

### 5.1.3 消化ガス発電（ガスエンジン、マイクロガスタービン）

#### 5.1.3.1 原理

消化ガスを燃料としてガスエンジンあるいはマイクロガスタービンの回転により発電機を稼働させる。廃熱の回収は熱交換器やボイラによって温水が回収される。安定した発電を行うために消化ガスの貯蔵が必要となる。

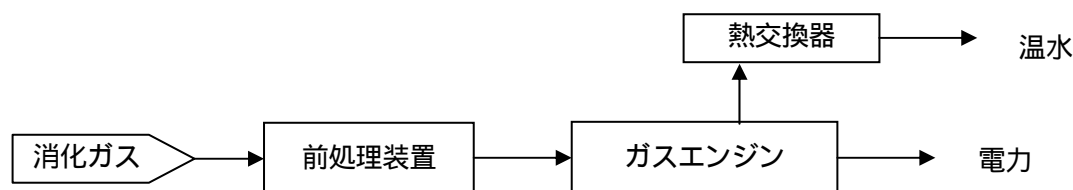
#### 5.1.3.2 設備構成概要

##### （１）ガスエンジン

ガスエンジンは、消化ガス用として最初に実用化された発電方式で、概ね 100～1,000kW 程度の容量があり、消化ガス用の発電システムとしては最も一般的な方式となっている。

これまで、消化ガスを燃料とするガスエンジンでは、エンジン部品やNOx除去触媒の寿命が短く、結果として設備維持費用が高くなるという課題があった。しかし近年、消化ガス中の微量不純物成分（シロキサン：有機ケイ素化合物）の存在が明らかになり、これがエンジン内で燃焼して生成したシリカ（SiO<sub>2</sub>）に起因することが解明されている。

その結果、消化ガス中のシロキサンを除去することによる対策が可能となり、従来は経済性の観点から消化ガス発電の導入が難しかった中小規模の処理場に対しても、消化ガス発電の導入が進むものと予想される。



前処理装置：活性炭フィルターでシロキサン除去を行う。

ガスエンジン：消化ガスを燃焼し、エンジンを回転させることで発電する。

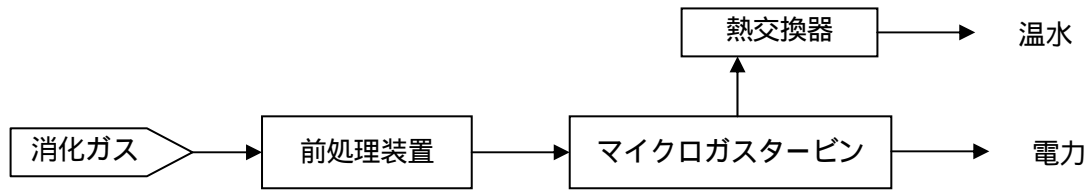
熱交換器：ジャケット冷却水及び排ガスと熱交換を行い、温水を作り出す。

図 5.1.3.1 消化ガス発電（ガスエンジン）のフローの例

##### （２）マイクロガスタービン

マイクロガスタービンは、基本的には大型のガスタービンと同じ原理に基づいているが、再生サイクルの採用により 100kW以下の小容量でも比較的高い発電効率を達成している。また、空気軸受けの採用や発電機直結による減速機の省略等により部品点数が削減され、信頼性・保守性が向上しており、設備維持費用の低減が期待されている。

なお、マイクロガスタービンもガスエンジンと同様、燃焼をとまなう発電方式のため、消化ガス中のシロキサンの燃焼で生成するシリカによって、エンジン部品の損傷を受けることが予想されるため、除去する必要がある。



前処理装置：活性炭フィルターでシロキサン除去を行う。

マイクロガスタービン：消化ガスを燃焼し、エンジンを回転させることで発電する。

熱交換器：排ガスと熱交換を行い、温水を作り出す。

図 5.1.3.2 消化ガス発電（マイクロガスタービン）のフローの例

### 5.1.3.3 一般的な特徴

ガスエンジは、ガスエンジンで発電機を駆動して発電し、電力を供給すると同時に、排ガス、ジャケット冷却水からの廃熱を蒸気、温水の形態で回収し、冷暖房、給湯などに利用される。発電効率が高く、発電出力に対し熱出力の割合が小さいため、電力需要の多い施設に適している。

一方、マイクロガスタービンは、コンパクトでエネルギー効率の高い小型ガスコージェネレーションシステムとして注目されているシステムである。同等の発電能力をもつガスエンジンと比較すると小型軽量で、コージェネレーションシステムのコンパクト化が図りやすく、また構造がシンプルで部品点数も少ないため、メンテナンスが容易という特徴がある。

一般に、ガスエンジンの発電効率は 25～35%、廃熱効率は 40～55%に達し、総合効率としては約 80%である。一方、マイクロガスタービンの発電効率は 10 数%であるが、タービンからの廃熱を利用する再生サイクル技術により、同クラスのガスエンジン、ディーゼルエンジンと同等の 30%前後の発電効率まで上昇する。また、エンジン式と比較すると、廃熱の量や廃熱温度が高いといった特徴があり、廃熱回収することで 80～90%の高い総合熱効率を得ることができる。

### 5.1.3.4 事業事例

#### 5.1.3.4.1 東京都

都市名	利 用	技 術 <状 況>		特 徴
東京都	消化ガス	ガスエンジン発電（常用） ガスタービン発電（非常用）+ NaS 電池 + 温水器 <実機導入済み>		下水道事業として国内初の PFI 事業(BTO 方式)
	場 内 場 外			
供用時期	事業費	総エネルギー 又は施設規模	エネルギー当り 事業費 千円/kW	維持管理費 千円
H16.4	約 2.8 億円 (ただし非常用発電機部のみ)	常時：3,200kW 非常時：10,990kW NaS 電池：8,000kW 熱：46,043MJ/h	-	約 430,000 (3 年の PFI 事業者への支払い総額)
効 果		費用補助制度		
電力使用量削減、温室効果ガス削減		下水道国庫補助事業（非常用発電機部のみ）		

東京都下水道局計画調整部計画課

#### (1) はじめに

東京都区部の下水道事業は、23 特別区の 57,839ha を対象に、公共下水道の建設、維持管理を行っており、区部の下水道は、平成 6 年度末に 100%普及概成し、現在、82 ヶ所のポンプ所、13 ヶ所の水再生センターを有し、1 日平均約 480 万 m<sup>3</sup>の汚水を処理（平成 18 年度実績）している。この度、バイオマス資源である汚泥消化ガスを発電燃料として使用した常用発電事業を下水道事業として国内初の PFI 方式によって実施した。

#### (2) 導入目的

##### 1) 低廉かつ安定的な電力の確保

下水道局では、都内使用電力の約 1%に相当する約 80 万 MWh の電力を消費しており、膨大な電力費用を要している。

本事業により、民間事業者のノウハウを活用することで、下水処理に不可欠な電力を低廉に確保するとともに、電源の多様化による処理場運営の信頼性の向上を図る。

##### 2) 地球温暖化の防止

下水道局は、東京都の事務事業活動で排出される約 220 万トンの温室効果ガスのうち約 43%に相当する最も多くの温室効果ガスを排出しており、地球温暖化防止に対する大きな責任を負っている。

そのため、当局では、自主的かつ積極的な地球温暖化防止対策の実施に向け、平成 16 年 9 月に「アースプラン 2004」を策定した。これは、温室効果ガス排出量を 2009 年度までに 1990 年度比で 6%以上削減することを目標としている。

本事業では、汚泥処理過程で発生する汚泥消化ガスを発電用に有効活用することで省エネルギー化に努めるとともに、「アースプラン 2004」の着実な推進に向け温室効果ガス排出量の削減を図る。

### (3) 事業概要

本事業は、国内最大の水処理施設を有する森ヶ崎水再生センター（旧 森ヶ崎水処理センター）において、未利用エネルギーである汚泥消化ガスを燃料とする常用発電設備を建設・運営し、施設用電力及び汚泥消化槽用の温水を供給するものである。また、安価な夜間電力の活用、電力負荷の平準化等を図ることができる NaS 電池、非常用発電設備の建設・運営も本事業範囲である。

事業者である森ヶ崎エナジーサービス(株)は、施設の建設及び事業の管理・運営を行い、下水道局に電力及び温水を供給する。また、下水道局は事業者にも汚泥消化ガスと下水処理水を無償で提供する。

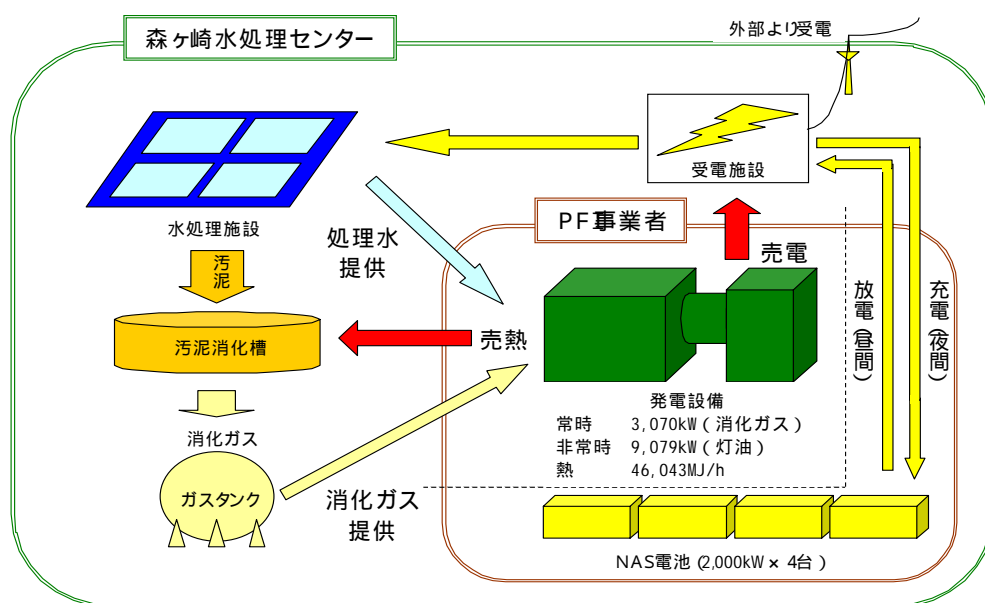


図 5.1.3.3 事業概要

表 5.1.3.1 事業概要

事業名	森ヶ崎水処理センター常用発電事業
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>消化ガスを活用した常用発電及び電力供給</li> <li>発電廃熱を利用した温水供給</li> <li>NaS 電池を利用した電力負荷の平準化、電力コスト縮減</li> <li>非常時における発電及び電力供給</li> </ul>
事業者	森ヶ崎エナジーサービス(株)（特別目的会社） <出資者：東京電力(株)、三菱商事(株)>
事業開始年月日	平成 16 年 4 月
事業期間	運営開始から 20 年間（平成 36 年 3 月まで）

#### 1) 事業スキーム

本事業においては、財政負担の軽減及び効率的なリスク管理を図るため、下水道事業としては国内初となる PFI 方式を導入した。また、下水道管理者として施設の管理権限を確保し、下水道事業に係る国土交通省からの補助金を導入するため、事業者が発電設備を建設し、その後所有権を下水

道局に移転する BOT 方式を採用している。なお、非常用発電相当部分は下水道施設の建設に伴う補助金、東京都の起債等単費により資金調達し、それ以外の部分は事業者自らが資金調達した。

事業者の選定にあたっては、応募者から提出された本事業に関する事業計画、事業提案を受け、あらかじめ公表した審査基準に基づき、平成 14 年 4 月に本事業の優先交渉権者として東京電力(株)を代表とするグループを選定した。その後、条件規定書をベースに提案内容との整合を図り、平成 14 年 10 月に契約に至った。契約に関して特徴的な点について次に述べる。

#### エネルギー価格変動リスク

日本は原油や天然ガス等の化石エネルギーをほぼ海外に依存しているが、この価格は海外情勢により大幅に変動する。特に本事業の事業運営期間は 20 年と長期間であり、その間にエネルギー価格は変動することが想定される。しかし、その変動傾向及び変動幅を予測することは極めて困難である。この価格変動リスクを事業者の負担とした場合、安定的な事業運営に支障が生じる可能性もあるため、本事業では財務省統計と連動して当局が事業者に支払うエネルギー価格を改定するものとした。

#### その他のリスク分担

事業実施に当たってはその他様々なリスクが想定される。工事の遅延、第三者への損害、社会状況の変動、天災・人災等があるが、本事業においては、当局または事業者の責に起因するものはそれぞれが分担し、社会状況の変化や天災等の不可避な事情に起因するものについては、一定の免責額以上は当局が負担することとした。これは事業者の事業実施に対するモラルを維持しつつ、事業の安定継続を確保するためである。

#### 特別目的会社の設立

本事業では、出資者の経営状況の変化によらず事業運営の安定性を確保するため、特別目的会社 (SPC : Special Purpose Company) である「森ヶ崎エナジー株式会社」を設立した。

## 2) 施設概要

表 5.1.3.2 施設概要

常用発電設備	ガスエンジン (消化ガス専燃) : 3,200kW × 1 基 (計画発電量 2,600 万 kWh/年)
非常用発電設備	ガスタービン (消化ガス・灯油切替混燃) : 1,840kW (消化ガス) / 2,750kW (灯油) × 1 基 ガスタービン (灯油): 3,200kW × 2 基
NaS 電池	2,000kW × 4 基
温水器 (消化槽加温用)	温水供給能力: 46,043MJ/h 加温源: 発電設備排気ガス、消化ガス、灯油

消化ガス発生量 (計画最大値): 1,570 万 m<sup>3</sup>(N)/年

処理水使用量 (計画最大値) : 700,000m<sup>3</sup>/年

本施設は、常用発電設備、非常用発電設備、NaS電池、温水器等から構成される。

#### < 常用発電設備、温水器 >

都市ガス等の代替としてバイオマスエネルギーである汚泥消化ガスを発電燃料として常時発電す

る。さらにその廃熱を温水器により汚泥消化槽の加温水として利用することで環境負荷の低減を図るとともに燃料コストの縮減を実現する。また、発電機の冷却水としては下水処理水を利用しており、さらなる環境負荷の低減を図ることができる。

#### <NaS電池>

世界最大規模の8,000kWの能力を有し、低廉な夜間電力を効率よく活用することにより、電力負荷の平準化を図るとともに、電力負荷のピークカットによる契約電力の低減等、電力コストを縮減する。

#### <非常用発電設備>

停電等の非常時に、燃料に灯油を使用して発電する。

なお、常用発電設備の定期点検や故障時には、非常用発電設備のうち消化ガス・灯油切替混燃が可能なデュアルフェューエル型ガスタービンを運転し、消化ガスの有効活用に努める。

### 3) 運転状況

平成16年4月の事業開始より、約3ヵ年が経過した。稼働実績としては、消化ガス発生量は計画値1,570万m<sup>3</sup>(N)に対し最大で約82%程度、常用発電設備発電量は計画値2,600万kWに対し最大で約80%程度と、概ね計画値に近い性能を発揮している。

## (4) 導入効果

### 1) 電力コストの縮減

導入前において、森ヶ崎水再生センターの電力料金は年間約13億円程度であった。本事業の実施により内部で電力調達を行えることから、電力費を大幅に引き下げることができる。導入後の電力コストは、年間約7億円と見積られており、年間約6億円のコスト縮減となる。事業計画20年間では、約128億円の財政支出の削減が見込まれている。

### 2) 温室効果ガスの削減

未利用エネルギーである汚泥消化ガスを全量有効活用することにより、重油換算で年間ドラム缶(200L)約23,000本相当のエネルギー消費量を削減できる。また、温室効果ガスは、二酸化炭素に換算すると年間4,772トン(東京ドーム300個分の広さに相当する1,325haの森林が吸収する二酸化炭素の量に相当)の削減が見込まれている。

### 3) 複数電源による信頼性の確保

導入前において、森ヶ崎水再生センター東処理施設への供給電力は商用電力のみであった。本事業により、常用発電設備、NaS電池、非常用発電設備などによる電力源の多様化が図られ、電力確保の安全性及び停電リスクの分散を図ることができた。

(5) 今後の課題、展望

下水処理過程においては膨大な電力を消費し、地球環境への負荷、コスト面での負担は大きい。そこで、下水道局では、地球温暖化対策を積極的かつ計画的に進めるため、平成19年2月に策定した経営計画2007において、「アースプラン」を着実に推進するとともに、東京都の地球温暖化防止施策である「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」(平成18年12月策定)に貢献することとしている。省エネルギー化、水処理過程で発生する汚泥や消化ガス等の有効利用は、地球環境保全の面でも重要であり、これらに適切に対応していくことが下水道事業には求められている。

一方、電力自由化は進展しつつあり、電力確保の手段や契約形態・各種料金の設定は今後ますます複雑化していくものと思われる。

そのような状況の中で下水道事業の特性に見合った最適な電力確保方法を見出していくためには、当局(官)と事業者(民)がそれぞれの持つ情報とノウハウを存分に活用し役割分担していかなければならない。本事業においては、事業者の提案にできる限り制約を設けないことで大幅な経費節減と環境改善効果を引き出すことができた。今後もPFIやその他の手段で民間のノウハウを活用し、よりよい下水道事業の推進に取り組んでいく。

5.1.3.4.2 横浜市

都市名	利 用		技 術 < 状 況 >		特 徴
横浜市	消化ガス		ガスエンジン発電 <実機導入済み>		集約した汚泥の 保有エネルギー活用
	場内	場外			
供用時期	事業費	総エネルギー 又は施設規模	エネルギー当り 事業費 千円/kW	維持管理費 (H16,17) 千円	
S62年	ガスエンジン47億円	ガスエンジン：7,180kW	655	324,103：310,977 (内訳：人件費、修繕費、 点検費、ユーティリティ ー費)	
効 果			費用補助制度		
電力、都市ガス使用量削減、温室効果ガス削減			下水道国庫補助事業		

横浜市環境創造局

(1) はじめに

横浜市は国際貿易港を有していたことから、外国人居留地において、他の都市より早く下水道整備に着手し、昭和44年には、ほぼ市内全域について下水道法の事業認可を取得した。平成17年度末の事業認可区域は、市域面積43,498haのうち40,023haで、処理区域面積は30,709ha、市の総人口に対する下水道普及率は99.7%となっている。

(2) 導入目的

本市の汚泥処理は当初、各水再生センターから発生する汚泥の大部分を脱水汚泥として埋立処分していたが、その後、南北2箇所に汚泥資源化センターを建設し、北部方面5箇所、南部方面6箇所の水再生センターで発生する汚泥を集約処理している。

汚泥資源化センターでは、汚泥の保有エネルギーを活用するため、処理の主要プロセスである嫌気性消化で発生する消化ガスを回収し、主に発電用ガスエンジンや汚泥焼却炉の燃料として利用してい