

## 4-3 ごみ焼却場等への新エネルギー導入構想

### (1)新エネ導入の構想

ごみ焼却工場であるクリーンセンターの排熱を利用し、スターリングエンジン発電機を導入して熱の電力変換→焼却工場での購入電力削減を狙う構想である。

スターリングエンジンは今までのエンジン＝内燃式とは異なる“外燃式”であり、幅広いエネルギー源が利用できることで注目を集めている。(詳細後述)

特に離島では、自動車の廃油、廃タイヤ、産業や事業系からの廃油をも電力に変換できるシステムとしてスターリングエンジン発電システムが注目される。

### (2)クリーンセンターの現状

久米島で収集した可燃ごみ(家庭ごみ、事業者ごみ)はこのクリーンセンターですべて焼却されている。方式は機械化バッチ燃焼式(ストーカー炉)で、処理能力は20t/日、10tの処理能力の焼却炉が2系列あり、現在の実処理量は1日14~15t程度になっていて1日8時間運転している。

焼却施設は平成2年に竣工したが、ダイオキシン類の低減化対策が必要になったことから平成13年に大規模改造工事を行い、煤塵除去のための集塵装置、排ガス高度処理施設、灰の固形化施設も整備され公害防止基準を達成し今日に至っている。

焼却熱の利用に関しては設備規模が20tであることから発電設備導入の一般的基準に達せず、発電設備はなく、ごく一部を給湯に利用している以外はすべて大気中に放出されている。

ごみ焼却の現在の流れは次のようになっている。

#### 【ごみの流れ】

ごみピットに貯められているごみはクレーンでホッパーに入り、焼却炉で焼却される。焼却炉内では、排熱を利用した乾燥装置で水分を蒸発させた上で燃焼させるが、燃え残った未燃焼分も後燃焼装置で完全に燃焼させる。

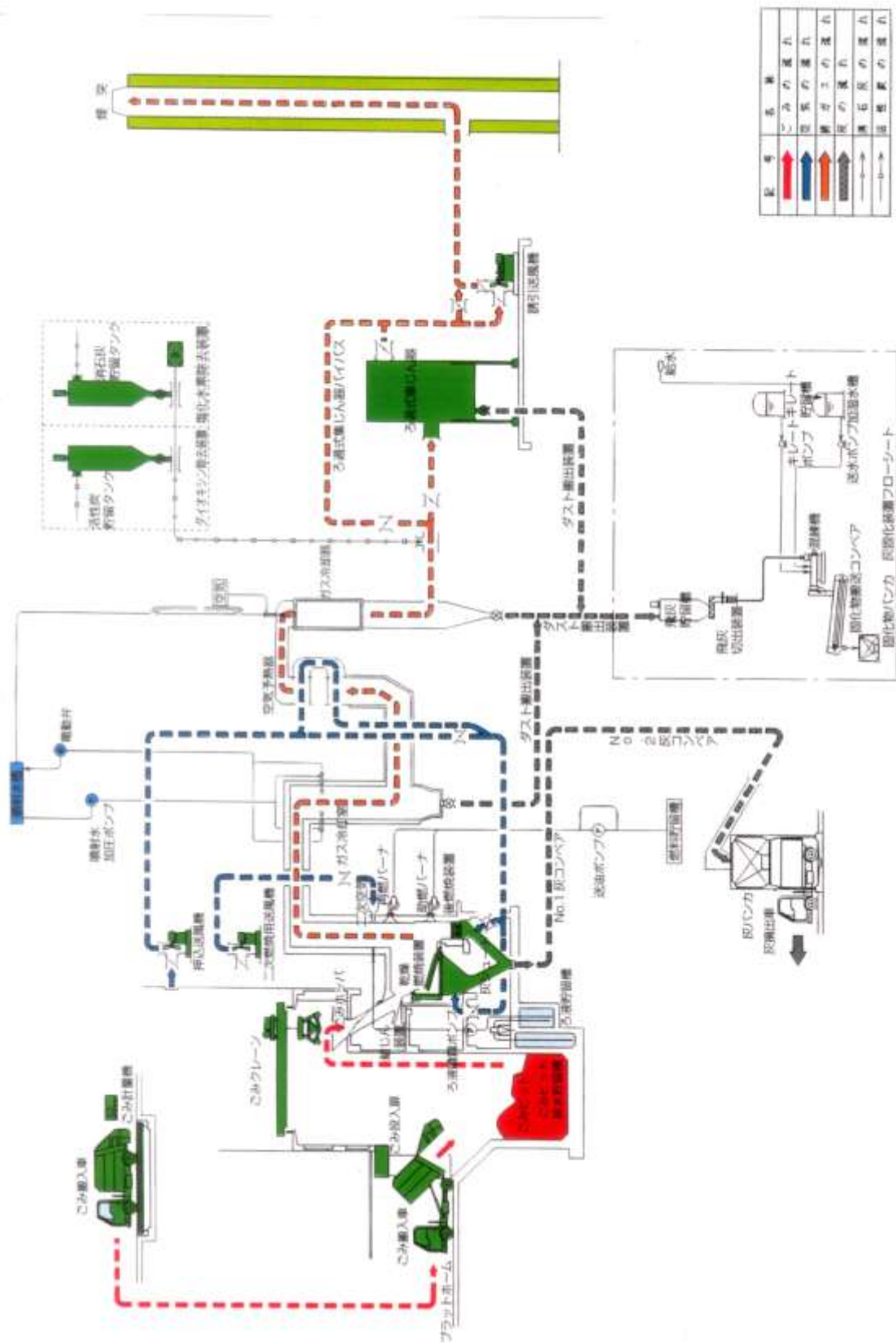
#### 【空気の流れ】

燃焼に必要な空気はごみピットから取り入れ、燃焼熱を利用した空気予熱器で加温されて焼却炉に送られる。ごみピットの空気を使用するのでピットの臭気が施設の外へ漏れるのを防ぐ仕組みになっている。

#### 【排ガスの流れ】

焼却による高温の排ガスは、ガス冷却室、空気予熱器、ガス冷却器で温度を180℃以下にし、排ガス中のダイオキシン類、有害ガスを集塵装置で除去した後、煙突から排出される。

プラントの現在のプロセスフローは以下のとおり。

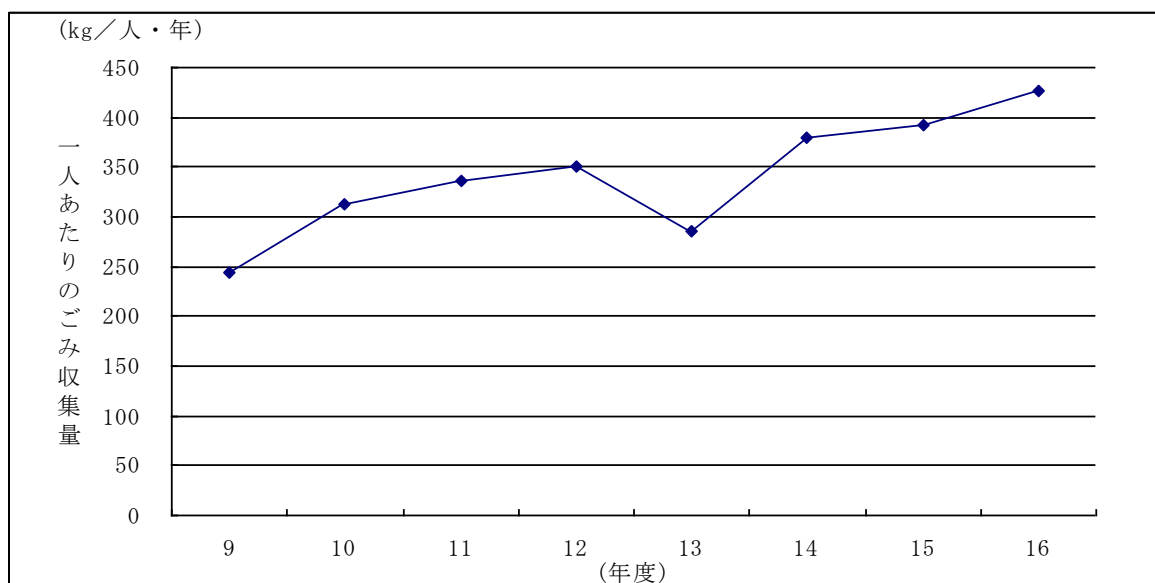
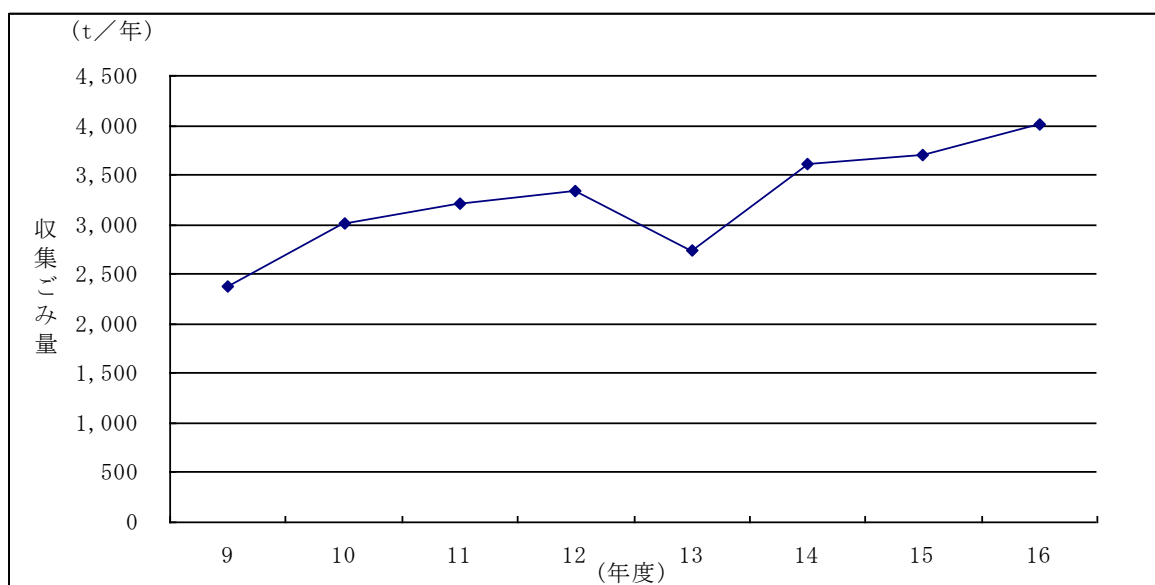


久米島クリーンセンターごみ処理施設フローシート  
20t/日 (10t/8h×2 炉)

### (3)ごみの収集状況

#### 人口及び収集ごみ量等の実績

年 度	9	10	11	12	13	14	15	16
行政区域内人口 (人)	9,779	9,701	9,601	9,536	9,568	9,504	9,431	9,416
計画収集口 (人)	9,774	9,696	9,596	9,529	9,561	9,497	9,424	9,409
収集可燃ごみ量 (t/年)	2,380	3,021	3,220	3,347	2,738	3,610	3,696	4,007
一人あたりの可燃ごみ量 (t/人・年)	0.244	0.312	0.336	0.351	0.286	0.380	0.392	0.426
一人あたりの可燃ごみ量 (kg/人・年)	244	312	336	351	286	380	392	426
一人あたりの可燃ごみ量 (kg/人・日)	0.668	0.855	0.920	0.961	0.783	1.041	1.074	1.167



平成 17 年度収集のごみの組成  
(サンプル調査)

		低質ごみ	基準ごみ	高質ごみ
水分	(%)	51.0	42.0	32.5
可燃物	(%)	40.0	48.0	55.5
灰分	(%)	9.0	10.0	12.0
低位発熱量	(kcal/kg)	1,500	1,900	2,300
	(MJ/kg)	6.280	7.950	9.630
見掛比重	(kg/m <sup>3</sup> )	300	250	200

■公害防止基準

①排ガス保証値 (乾き、酸素濃度 12%換算値)

ばいじん量	0.02 g/m <sup>3</sup> N 以下
硫黄酸化物濃度	K 値=17.5 以下
塩化水素濃度	430 ppm 以下
窒素酸化物濃度	250 ppm 以下
一酸化炭素濃度	100 ppm 以下 (但し、1 時間平均値)
	50 ppm 以下 (但し、4 時間平均値)
ダイオキシン類	5.0 ng-TEQ/m <sup>3</sup> N 以下

②排水基準値

プラント排水は、完全クローズドシステムとし無放流

③騒音基準

敷地境界線にて下記の基準値以下

昼間	60 dB 以下
朝・夕	55 dB 以下
夜間	50 dB 以下

④振動基準値

敷地境界線にて下記の基準値以下

昼間	65 dB 以下
夜間	60 dB 以下

⑤悪臭基準値

敷地境界線にて下記の基準値以下

アンモニア	1 ppm 以下
メチルメルカプタン	0.002 ppm 以下
硫化水素	0.02 ppm 以下

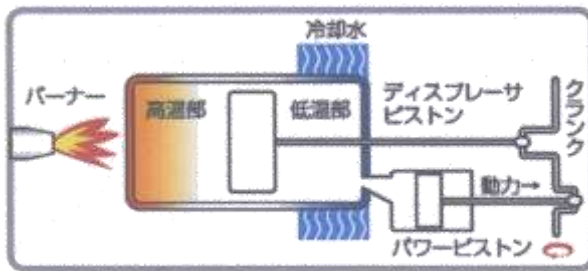
#### (4)スターリングエンジン発電システムの導入構想

##### ①スターリングエンジンとは

##### i)スターリングエンジンの作動原理

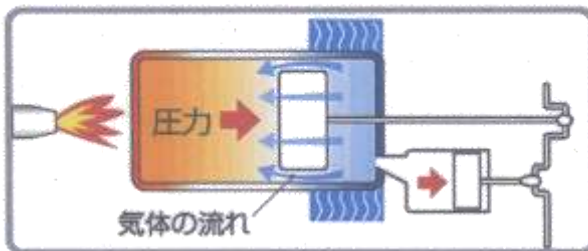
資料提供：(株)エクラン（東京）

#### 気体の膨張・収縮を利用した スターリングエンジンの作動原理



気体は加熱すると膨張し、冷えると収縮する。その圧力の変化を利用してピストンを動かし発電するのが「スターリングエンジン発電機」である。通常のエンジンのような爆発行程が必要なく、外部からの緩やかな熱で作動するため、有害物質の排出を抑制することができるクリーンな発電機である。

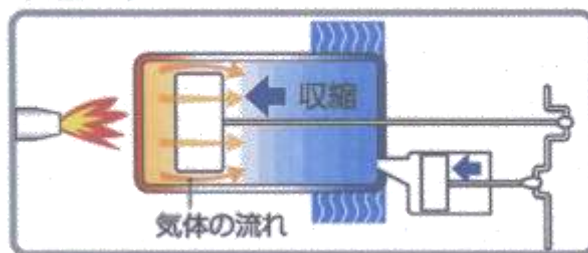
##### 膨張工程



バーナーの熱により気体が膨張すると、圧力がパワーピストンに伝わってエンジンが回る。

- 冷えた空気が高温部に流れ込み、収縮行程へ移行。

##### 収縮工程



気体が冷えて収縮するとパワーピストンを押し戻す役割をする。

- 暖かい空気が低温部に流れ込み、膨張行程へ移行。

## ii)スターリングエンジンの性能

### ●スターリングエンジンの性能

3 kW の発電（発電能力 25%）

9 kW の温水・熱回収

統合エネルギー効率 90～95 以上

発生した電気・熱を使用し光熱費を大きく節約

年間 5 t 以上の CO<sub>2</sub>削減効果※CO<sub>2</sub>削減値は、イギリスでの試算である。

### ●家庭用コージェネシステムの電源として低価格

### ●外部から加熱する構造で、熱源を選ばない

LPG、都市ガス、灯油、軽油、バイオマス燃料、廃油など

### ●安全で環境にやさしいクリーンなエンジン

爆発を伴わない外燃機関エンジンのため安全

内燃機関に比べ窒素酸化物などの生成少なく排気もクリーン

### ●コンパクトで屋内にも設置可能

①騒音・振動が少なく食器洗浄機と同程度（30～40db 程度）

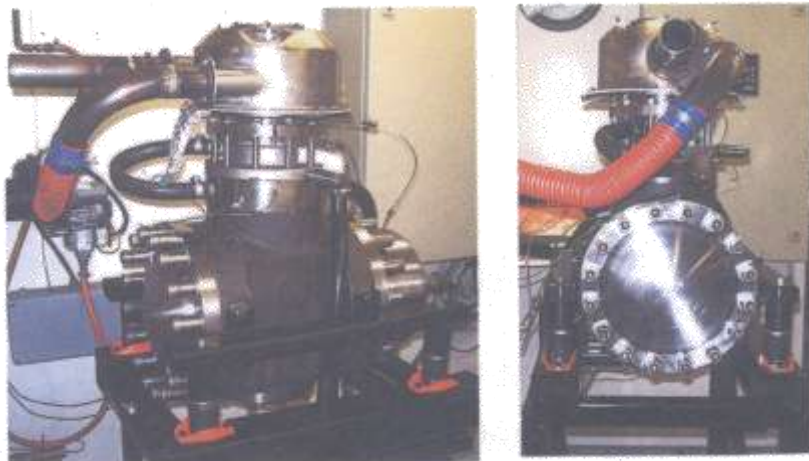
②H800mm×W600mm×D600mm、重量 56 kg とコンパクト設計。屋外だけでなく、台所の床下など屋内にも設置可能

### ●高い耐久性能(5,000 時間／一般家庭で 15 年使用可能)

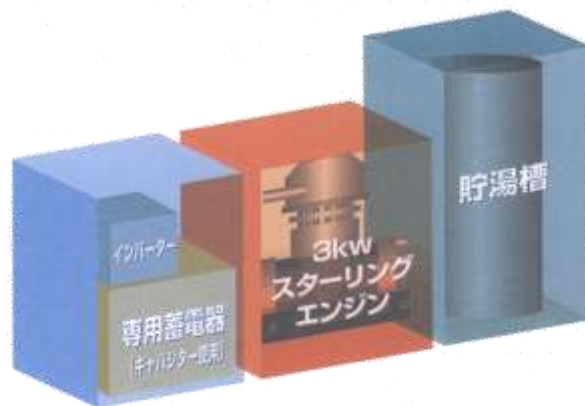
ピストンの回転数も少ないため、機械への負荷が軽い

### ●簡単な構造の為、部品点数が少なくメンテナンスが容易

メンテナンスは 3 年に一度ヘリウムガスを追加するだけで良い。



### iii)スターリングエンジンの燃料源の多様性



スターリングエンジン 基本システム構成

#### 更なる技術を加えた新技術製品

「燃焼技術」「燃料改質技術」「蓄電技術」をスターリングエンジンと組み合わせることにより、次のように効率よく分散型電源を可能にするシステムを構築することができる。

- ・ガスコージェネレーション  
(STE 基本システム)
- ・灯油コージェネレーションシステム  
(STE 基本システム+専用灯油バーナー)
- ・廃油コージェネシステム  
(STE 基本システム+エマルジョン廃油ミキシングシステム+専用廃油バーナー)
- ・生ゴミ発電システム  
(STE 基本システム+生ゴミ可溶化処理機+メタン発酵装置+メタン用ローカロリーバーナー)

#### ②久米島クリーンセンターに導入した場合のプロセス構図

ごみ焼却熱から電力を生産し、その電力が系統連系できるまでのプロセスを明らかにするに際し、システム化の要点は以下の通りである。

なお、定量的なプロセス表現は、ごみ焼却工場の炉内温度分布、炉内形状、エネルギーの流れなどが定量的に明らかにならないと困難であり、そのためには焼却炉の運転状況に関する詳細な調査が必要である。

#### [スターリングエンジン・ヒーター部分への熱供給]

- ・スターリングエンジンは外部からシリンダーに熱を吹きつけることが基本になっているので、ごみ焼却炉の排熱をどのように利用するかがポイントになる。
- ・最大の課題はシリンダーを加熱する「ヒーター部分」に稼働中カーボンやタール類が

付着しないようにすることであり、ヒーター部分に当たる熱は完全燃焼されたエアであることが必要になる。

- ・方法としては、焼却炉の上部、排ガスの出口付近に高温の圧縮空気噴射装置を付けて圧縮空気を亜音速で炉内に噴出させ、これによって超高速高温エア一流を炉内に発生させてごみを完全燃焼させ、そこに「ヒーター部分」を設置する方法である。
- ・これによってヒーター部分へのカーボン等の付着はほとんどなくなり、発電効率を上げることが可能になる。

#### [発電機の負荷変動追従性]

- ・スターリングエンジンは外熱式であるために、ディーゼルエンジンの燃料噴射制御装置（ガバナー）のような外熱調整システムの取り付け・運用がごみ焼却工場の場合は難しい。
- ・発電機の負荷（電力需要量）が大きく変動したときの外熱供給を微妙に制御することが炉の構造上難しいからである。
- ・負荷変動に完全に追従できないと発電機の回転数が変化し、それによって周波数が変動する。
- ・また発電機はいまのシステムでは一般的な誘導発電機を組み入れてあり、発電開始時の励磁電流（無効電力）は系統連系により供給されることから、突入電流による系統への影響を回避する必要がある。
- ・こうした事由から、スターリングエンジン発電システムは、AC-DC-AC電力変換器（※）を取り付けて、また発電開始時にはソフトスタート機能を利用して、系統連系上の問題発生を抑えている。

※周波数や電圧の不安定な交流電力をいったん直流（DC）に変換し、改めてきれいな正弦波の交流（AC）を生成して出力する半導体システム

#### [自家用電力供給システムとしての運用]

- ・外熱エネルギーが精密制御可能な都市ガスのような場合は別であるが、ごみ焼却工場の排熱の利用の場合は、発電機は系統連系による運用が必要になり、負荷追従性の力量不足分は系統からの電力により補うことになる。
- ・一般にごみ焼却工場は人里離れた僻地にあり、工場で利用する電力にほぼ見合う配電線が来ているケースが多いと見られるので、排熱をフルに利用したスターリングエンジン発電システムを導入した場合、系統連系運用システムの設計には留意を要する。

#### [導入の場合のイメージ]

- ・商品化されているスターリングエンジン発電機の定格容量は、最大で 55 kW である。
- ・発電効率は電力変換器を通す前の発電端効率で 25～28%、電力変換器の効率が 93% 前後とすると、送電端効率は 25% 前後になる。
- ・現在のごみ焼却工場のごみ発熱量は低位発熱量で 2,300 kcal/kg、9.63 MJ/kg、年間の可燃ごみの量が約 4,000 t であるから、潜在的な熱量は



$$9.63 \text{ MJ/kg} \times 4,000,000 \text{ kg} = 38,520 \times 10^3 \text{ MJ/年}$$

- スターリングエンジンを前提とした排熱利用可能割合を最大 30% (※) とすると、発電効率を 25% としてみた場合の潜在的発電可能量は、

$$38,520 \times 10^3 \text{ MJ} \times 30\% \times 25\% \div 3.6 \text{ MJ/kWh} = 802,500 \text{ kWh/年}$$

※炉内の集熱機構の構造により大きく変わる可能性がある

- 1日8時間運転とすると年間の稼働時間は約 3,000 時間。

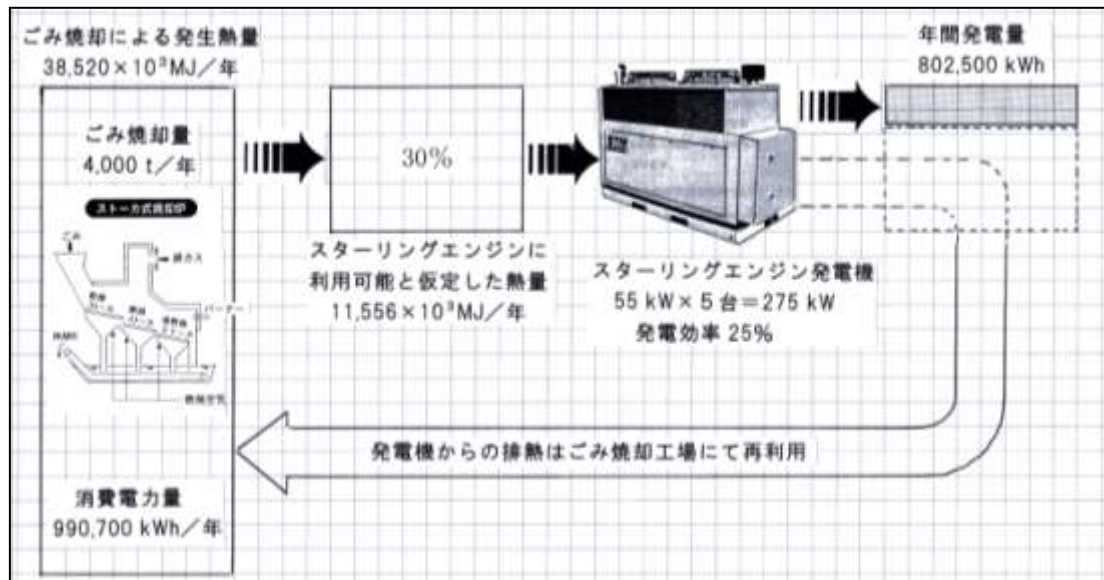
このことから発電機の設備容量の最大値は、

$$802,500 \text{ kWh/年} \div 3,000 \text{ 時間} = \text{約 } 270 \text{ kW}$$

となり、55 kW のスターリングエンジン発電機は、最大で 5 台導入可能となる。

- 現在のごみ焼却工場の電力消費量は年間 990,700 kWh、契約電力は 310 kW である。スターリングエンジン発電の導入により、工場での消費電力の 90% は自前の電力で賄えることになる。

全体の模式図を以下に掲載する。



久米島クリーンセンターにスターリングエンジンを導入した場合のイメージ

### (3) スターリングエンジン発電システム導入の効果

ランニングコスト面の効果としては、購入電力量の削減と契約電力の削減である。以下、概算額を試算する。(単価は概算)

購入電力量削減：	990,700 kWh × 13 円/kWh	=	12,879,000 円
契約電力削減：	270 kW × 1,650 円 × 85% × 12 ヶ月	=	4,544,000 円
自家発補給契約：	270 kW × 1,650 円 × 30% × 12 ヶ月	= ▲	1,604,000 円
	年間計		15,819,000 円

イギリスからの輸入になるスターリングエンジン発電システムの本体価額 (FOB) は kW あたり 28 万円前後と推察されるが、工事価額は炉の一部改造を伴う関係から算定

には現地での詳細調査を必要とする。搬送・取り扱い費用の積算も必要になる。

# 家庭用コージェネに参入

英(アイゼン)コ日本法人



3kW級の英アイゼン社製スターリングエンジン

## スターリングエンジン用い 複数の燃料に対応可能

アイゼン・ジャパン(東京都台東区、杉田宏明社長)は15日、環境負荷の小さいスターリングエンジンを採用し、都市ガスや灯油などさまざまな燃料に対応する3kW家庭用コージェネレーションシステムを6月中旬から市場投入すると発表した。スターリングエンジンを搭載する家庭用コージェネシステムは国内で初めて。新興、既存の戸建て住宅を主な対象とし、販売開始から5年間で20万台を販売する方針だ。

燃料に対応する3kW家庭用コージェネレーションシステムを6月中旬から市場投入すると発表した。スターリングエンジンを搭載する家庭用コージェネシステムは国内で初めて。新興、既存の戸建て住宅を主な対象とし、販売開始から5年間で20万台を販売する方針だ。

コージェネシステムは、高出力な燃料を以て実行効率が、重量は50kgとコンパクト。アイゼン・ジャパンは「家庭の台所や床下などへも設置可能」としている。コージェネシステムにはスターリングエンジン発電機のほか、貯湯槽やボイラー、電力会社の系統に接続する設備が含まれる。価格はエンジン発電機本体が130万～150万円、その他の設備の価格は別添えている。3kW級スターリングエンジンを搭載したコージェネシステムは、アイゼン社も6年4月から販売を開始する予定で、すでに欧州各国から10万台を受注している。アイゼン・ジャパンの杉田社長は「都市ガスのコージェネより燃費効率が高く、灯油を燃やす家庭用コージェネは適合率が高い」とし、積極的に販売していく考えだ。

40～60坪の生ごみがあればコージェネシステムをフル運転できる。メタンガスを取り出せるため、ホタルやフアミリーレストラン、ファストフード店へも売り込んでいく。販売ルートは今後検討する。

コージェネシステムは高出力な燃料を以て実行効率が、重量は50kgとコンパクト。アイゼン・ジャパンは「家庭の台所や床下などへも設置可能」としている。コージェネシステムにはスターリングエンジン発電機のほか、貯湯槽やボイラー、電力会社の系統に接続する設備が含まれる。価格はエンジン発電機本体が130万～150万円、その他の設備の価格は別添えている。3kW級スターリングエンジンを搭載したコージェネシステムは、アイゼン社も6年4月から販売を開始する予定で、すでに欧州各国から10万台を受注している。アイゼン・ジャパンの杉田社長は「都市ガスのコージェネより燃費効率が高く、灯油を燃やす家庭用コージェネは適合率が高い」とし、積極的に販売していく考えだ。

コージェネシステムは高出力な燃料を以て実行効率が、重量は50kgとコンパクト。アイゼン・ジャパンは「家庭の台所や床下などへも設置可能」としている。コージェネシステムにはスターリングエンジン発電機のほか、貯湯槽やボイラー、電力会社の系統に接続する設備が含まれる。価格はエンジン発電機本体が130万～150万円、その他の設備の価格は別添えている。3kW級スターリングエンジンを搭載したコージェネシステムは、アイゼン社も6年4月から販売を開始する予定で、すでに欧州各国から10万台を受注している。アイゼン・ジャパンの杉田社長は「都市ガスのコージェネより燃費効率が高く、灯油を燃やす家庭用コージェネは適合率が高い」とし、積極的に販売していく考えだ。

出典：電気新聞 平成 17 年 10 月 14 日



## 中部電力、バイオマス利用スターリングエンジン本格運転へ NEDO、シーテックと共同で

中部電力は21日、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）とグループ会社のシーテック（名古屋市瑞穂区、清水眞男社長）と共同で実施する外燃機関のスターリングエンジンを用いたバイオマス発電システムの実証試験について、今年9月から本格的試運転を開始すると発表した。これまでに、木質バイオマス直噴燃焼による55kWの発電に成功。今後、安定的な発電の継続へ検証を進め、小規模分散型電源としての、スターリングエンジンの実用化をめざす。

これまでのバイオマス発電システムの開発では、ガスエンジンを利用する場合、バイオマスをガス化させるためコスト高となっており、また直噴燃焼式のスチームタービンを用いる場合は発電効率が低いという課題があった。

スターリングエンジンは、シリンダー内に封入したガスを外部からの加熱・冷却により膨張・収縮させピストンを動作させる外燃機関。熱源は何でもよく、バイオマス燃料を利用すれば、熱効率とともに環境性にも優れる発電システムが期待できるという。

3者で実施する「バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発」では、バイオマス直噴燃焼バーナーとスターリングエンジンを組み合わせた小型発電システムの開発をめざす。ガス化装置を用いず、個体バイオマスの燃焼排熱を直接スターリングエンジンに利用するため高効率発電、低コスト化が可能になる。

中部電力の技術開発本部（名古屋市緑区）に米STMパワー社製の業務用50kW級スターリングエンジンを用いた発電システムの試験機を設置。これまで同エンジンの基本性能など評価試験を行い、今年4月からは、おがくずをバイオマス燃料とする発電に着手し、発電効率などで良好な結果が得られたという。今後は燃焼炉から発生する灰の除去などの課題をクリアするため設備の一部を改良し本格的な連続運転試験に臨む。共同研究では今年度いっぱいメンテナンス性、制御性を検証したうえで市場投入に向けた調査も進めていく。

出典：電気新聞 2006年6月22日