M14 スターリングエンジンを用いた廃棄物焼却・発電システムの実証試験

Examination of a Waste Incineration and Power Generation System Using a Stirling Engine

○正 関谷 弘志 (早大院)
正 篠山 鋭一 (E&E SYSTEM)

計良 満 (E&E SYSTEM)

Hiroshi SEKIYA, Waseda University Graduate School, Nishitomita 1011, Honjyo-shi, Saitama
Mitsuru KERA, E&E SYSTEM Co., Ltd., Namiki 1-2-1, Tsukuba-shi, Ibaraki
Eiichi SHINOYAMA, E&E SYSTEM Co., Ltd., Namiki 1-2-1, Tsukuba-shi, Ibaraki

Wastes are defined as a new energy and desired to utilize an energy source beneficially. The authors present a waste incineration and power generation system constructed by an incinerator and a Stirling engine generator. The incinerator has a maximum incineration capacity of 49kg/h and is cooled by circulating water in the side walls in order to enable a long life and supply heat by a hot water. The Stirling engine generator is built up as a 2 piston type engine with driving mechanism including a PM synchronous generator. It is installed in a secondary combustion chamber of the incinerator and heated by combustion gas and an auxiliary kerosene burner. This paper describes the examination results of the system using firewoods of a cherry tree and a black locust as fuel. The power generation of 2kW and the heat supply capacity of 33kW are obtained by average.

Key Words : Waste Incineration, Incinerator, Stirling Engine, Power generation.

1. 緒言

国内の一般廃棄物は年間約 5000 万 t、産業廃棄物は 4 億 2000 万 t 程度と言われ、地球環境問題やエネルギー問題への対応策として、これらの処理方法や利活用の方策が注目されている。新エネルギーの一つに定義される廃棄物は有益なエネルギー資源であり、効率的な利活用が可能となれば、処理費用の削減、収集負荷や不法投棄の解消など、経済的にも、また、都市行政の面でも大きなメリットとなる。

著者らは、可燃性廃棄物の利活用に着目し、廃棄物を出す現場で有効にエネルギー化する手法を検討している。ここでは、既存の廃棄物焼却炉⁽¹⁾に 5kW スターリングエンジン発電機⁽²⁾を搭載した廃棄物焼却・発電システムについて、市販の薪を燃料とした場合の実証試験における焼却性能およびエンジン発電性能の検討結果を報告する。なお、著者らは、トマト栽培用ビニールハウスの実践農場において、ダムの流木を燃料とした同システムの実証試験を行い、スターリングエンジンによる発電および焼却炉からの熱出力が可能であることを報告⁽³⁾済みである。

2. 5kW スターリングエンジン発電機

5kW スターリングエンジン発電機の外観を図 1 に示す。本機は、2 ピストン形機関構成、機械式駆動機構を採用

し、高温（膨張）シリンダと再生器およびクーラを内蔵した熱交換器シリンダを並列に配置したキャニスター形エンジンである。膨張ピストンと圧縮ピストンの位相差は 90deg、掃気容積は 290cc であり、作動ガスにはヘリウム (He) ガスを用いている。本機の外形寸法は 700W×340D×830H 程度である。

本スターリングエンジン発電機は、業務用システム機器への搭載を目的に開発され、木質バイオマスや廃棄物等を熱源に用いることを前提としているため、角形状ダクト等の煙道内に受熱部であるヒータを設置しやすいエンジン構造となっている。図 1 に示すように、高温シリンダと熱交換器シリンダを結ぶヒータは U 字管を横一列に並べた伝熱フィン付き多管であり、ヒーターチューブが燃焼ガスの流れに直交する形状となっている。再生器ならびにクーラは中実円筒に設計され、商品化に際して低コスト化が期待できる。また、駆動部に PM 同期発電機を内蔵しており、クランク軸に直結されている。エンジン駆動時にはドライブを用いて本発電機をモータとして駆動させ、エンジン出力がバランスしたところでドライブを切断する。それ以降はエンジン出力の増大に従って発電機から三相電力が発生することになる。本スターリングエンジン発電機の開発目標性能は、He ガス平均圧力 6MPa、高温室 He 平均温度

Fig.1 Overview of 5kW Stirling engine generator

Fig.2 Waste incineration and power generation system

Fig.3 Power generation unit (Back view of incinerator)

Fig. 4 Test data of waste incineration and power generation system using firewood as fuel

600℃、冷却水入口温度 25℃、回転数 1200rpm において、
最大発電出力：5kW

最高発電効率：35%（エンジン熱入力基準）

であった。既報告のように、本機スターリングエンジン発電機は、基本性能試験において、He ガス平均圧力が 5.3MPa のときに、最大発電出力 4.95W（@1387rpm）、最高発電効率 28.9%（@1005rpm：エンジン熱入力基準）であり、He ガス平均圧力および回転数が定格値より低いにも係らず開発目標とする 5kW をほぼ達成した。しかしながら、発電効率は開発目標を未達であり、この原因は内蔵している発電機の効率や機械損失等が考えられ、今後の課題として、これらの改善が必要である。

3. 廃棄物焼却・発電システム

本実証試験に用いた廃棄物焼却炉・発電システムの外観および焼却炉の背面に設置した発電ユニットを図 2、3 に示す。本システムは、熱放出のための温風発生用熱交換器を装備している。

本焼却炉は、最大焼却能力 49kg/h、火床面積 0.49m²に設計され、法規制に適合していることから設置時の届出は不要である。木屑、薪、紙、油ウエス、プラスチックやビニール類を焼却でき、これらの廃棄物は外気を遮断した定量投入装置から投入される。前面に大型の開放扉が装備されているので、大物の廃棄物も投入可能である。炉体の側壁は水冷ジャケットとなっており、温水によるサーマルサイクルが可能な構造である。また、ダイオキシン対策として背面に二次燃焼室が装備され、800℃以下の燃焼ガスは助燃用の灯油バーナによって再燃焼される。二次燃焼室を出た燃焼ガスはサイクロン式集塵装置により残留物を取り除かれ、クリーンな排気ガスとなって外気へ放出される。

図 3 に示した発電ユニットは、エンジン冷却用ラジエータや冷却水循環ポンプ等を組み込んだ架台の上にスターリングエンジン発電機が設置されており、ヒータ部の角形状ダクトを介して焼却炉に搭載可能である。

本システムは、スターリングエンジン発電機による発電と、焼却炉冷却水（温水）による温熱利用が可能である。焼却炉の問題点は廃棄物の有無によって連続運転が困難なことであるが、本焼却炉は助燃バーナを有しているため、廃棄物がない場合でも二次燃焼室内のヒータは助燃バーナによって加熱され、システムの連続運転が可能となる。本システムの消費電力は、焼却炉 1.35kW、発電ユニット 0.34kW（空冷ファン 70W×2、循環ポンプ 200W）、合計で 1.69kW である。

4. 実証試験結果

本システムの実証試験結果を図 4 に示す。燃料には、桜およびニセアカシアの長さ 35cm 前後の薪を用いた。

図 4 は、各部位の温度変化、薪の発熱量、二次燃焼用の灯油熱量、発電出力、放出された温水熱量、エンジン冷却熱量、エンジン回転数等の測定データを示している。燃料の薪は 20 分間隔で約 17kg を投入し、時間当たりの燃焼量は焼却炉の上限値 49kg とした。スターリングエンジン発電機は、電子負荷装置を用いて回転数一定の基に発電出力を制御した。また、焼却炉から出力される温水熱量は、温風発生用熱交換器を介して大気に放出した。

薪を燃焼させた炉内（一次燃焼室:PCC）の温度は 400℃以下であるが、スターリングエンジン発電機が設置されている二次燃焼室（SCC）は、ダイオキシン対策のため助燃バーナによって 800℃以上に保持されている。ヒータ周りの温度は平均 650℃程度であるが、200℃程度の温度差（MaHT-MiHT）が生じている。高温室 He ガス平均温度（HeHT）は 530℃程度であり、最高では約 600℃となった。図 4 に見られるように、投入される薪の燃焼および助燃バーナの ON-OFF 制御による燃焼の結果、各部の温度変化が生じていることが明らかである。また、当然のことながら、高温室 He ガス平均温度の変化に追従して発電出力（PG）は推移し、平均 2kW 程度である。薪および灯油の合計の燃焼熱量（CVF+KGH）は約 260kW となっており、温水熱量（WwQH）は約 33kW、冷却熱量（CwQH）は約 4.3kW であった。なお、15 時 10 分頃に燃焼用空気量の調整を行ったため、これ以降、各部位の温度が上昇し、発電出力は増大する傾向が見受けられた。

5. 結 言

以上のように、市販の薪を燃料として廃棄物焼却・発電システムの実証試験を行った。発電出力はやや小さいものの、安定的に平均 2kW 程度、また、温水出力 33kW 程度が得られ、本システムの実用性を立証することができた。今後、さらに実運転時の課題を抽出し、発電出力および熱出力の最適化等、実用化に向けた開発を進める予定である。

なお、本廃棄物焼却・発電システムの実証試験は、科学技術振興機構および中国の国家自然科学基金委員会の共催で進められている日本・中国研究交流（2011年度：バイオ燃料と太陽熱のハイブリッド加熱のスターリングエンジンによる熱電併給システム）の一環として実施されたものであり、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) <http://www.daito-co.com/seihin/IHJ.html>
- (2) 関谷・他 3 名、日本機械学会 第 12 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集、(2009)、p.27-28.
- (3) 関谷・他 3 名、日本機械学会 第 12 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集、(2009)、p.39-40.