

# 小型消化ガス利用固体高分子形燃料電池 コージェネレーションシステムの開発

村井正夫\* 木下和夫\*\* 多田啓太郎\*\*

## Development of a Compact Co-generation System with ADG using PEFC

by Masao MURAI, Kazuo KINOSHITA, & Keitaro TADA

A compact co-generation system, equipped with a PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell) which uses ADG (Anaerobic Digestion Gas) as fuel, has been developed and tested. Test results were favorable, indicating that this system used at a sewage treatment plant would reduce energy consumption, effectively make use of ADG produced during sludge treatment, make available electric power as well as hot water, and cause less impact on the environment.

**Keywords:** (Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC), Sewage plant, Digestion sludge, Self-sufficiency rate, Anaerobic Digestion Gas refining equipment (ADG refining equipment), EBARA BALLARD CORPORATION, Residential 1 kW PEFC co-generation system

### 1. 概要

燃料電池は発電効率が高く、電力と同時に温水を取り出すことができ、且つ環境への負荷が小さいコージェネレーション機器である。下水処理場の汚泥処理施設などで発生する消化ガスを燃料として燃料電池を利用することができれば、下水処理場内のエネルギー自給率の向上に有効で、且つ経済的なシステムを構築できる。

当社では2001年9月から約1年間にわたり、250 kW級固体高分子形燃料電池（以下PEFC）を使用した下水汚泥消化ガス利用PEFCコージェネレーションシステムの実証試験を実施したが、更に小規模の下水処理場にもこのシステムを適用することを検討してきた。

このような経緯から、10 kW規模まで適用が可能なPEFCコージェネレーションシステムの構築を目的として、新たに省電力型の小型消化ガス精製装置を開発し、PEFCと組み合わせた実証試験を行い、システムの有効性を確認した。今回使用したPEFCは、現在家庭用として開発が進んでいるタイプで、荏原バラーD株が2002年度準商用機として開発した都市ガスを燃料とする家庭

用1 kW級PEFCである。

実証試験は日本下水道事業団との共同研究として松本市宮渕浄化センターの御協力のもとに松本市宮渕浄化センター内で実施した。以下に実証試験の概要を報告する。

### 2. 試験内容

試験場所：松本市宮渕浄化センター

使用燃料：消化ガス メタン約60%、二酸化炭素約40%  
(既設消化ガスタンクから導入)

系統連系：系統連系有り、みなし低圧契約  
(発電した電力はセンター内で消費)

試験期間：2003年4月～2004年3月

### 3. システム概要

#### 3-1 消化ガス精製方式の検討

都市ガスを燃料とするPEFCは、改質器、CO変成器、選択酸化器などからなる燃料処理システムを備え、メタンを主成分とする都市ガスから水素を取り出し燃料としている。

消化ガスはメタンと二酸化炭素を主成分とし、メタン濃度は一般的に約60%である。都市ガス向けに開発されたPEFCに消化ガスをそのまま供給しても、燃料処理システムにおけるマスバランス、エネルギーバランスが崩れ運転が困難となる。この解決方法として、PEFCを消化ガス仕様として一から設計し直す方法と、消化ガス

\* 新エネルギー事業本部 燃料電池事業統括 コージェネレーション部

\*\* 同 同 システム開発部

\*\* 環境エンジニアリング事業本部 水処理統括 上・下水道技術室 技術第二部

をPEFCに供給する前工程においてその濃度を調整する方法が考えられる。消化ガスを燃料とするPEFCの市場規模を考えた場合、前者の解決方法では量産効果によるPEFCのコストダウンが期待できないことから、本開発では後者の解決方法を選択し、消化ガス精製装置の開発を行うに至った。

消化ガス精製装置でメタンを濃縮する方法として、ジエタノールアミン水溶液（以下DEA水溶液）による二酸化炭素吸収法を採用した。二酸化炭素の吸収剤にはDEA水溶液のほかに、水や無機アルカリ水溶液による吸収法などを検討したが、装置の小型化、取扱いの容易さ、価格などを考慮して、有機アルカリ水溶液であるDEA水溶液に決定した。また、DEA水溶液の再生にPEFCからの排熱温水を利用することができ、エネルギーを有効に利用できることもDEA水溶液を採用した理由の一つである。

当社では前述のように2001年9月から約1箇年にわたり消化ガスを燃料とする250 kW級PEFCの実証試験を実施した。このときは図1に示すような消化ガス精製装置を設置し、燃料として供給する消化ガスのメタン濃度

調整を行った。

消化ガス精製装置ではDEA水溶液が吸収塔と再生塔の間を循環し、吸収塔では二酸化炭素の吸収を行い、再生塔では二酸化炭素を放出する連続的な処理を行っている。このプロセスにおいて、吸収塔におけるDEA水溶液の二酸化炭素吸収性能は温度が低いほどよく、逆に再生塔ではDEA水溶液の温度が高いほうが二酸化炭素を放出しやすくなる特性がある。

250 kW級のような大出力PEFCでは燃料消費量が多くなることから処理すべきガス量が多く、そのためDEA水溶液の二酸化炭素に対する吸収/放出の性能が少しでも良い点で運転を行い、処理ガス量に対する吸収塔、再生塔の容積を小さくして装置全体が異常に大きくなることを防ぐ必要があった。これを実現するために、構成するポンプや熱交換器などの機器を多くしてDEA水溶液の温度制御をすることが必要となり、運転管理の複雑さや、消化ガス精製装置での消費電力の増大につながっていた。

小出力PEFCと組合せる消化ガス精製装置に、大出力PEFC向けと同じシステムを採用した場合、発電出力に

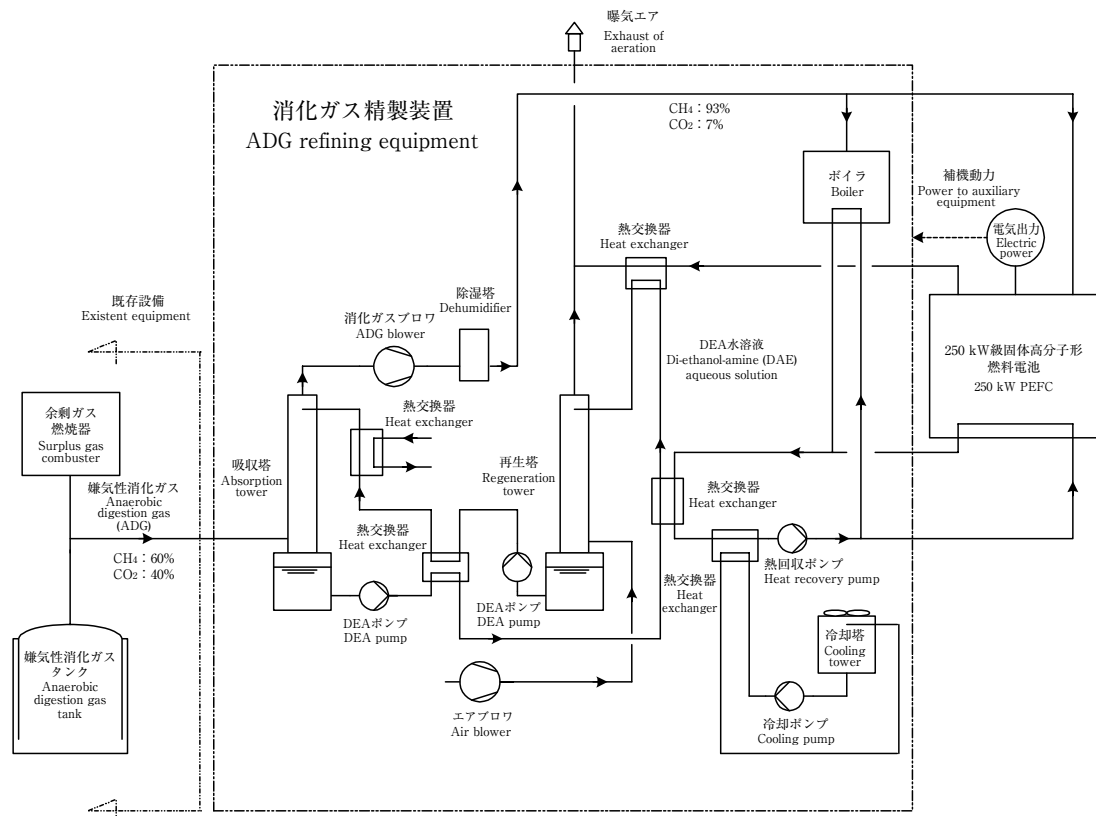


図1 消化ガス利用250 kW級PEFCコージェネレーションシステム  
 Fig. 1 System diagram of 250 kW PEFC co-generation system with ADG refining equipment

占める消化ガス精製装置での消費電力の割合が増大し、且つ装置の小型化に不利となる欠点があった。

### 3-2 小型消化ガス精製装置

小型消化ガス精製装置では装置の小型化、及び低消費電力化を図るために、

- (1) 再生塔を再生タンクとし、吸収塔からの逆流方式を強制逆流から自然流下とすることによりDEAポンプを1台に削減
  - (2) 冷却塔を空冷放熱器とすることにより冷却ポンプと熱交換器を削減
  - (3) DEA水溶液の温度制御を二酸化炭素の吸収/放出の両方に都合の良い中間温度とすることにより熱交換器を削減
  - (4) 保有するDEA水溶液が少量であり、DEA水溶液の昇温に必要な加熱量が少なく済むため、ボイラの代わりに電気ヒータを採用
- など、機器の大幅な削減を行った。

ただし、小型消化ガス精製装置では、システムの簡略化のため濃縮できるメタン濃度は従来方式に比べて若干低くなっている。

小型消化ガス精製装置の主要機器構成及びシステムフローを図2に示す。

小型消化ガス精製装置における精製工程は以下のとおりである。

#### ①消化ガスの濃縮工程

消化ガスタンクから消化ガス精製装置に導入した原料消化ガスはガスブロウで第一吸収塔に送られ、吸収塔下部から上部への流れとなる。一方、吸収塔の上部からはDEA水溶液を一定の流量で供給し、消化ガスと対向流方式で直接接触させることにより、原料消化ガス中の二酸化炭素はDEA水溶液に吸収されるため、吸収塔出口での消化ガスのメタンガス濃度は濃縮される。装置を小型化する目的から吸収塔は塔高さを低く抑え2本直列に設置しており、第一吸収塔である程度濃縮した消化ガスは第二吸収塔で更にメタン濃度を濃縮しPEFCへ供給される。

#### ②DEA水溶液の再生工程

吸収塔において消化ガス中の二酸化炭素を吸収したDEA水溶液は二酸化炭素に対する吸収能力が低下するため、吸収塔から自然流下により再生タンクに返流され、エア曝気により再生される。エア曝気による再生工程はDEA水溶液温度が高いほど効率が良くなるため、再生タンクではPEFCの温水排熱を利用した加温を併せて行っている。再生されたDEA水溶液はDEAポンプにより再循環され、連続的に消化ガスの精製を行うことができる。

### 3-3 主要機器仕様

#### (1) 小型消化ガス精製装置

小型消化ガス精製装置の外観を写真1に、その仕様を

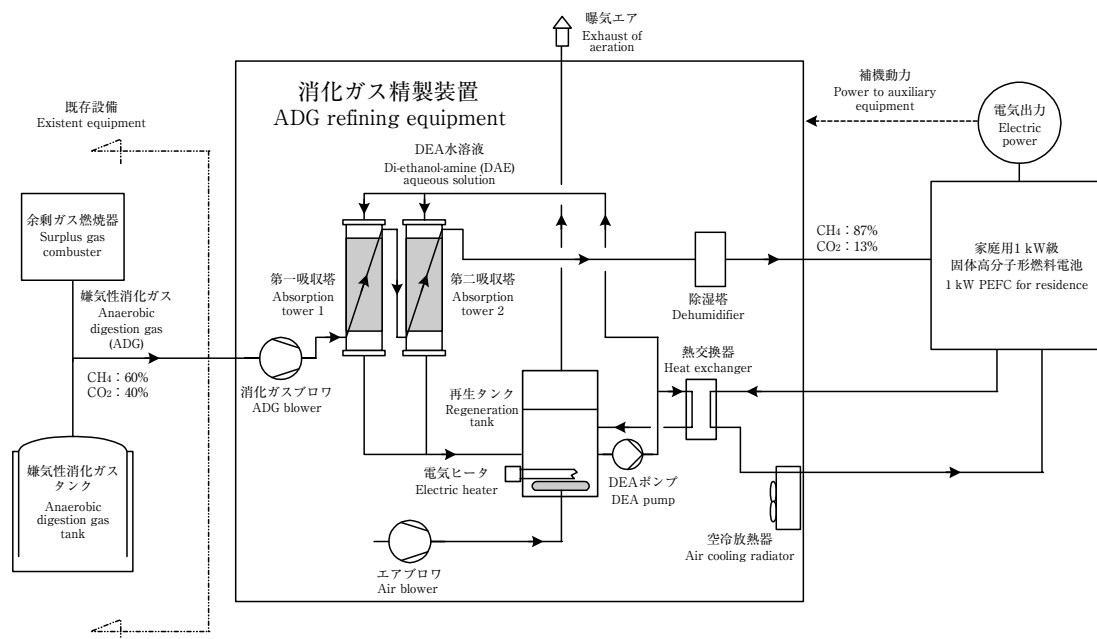


図2 小型消化ガス利用PEFCコージェネレーションシステムフロー

Fig. 2 System diagram of PEFC co-generation system with compact ADG refining equipment



04-116 01/205

写真1 小型消化ガス精製装置外観

Photo 1 Overview of compact ADG refining equipment



04-116 02/205

写真2 家庭用1 kW級PEFC (2002年度モデル)

Photo 2 Overview of residential 1 kW PEFC 2002 model

表1に示す。

(2) PEFC

PEFCの外観を写真2に示す。本PEFCは荏原バラード(株)において2002年度準商用機として開発された都市ガスを燃料とする家庭用1 kW級PEFCであるが、消化ガス燃料で運転するにあたっては、PEFC内部の機器構成は変更せずに制御パラメータの変更だけで対応した。表2には家庭用1 kW級PEFCを都市ガスを燃料として運転した場合と消化ガスを燃料として運転した場合の仕様を各々示す。

4. 試験結果

図3に結果の一例として2003年11月21日の運転データトレンドを、図4にシステムエネルギー収支を示す。図には、精製後ガスメタン濃度、PEFC発電出力、

表1 小型消化ガス精製装置仕様

Table 1 Specifications of compact ADG refining equipment

項目 Item	仕様 Specification	
形式 Type	屋外自立型パッケージ Package unit type for indoor use	
電源 Power	AC100 V	
外形寸法 (mm) Size	W 1050 × H 1950 × D 800	
入口ガス Inlet gas	消化ガス (CH <sub>4</sub> : 約60%, CO <sub>2</sub> : 約40%) ADG (CH <sub>4</sub> : 60%, CO <sub>2</sub> : 40%)	
出口ガス Output gas	組成 Composition	精製ガス (CH <sub>4</sub> : 87% ± 2%, CO <sub>2</sub> : 13% ± 2%) Refined gas (CH <sub>4</sub> : 87 ± 2%, CO <sub>2</sub> : 13 ± 2%)
	供給能力 Supply capacity	最大5.5 l/min Max. 5.5 l/min
入力温水 Inlet hot water	PEFC排熱回収温水 (約60℃) Heat recovery hot water from PEFC (about 60℃)	
出力温水 Outlet hot water	余剰熱は空冷放熱器で強制放熱し排熱回収水としてPEFCへ Return to PEFC with about 35℃, which is cooled down by cooling fan	
補給水 Replenishment water	市水 Town water	

表2 家庭用1 kW級PEFC (2002年度モデル) 仕様

Table 2 Specifications of residential 1 kW PEFC 2002 model

	都市ガス仕様 For town gas	消化ガス仕様 For ADG gas
外形寸法(mm) Size	W 900 × H 900 × D 280	W 900 × H 900 × D 280
燃料 Fuel	都市ガス13A Town gas 13A	消化ガス (CH <sub>4</sub> 87 ± 2%) ADG gas (CH <sub>4</sub> 87 ± 2%)
発電出力 Output power	1000 W (AC端)	800 W (AC端) ※目標値 (Target value)
発電効率 Electric efficiency	34% (LHV)	30% (LHV) ※目標値 (Target value)
排熱効率 Heat recovery efficiency	58% (LHV)	50% (LHV) ※目標値 (Target value)
系統連系 Connection to commercial grid	要	要
排熱形式 Heat recovery media	約60℃温水 Hot water (60℃)	約60℃温水 Hot water (60℃)

PEFC排熱出力、消化ガス精製装置消費電力、消化ガス精製装置消費熱量及び精製後消化ガス流量を示す。

4-1 精製装置の性能及び安定性

図3に示すように精製後の消化ガスのメタン濃度は燃料電池の発電開始から約100分後に安定し、それ以降は87 ± 2%の範囲で安定しており、初期の目標を満足した。運転開始初期にメタン濃度が高いのは、燃料電池が発電を開始するまでは一旦濃縮されたガスを供給ブロワ上流



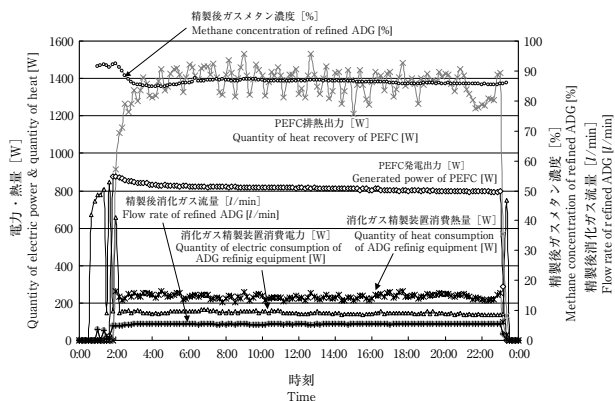


図3 運転データトレンド  
Fig. 3 Trend data

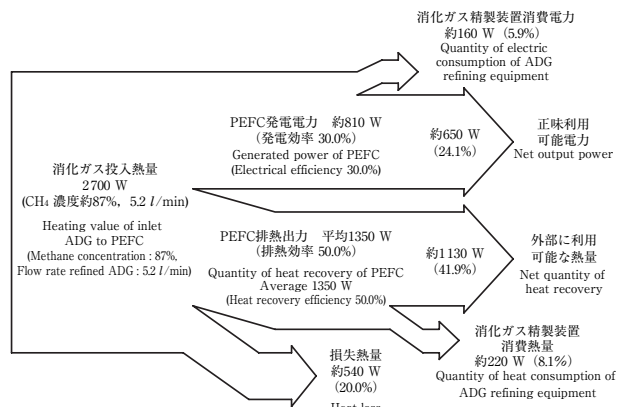


図4 システムエネルギー収支  
Fig. 4 System energy balance

に循環しており、この間に二酸化炭素の吸収が進むためである。本実証運転の期間中、使用しているDEA水溶液の交換はしていない。250 kW級PEFCの実証試験で得られた結果から推定して1000時間以上の継続使用が可能であると考えられる。

#### 4-2 PEFC発電性能

PEFCの発電回数は120回、積算運転時間は750時間で総発電量は594 kWhに達した。PEFCの発電出力は図3から明らかのように810 W以上の出力が得られ初期の目標を達成した。図3に示した使用消化ガス量及び組成(メタン87%-二酸化炭素13%)から入力熱量を算出し、発電電力を除いて求めた発電効率は30.0% (LHV基準: 低位発熱量基準)に達し、目標とした効率が得られた。

また、消化ガス精製装置では約160 Wの電力を消費しているので本システムにおいては約650 Wの電力を外部に供給することができる。ただし、現有設備においては消化ガス精製装置で使用しきれないPEFC排熱を除去するために空冷放熱ファンによる強制冷却を行っているため、それを削減できれば約40 Wの消費電力を抑えることができ、外部に供給できる電力は約700 Wとなる。

#### 4-3 PEFC排熱性能

PEFC排熱出力は平均1350 W以上が得られ、目標の値を達成した。図3に示すように出力はある一定のサイクルで変動している。これは空冷放熱ファンの制御方法に起因していると推定され、消化槽の加温に排熱を利用するなどの適切なコージェネレーションに利用する場合には安定した出力を示すと考える。発電効率と同様に求めた排熱効率は平均50.0% (LHV基準)であり、

発電効率と併せた総合効率は80.0% (LHV基準)に達した。前述のように精製装置のDEA水溶液の加温に約220 Wの排熱を利用しているため、消化槽の加温などに約1.1 kWの排熱を利用することが可能である。

### 5. まとめ

下水処理場におけるエネルギー自給率を向上させるため、10 kW規模まで適用が可能な消化ガス利用PEFCコージェネレーションシステムの構築を目的として実証試験を行った。その結果、精製システムの性能、発電性能及び排熱性能ともに初期の目標を達成することができた。特に発電と排熱を合わせた総合効率は80% (LHV基準)に達し、優れた性能をもつコージェネレーションシステムであることが確認できた。

今回は開発が進んでいる家庭用1 kW級PEFCを使用した。この成果は実用規模である更に大型のシステムへ反映が可能である。今回の実証運転では発電量の約20%を精製装置で消費する結果となったが、これは小規模の装置であっても一定の制御電源が必要で、発電電力に対して相対的に比率が大きくなるためである。ただし、これはマイコンの利用や制御機器の簡素化などにより省電力化が可能であり、また、発電規模が増大するにつれ制御電源の占める割合が低下すると考える。別途行った10kW規模以上を対象とした消化ガス精製装置の試験運転においては、消費電力は発電量の10%程度となっており、発電規模の増大とともに外部に出力できる電力比率は増加するものと考えられる。

### 6. 謝辞

本実証試験を実施するにあたり関係者の御協力のおかげ

げで期間内に試験を遂行し、今後の消化ガス利用に関する有効な運転データを得ることができた。特に多大なる御指導をいただいた日本下水道事業団、及び試験実施場

所の使用許可をいただき、建設当初より多大な御協力、御助言をいただいた松本市宮渕下水処理センターの関係各位に心から感謝の意を表する。

