイオガスとは、ビール工場などの食品製造工場から出る廃水を下水汚泥と同様にメタン発酵処理した際に発生する発酵ガスを指す。その成分は消化ガスとほぼ同じで、メタン成分が約 60~70%、炭酸ガス成分が約 30~40% の低カロリーガスであり、微量の硫黄成分や塩化物なども含まれている。食品製造工場の廃水処理方法は、従来大型の沈殿槽を使用した好気性処理方式が主流であったが、80 年ころからの技術進歩により、現在ではメタン発酵処理方式が主流となりつつある。発生したバイオガスは、消化ガス同様、現在、ほとんどがボイラ燃料として利用されているが、今後は、消化ガス燃料電池システムの適用が増加していくものと考えられる。

4.2 食品製造工場への適用

図 7 にメタン発酵処理設備をもつ食品製造工場に、燃料電池プラントを導入した場合の一般的な構成例を示す。基本的には下水処理場に適用したシステムと同様であるが、有機物を含む食品廃水は、あらかじめ pH 調整されて中性に近い状態でメタン発酵リアクタに供給され、メタン発酵処

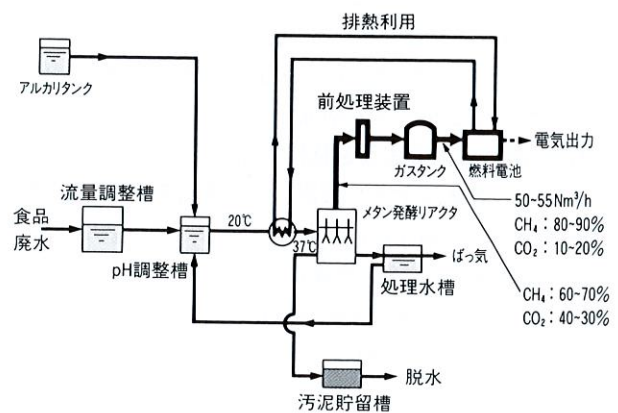


図 7. 燃料電池プラントの食品廃水処理分野への適用例 食品廃水処理で発生する消化ガスを燃料とする燃料電池プラントの適用例を示す。排熱をメタン発酵リアクタの加温に使用する。

Biogas-fueled FCPP system applied to food industry

理によりバイオガスが発生する。燃料電池発電プラントから発生する電力は工場内で消費し、排熱はメタン発酵リアクタの加温（約37℃）に利用される。

4.3 前処理装置の選定

下水処理場の場合と同様に、バイオガス中には硫化水素、アンモニア、塩化物が含まれており、その含有量は燃料電池プラントの許容値を超える場合が多い。そのため、これら不純物を除去する前処理装置が必要となる。

一般に食品製造工場では、既設のpH調整用としてNaOH供給設備が整っていること、高濃度の硫化水素変動にも対応可能であること、CO₂吸収により高濃度メタン燃料が得られ効率向上に寄与することなどから、アルカリ吸着脱硫方式が適している。

なお、当社ではすでに2社のビール会社に燃料電池プラントを納入しており、いずれも本年6月に運転を開始した。

4.4 生ごみ処理分野への適用

生ごみの発生量は年々増加し、最終処分場の確保が問題となっている。そこで、家庭やレストランから出る生ごみを集めて、上述の下水汚泥や食品廃水同様にメタン発酵処理し、ごみを減容化することが提案されている。

図8に生ごみ分野への適用構想を示す。レストランなどから回収された生ごみを破碎し、予備発酵の後にメタン発

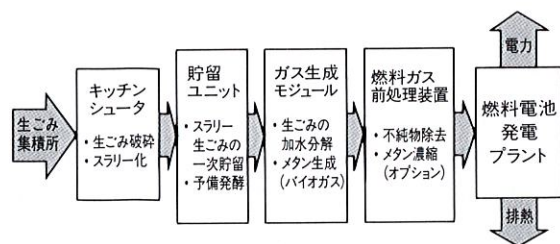


図8. 燃料電池プラントの生ごみ処理分野への適用例 生ごみを破碎し、予備発酵の後バイオガス化して燃料電池発電を行う。

FCPP system applied to garbage treatment system

酵によりバイオガス化する。このバイオガスには約70%のメタンガスが含まれており、前処理装置により有害なガス成分を取り除き、燃料電池に供給する。このシステムの実用化に向けて、発生するバイオガスの組成分析や運転検証試験を98年度から開始する予定である。

5 あとがき

燃料電池発電プラントは、天然ガスやLPGだけでなく消化ガス、バイオガスなどをも利用できるコジェネレーションシステムであることを紹介した。

当社では、今後とも、客先ニーズに合わせたより具体的なシステム提案を行い、21世紀の快適で質の高い地域環境の創造に燃料電池を役だてていきたい。

文 献

- (1) 竹田信治, 他. 消化ガスを用いた燃料電池. OHM. 10月号, 1997, p. 32.
- (2) 草間伸行, 他. 第5回 FCDIC 燃料電池シンポジウム講演予稿集. 1998, 5月, p.78-83.
- (3) 中山芳夫, 他. Fuel Cell seminar 1997, p.702-705.



高橋 元洋 TAKAHASHI Motohiro

燃料電池事業推進部 プラント担当主務。
燃料電池システムの開発・設計に従事。
Fuel Cell Systems Div.



草間 伸行 KUSAMA Nobuyuki

燃料電池事業推進部 システム技術担当主務。
燃料電池システムの開発・設計に従事。
Fuel Cell Systems Div.



和田 克也 WADA Katsuya

電力・産業システム技術開発センター 化学・絶縁材料技術担当。
燃料電池プラントの反応機器の研究・開発に従事。
Power and Industrial Systems Research and Development Center