A16 業務用スターリングエンジン熱電供給システムの多種熱源検討

Study on Various Heat Sources of Stirling Engine Power Generation and Heat Supply System for Business Use

正 関谷 弘志 (早大院)

○ 渡辺 康貴 (早大院)

Hiroshi SEKIYA, Waseda University Graduate School, Nishitomita 1011, Honjyo-shi, Saitama
Kouki WATANABE, Waseda University Graduate School, Nishitomita 1011, Honjyo-shi, Saitama

Because energy consumption by demand for electricity, air-conditioning and hot water supply is so large in the small-scale stores such as a restaurant and a convenience store, it is very effective in saving energy and environmental preservation to introduce a power generation and heat supply system. In this paper, examination in effect of introducing the system with various heat sources is conducted in these small-scale stores. The system consists of a Stirling engine generator, a combustor, an exhaust gas heat exchanger or air pre-heater, and a low temperature regenerative desiccant air-conditioner. From the results of examination using the biomass fuel (wood pellet, wood chip and firewood), it makes clear that reduction in CO₂ emissions is vastly realized, but running cost down is difficult because of current biomass fuel cost.

Key Words : Wood Biomass, Stirling Engine, Desiccant air-conditioner, Power Generation, Heat Supply, Small-Scale Stores

1. 緒 言

地球温暖化等の環境問題への対応策として、代替燃料による CO₂ 排出量の削減や省エネルギー化への取組みが重要な課題となっている。特に民生部門においては、業務用エネルギー消費量の削減に対する要求が大きく、工場や病院等の大規模施設では、熱電供給システム(コジェネレーションシステム)が導入されている。本研究で対象とするレストランやコンビニエンスストア等の小規模店舗においては、単位面積当たりの消費電力のみならず給湯需要も大きいにも係らず、熱電供給システムが導入された例は殆どない。

著者らは、省エネルギー化や CO₂ 排出量の削減を目指した業務用スターリングエンジン熱電供給システムを提案⁽¹⁾した。本システムは、発電に加えてエンジン排熱による低温再生デシカント空調機を用いた冷暖房と温水供給が可能である。ここでは、小規模店舗に木質バイオマス燃料による熱電供給システムを導入した場合の効果について述べる。

2. 熱電供給システムの基本構成

熱電供給システムの基本構成を図 1 に示す。本システムは、スターリングエンジン発電機、燃焼器、排熱回収熱交換器または燃焼空気用の予熱器、低温再生デシカント空調機から構成されている。低温再生デシカント空調機のみで冷暖房が不足する場合には電気式ヒートポンプ等を併用することになる。

本システムでは、ベース機として 5kW スターリングエンジン発電機((株)E&E SYSTEM 社製)⁽²⁾を採用する。本エンジン発電機は、最大発電出力 4.95W, 最高発電効率 28.9%(エンジン熱入力基準)を達成している。次章で述べるように、小規模店舗においては 50kW 程度までの電力需要がある。本研究では、5kW エンジン発電機をベースとして、4 気筒ダブルアクティング形機関構成とすることによって出力 20kW エンジン発電機を想定し、40kW エンジン発電機については、20kW エンジン発電機を 2 機用いることにする。

デシカント空調は除湿により冷房負荷を低減させる空調機であり、顕熱利用によって暖房も可能である。本システムでは、リターンエア除湿方式の低温再生デシカント空

調機(昭和鉄工(株)製)⁽³⁾を採用している。この低温再生デシカント空調機は 50℃~60℃程度の熱源で運転可能であり、スターリングエンジンの冷却水によって駆動される。スターリングエンジンは冷却水入口温度に対する熱効率の変化が小さく、低温再生デシカント空調機とのシステム化に適している。

3. 小規模店舗のエネルギー消費動向

本研究で対象とするレストランやコンビニエンスストアにおける一次エネルギー消費量⁽⁴⁾は年間 10,000 MJ/m²を超え、他の業務用施設に比較して非常に大きく、昨今の環境・エネルギー問題への対応から省エネルギー化が急務である。平均的な電力需要としては、レストランで 51.3kW, コンビニエンスストアでは 20.4kW となっている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

コンビニエンスストアの基本設備は冷凍機、空調機、照明、店内設備機器等、殆どが電力消費機器である。また、レストランでは照明の割合が最も大きく、冷凍機と店内設備機器を含めた電力需要はほぼ一定であるが、空調機のエネルギー需要は季節によって変動する傾向がある。このように、小規模店舗においては、大きな割合を占める年間を通じてほぼ一定な電力需要があり、これに熱需要と季節に応じた空調機用エネルギー需要の変動が加わることになる。したがって、高効率な熱電供給システムの導入によって省エネルギー化の可能性があり、ランニングコストの低減による経済効果、さらには CO₂ 排出量の削減が期待される。

4. 多種熱源の導入効果

本熱電供給システムはスターリングエンジンを搭載しているので、多種多様な熱源を利用できる。ここでは、CO₂ 排出量を削減する目的から、木質バイオマス(ペレット、チップおよび薪)を燃料とする場合の検討を行った。小規模店舗における本熱電供給システムと従来システム(商用電力と既存空調機器等)との省エネルギー性やランニングコスト、CO₂ 排出量の比較結果を表 1 に示す。従来システムの諸量⁽⁵⁾⁽⁶⁾は、夏季および冬季の平均的な電力および冷暖房能力等を示している。

まず初めに、電力⁽⁷⁾以外の熱源として都市ガス⁽⁸⁾を想定した場合の比較結果について述べる。前述のように、レストランは電力と熱の需要が一定量見込まれる店舗であり、熱電供給システムを導入したシステムを Type I、また、コンビニエンスストアは電力需要のみであり、Type II とした。これらのシステム仕様については参考文献(1)を参照願いたい。Type I はスターリングエンジンからの燃焼排熱で温水を生成し、さらにエンジン冷却水で低温再生デシカント空調機による冷暖房を可能とするシステムである。本システムでは、発電出力 40kW(20kW エンジン発電機×2)、デシカント空調機送風量を 6000m³/h(Type I-1)と 9600m³/h(Type I-2)に設定し、給湯熱量は 6.67kW である。従来システムに比べると電力と冷暖房能力は不足するので、商用電力による電力供給と電気式ヒートポンプ等の空調機運転が

Fig.1 Basic constitution of power generation and heat supply system using Stirling engine

必要であり、給湯熱量は過剰となる。表1に示したように、レストランにおいては、Type I-2のシステム効率が冷房時102%、暖房時115%に達し、省エネルギー性やランニングコストの面で改善がみられるが、両ケースともにCO₂排出量は大幅に増大することが分かった。また、Type IIは燃焼排熱を空気予熱に利用するとともに低温再生デシカント空調機によって冷暖房を行うシステムであり、発電出力5kW、デシカント空調機送風量1000m³/hである。本システムでは、電力は不足するものの、冷暖房能力はほぼデシカント空調機のみで網羅できる。コンビニエンスストアにおいては、給湯需要がないため供給エネルギーが有効に利用されておらず、導入効果が顕著ではない結果となった。

次に、木質バイオマス燃料とした場合の検討結果について述べる。各原料の価格は、平均的な価格としてペレット7.13円/kWh⁽⁹⁾、チップ5.58円/kWh⁽¹⁰⁾、薪4.94円/kWh⁽¹¹⁾を用いた。これらは原料のみの価格であり、実際に燃料とする場合には送料を考慮しなければならない。しかしながら、販売業者によって送料はまちまちであり、本検討では送料を無視した。表1に示したように、CO₂排出量(各原料は同等)については、レストランでは80%以上、コンビニでも30%以上の削減効果が見込まれる。ランニングコストについては、薪を用いた場合のみ低減可能であるが、ペレットやチップではコスト低減は難しいことが明らかとなった。しかし、特にチップの価格は販売業者による差異が大きく、チップ0.91円/kWh⁽¹²⁾の場合もあり、このときにはランニングコストは60%以上の低減が期待できる。

なお、本検討では、CO₂排出係数については、沖縄電力を除く電力会社9社の平均値0.362kg-CO₂/kWh⁽¹³⁾ならびに東京ガス公表値2.29kg-CO₂/kWh⁽⁸⁾を用いた。

6. 結 言

以上のように、小規模店舗向けスターリングエンジン熱

電供給システムについて木質バイオマス燃料の検討を行った。カーボンニュートラルであるので、木質バイオマスの場合にはCO₂排出量の大幅な削減が可能である。しかしながら、現状では、木質バイオマスの販売価格が高価であるため、ランニングコストの低減を確認できるレベルではない。今後の木質バイオマス利用機器の普及とともに、木質バイオマス燃料の生産量の増大、低価格化が望まれる。

参考文献

- (1) 関谷・他2名, 日本機械学会第13回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, (2010.12), p.69-72.
- (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, (2009.11), p.27-28.
- (3) <http://www.showa.co.jp/air/desiccant/index.html>
- (4) 猿田・他7名, 民生(業務)分野における温暖化対策技術導入マニュアル, (2004.2), 環境省地球環境局.
- (5) 高橋・他3名, 電中研 社会経済研究所 研究報告 Y05024, (2006.3).
- (6) 湯浅, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, (2001.9), p.1765-1768.
- (7) <http://www.chuden.co.jp/ryokin/index.html>
- (8) <http://eee.tokyo-gas.co.jp/>
- (9) <http://www.wisecrat.ne.jp/mitsuyoshi/7.1/pellet1000>
- (10) <http://www.pref.iwate.jp/~hp1017/kenkyu/naibu/gijutsu/40.pdf>
- (11) [http://www.kanayama-chip.com/firewood/Price list.htm](http://www.kanayama-chip.com/firewood/Price%20list.htm)
- (12) <http://zmchip.com/chipprice2309.html>
- (13) <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13319>

Table1 Effect of introducing power generation and heat supply system

		Restaurant						Convenience store			
System		Conventional		Type I - 1		Type I - 2		Conventional		Type II	
Power demand											
Power Lighting, etc.	kW	37.5		29.9		27.2		18.1	16.5	3.0	
A/C power	kW	50.0	—	—	—	—	—	4.9	—	—	—
Heating	kW	—	33.8	—	—	—	—	—	3.8	—	—
Power consumption	kW	—	—	10.1	—	12.8	—	—	—	2.0	—
Total	kW	87.5	71.3	40.0		40.0		23.0	20.3	5.0	
Air-conditioning and Hot water demand											
Cooling	kW	150.0	—	82.8	—	132.5	—	14.7	—	13.8	—
Heating	kW	—	135.2	—	114.0	—	156.3	—	15.2	—	19.0
Hot water	kW	6.67		35.9		35.9					
Energy utilization											
Energy consumed	kW	257.9	211.6	191.2		191.2		65.7	58.0	21.1	
Required energy	kW	—	—	85.7	36.9	46.1	29.4	—	—	44.0	38.6
System efficiency	%	—	—	77.6	93.9	102.2	114.6	—	—	79.3	103.9
Energy utilization eff.	%	75.3	84.8	53.9	71.6	76.8	90.8	49.9	54.7	49.4	59.4
Improvement rate	%	—	—	-28.4	-15.6	2.0	7.0	—	—	-1.0	8.7
Running cost (Commercial electricity +City gas)											
Electric power	¥/M	691.240	556.736	265.266	135.572	166.824	118.825	284.140	235.803	203.209	169.952
City gas	¥/M	41.893	41.893	489.560	489.560	489.560	484.178	0	0	96.069	96.069
Total	¥/M	733.133	598.629	754.826	625.132	656.384	603.003	284.140	235.803	299.278	266.021
Improvement rate	%	—	—	-3.0	-4.4	10.5	-1.6	—	—	-5.3	-12.8
Amount of CO2 exhaust (Commercial electricity +City gas)											
Electric power	t-CO2/M	15.20	12.39	5.21	2.24	2.80	1.79	6.00	5.29	4.01	3.52
City gas	t-CO2/M	0.76	0.76	18.65	18.65	18.65	18.65	0.00	0.00	3.09	3.09
Total	t-CO2/M	15.97	13.15	23.86	20.89	21.45	20.44	6.00	5.29	7.11	6.61
Improvement rate	%	—	—	-49.4	-58.8	-34.3	-55.4	—	—	-18.6	-25.0

Energy cost (Commercial electricity +Wood pellet)											
Electric power	¥/M	691.240	556.736	265.266	135.572	166.824	118.787	284.140	235.803	203.209	169.952
City gas	¥/M	41.893	41.893	655.276	655.276	655.276	655.276	0	0	10.712	108.712
Total	¥/M	733.133	598.629	920.542	790.848	822.100	774.063	284.140	235.803	213.921	278.664
Improvement rate	%	—	—	-25.6	-32.1	-12.1	-29.3	—	—	-9.8	-18.2
Amount of CO2 exhaust (Commercial electricity +Wood pellet)											
Electric power	t-CO2/M	15.20	12.39	5.21	2.24	2.80	1.79	6.00	5.29	4.01	3.52
City gas	t-CO2/M	0.76	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	t-CO2/M	15.97	13.15	5.21	2.24	2.80	1.79	6.00	5.29	4.01	3.52
Improvement rate	%	—	—	67.4	83.0	82.4	86.4	—	—	33.0	33.5

Running cost (Commercial electricity +Wood chip)											
Electric power	¥/M	691.240	556.736	265.266	135.572	166.824	118.787	284.140	235.803	203.209	169.952
City gas	¥/M	41.893	41.893	512.824	512.824	512.824	512.824	0	0	85.079	85.079
Total	¥/M	733.133	598.629	778.090	648.396	679.648	631.611	284.140	235.803	288.288	255.031
Improvement rate	%	—	—	-6.1	-8.3	7.3	-5.5	—	—	-1.5	-8.2

Running cost (Commercial electricity +Firewood)											
Electric power	¥/M	691.240	556.736	265.266	135.572	166.824	118.787	284.140	235.803	203.209	169.952
City gas	¥/M	41.893	41.893	454.006	454.006	454.006	454.006	0	0	75.320	75.320
Total	¥/M	733.133	598.629	719.272	589.578	620.830	572.793	284.140	235.803	278.529	245.272
Improvement rate	%	—	—	1.9	1.5	15.3	4.3	—	—	2.0	-4.0

(M :month)

(M: month)