

## 小型で低価格な 消化ガスエンジンシステム



(独)土木研究所 材料地盤研究グループ  
リサイクルチーム 岡本 誠一郎、佐藤 一行

## 本日の話題

- 研究の背景と開発目標
- 実証実験
  - 人工混合ガスによる実験
  - 消化ガスにおける実験
  - 消化ガスにおける連続運転
- 適用条件・適用範囲

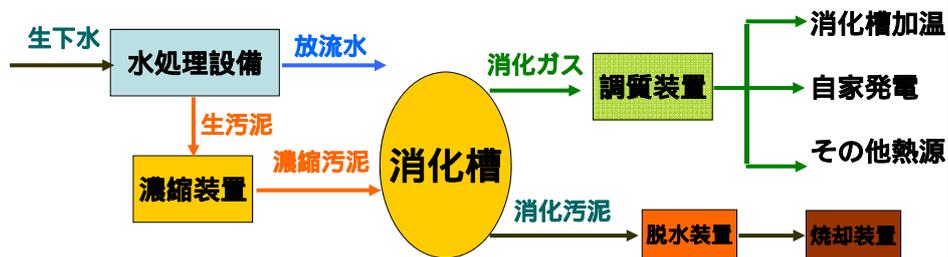


## 下水処理場で発生する消化ガス



### •消化ガスとは？

- 下水処理場で発生する汚泥を嫌気性消化（メタン発酵）することで発生するメタンを主成分とするガス
- ガス成分は 概ね $\text{CH}_4$ ：50～60%、 $\text{CO}_2$ ：40%
- 畜産廃棄物や生ごみ等からも発生する再生可能エネルギー



3

## (研究の背景) バイオマスとは？



### • バイオマスとは？

- 木材、海草、生ゴミ、紙、動物の死骸・糞尿、プランクトンなど、化石燃料を除いた再生可能な生物由来の有機エネルギーや資源のこと。



出典：「環境goo 環境用語集」  
<http://eco.goo.ne.jp/word/energy/S00092.html>

4

## (研究の背景) バイオマス活用推進基本法の概要



- 平成21年6月5日成立、同年9月施行
- バイオマスの活用の推進に関する施策を総合的かつ計

### 目的

バイオマスの活用の推進に関し、基本理念を定めること等により、バイオマスの活用の推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、もって持続的に発展できる経済社会の実現に寄与

### 計画の策定

国の基本計画



都道府県・市町村の推進計画

### 法制上の措置等

政府は、必要な法制上、財政上、税制上又は金融上の措置その他の措置を講じる義務

### 国が講じる施策

必要な基盤の整備、バイオマスを供給する事業の創出、バイオマス製品の利用の促進、地方公共団体の活動の促進 等のために必要な施策

### 地方公共団体の施策

地方公共団体の区域の自然的・経済的・社会的諸条件に応じた施策を総合的かつ計画的に実施

出典：国土交通省 資料

5

## (研究の背景) エネルギー供給構造高度化法の概要



エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律

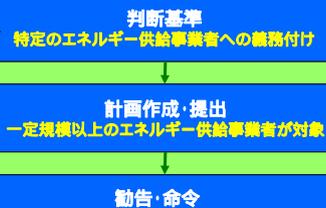
- エネルギー供給事業者（電気、石油、ガス事業者）による次の取組を促進
  - ・ 非化石エネルギー源の利用
  - ・ 化石エネルギー原料の有効な利用
- 平成21年7月1日成立、8月28日施行（現在のところ太陽光発電の買取りの部分のみ施行）

### 判断基準における義務付けの内容

- 【電気事業者への義務付け】
- ・ 非化石エネルギー源の利用を拡大
  - ・ 太陽光発電による電気の利用に係る適正な対価での買取り
- 【石油事業者への義務付け】
- ・ バイオ燃料の利用
  - ・ 原油の有効な利用
- 【ガス事業者への義務付け】
- ・ **バイオガスの利用**
  - ・ 天然ガスの有効な利用

下水処理場が主たる供給源

### 基本方針



出典：国土交通省 資料

6

## (研究の背景) 各種バイオマスと下水汚泥のポテンシャル



- 日本のバイオマス発生量は約2億9,000万トン/年
- そのうち下水汚泥は全体の約3割を占める。

### バイオマス賦存量と利活用状況

バイオマスの種類	年間発生量	利活用状況
家畜排せつ物	約8,900万トン	肥料利用約90%
食品廃棄物	約2,200万トン	肥飼料等約20%
紙	約3,600万トン	古紙等リサイクル約56% 焼却施設の約7割で余熱利用
パルプ廃液(黒液)	約1,400万トン (乾燥重量)	エネルギー利用(直接燃焼)
下水汚泥	約7,500万トン (濃縮ベース)	リサイクル約77% うち大半は建設資材利用
し尿汚泥	約2,900万トン	大半が焼却・埋立 一部はたい肥利用
製材工場等残材	約500万トン	ほぼ全量エネルギーや肥料利用
林地残材	約370万トン	ほとんど未利用
建設発生木材	約460万トン	約60%
農作物非食用部 (稲わら、もみ殻等)	約1,300万トン	約30%
<b>計</b>	<b>約2億9,130万トン</b>	

バイオマス・ニッポン総合戦略(H18.3閣議決定)より

7

## (研究の背景) バイオマス・ニッポン総合戦略と下水汚泥の利活用(エネルギー利用への転換)



- 関係府省が連携してバイオマスの利活用を推進することを目的に2002年に策定(2006年に改定)
- 下水汚泥に関しては、これまでの建設資材利用中心からエネルギー利用の推進に転換

### バイオマス・ニッポン総合戦略における下水汚泥の位置づけ

・バイオマスの種類に応じた利活用の展開方向

**<下水汚泥のエネルギー利用の推進>**

「これまで、利活用の中心だった製品としてのマテリアル利用」



転換

**「他のバイオマスとの混合処理やエネルギー利用の進展による、一層の効率的な利活用」**

建設資材利用

・セメント原料  
・レンガ・骨材等



エネルギー利用

・下水道バイオガス  
・炭化汚泥等

(参考) 京都議定書目標達成計画におけるバイオマス対策

バイオマス熱利用の導入

現状68万kl → 平成22年目標308万kl(原油換算)

バイオマス輸送用燃料の導入

現状0 → 平成22年目標50万kl(原油換算)

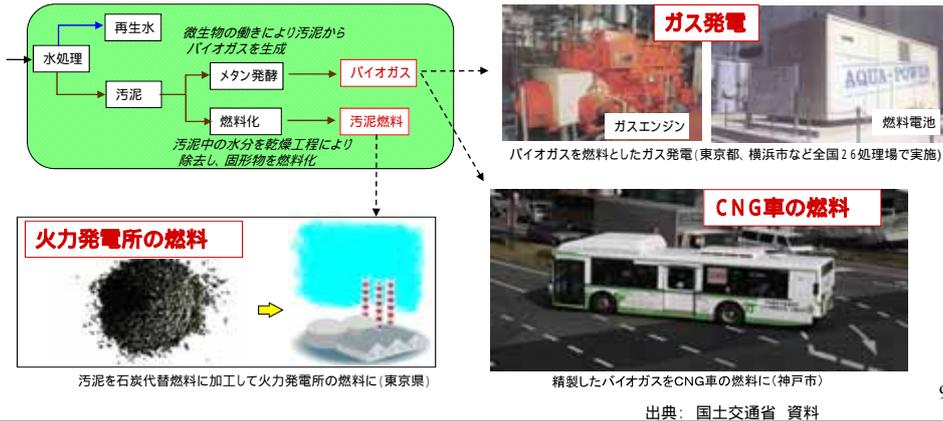
出典: 国土交通省 資料

8

(研究の背景) 下水処理場をバイオマス利用の拠点に  
下水汚泥のエネルギー利用



- エネルギーを大量に消費する下水道施設において、エネルギー自立率を高めることや地域へのエネルギー資源の供給が重要
- 下水道経営や地球温暖化対策の推進の観点からも、カーボンニュートラルな下水汚泥をバイオガスや汚泥燃料として活用

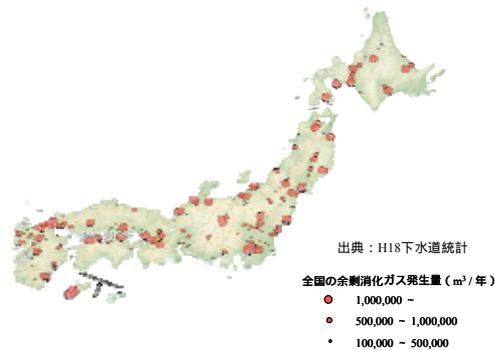
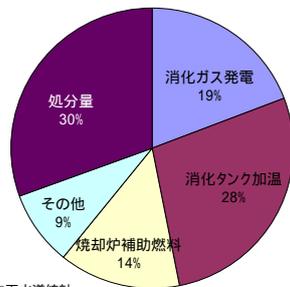


(研究の背景) 消化ガスの利用状況



- 下水汚泥の消化ガスの利用推進
- 全国約300箇所の処理場で嫌気性消化(メタン発酵)が行われているが、発生量の約3割は焼却処分されている。

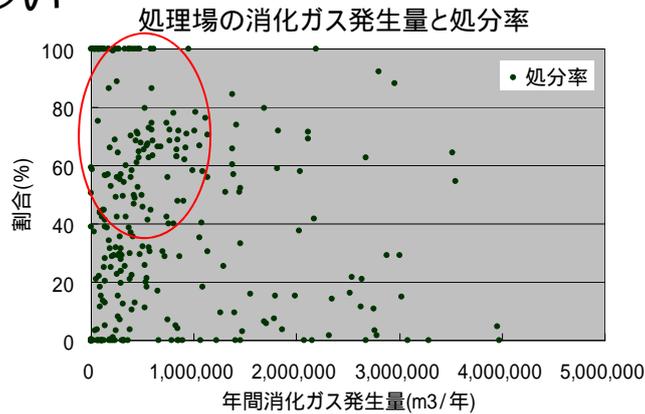
消化ガスの利用状況(H18)



(研究の背景) **消化ガス発生施設の規模**

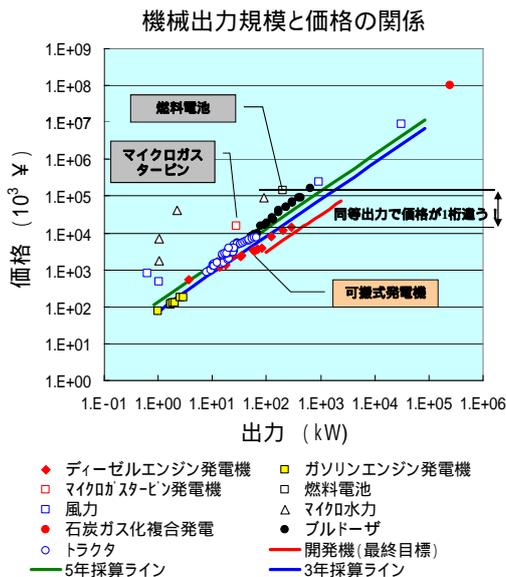


•焼却処分されている消化ガスは中小規模の施設が多い



出典：H18下水道統計

**開発目標 (コスト)**



工事現場等で使われている可搬式発電機などに比べ、分散電源として開発が進められている機器は現時点ではまだ高価である。



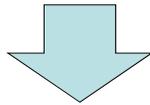
未利用消化ガスの利用促進のためには、廉価な発電システムが必要である。

## 開発目標



消化ガスの利用促進のため

- ・ 発生ガスの利用が進んでいない中小規模対象
- ・ 利用推進のために廉価なシステムが重要



市販の自家発電機に最低限の改造をして消化ガスで発電できるシステムを開発する。

13

## 研究の実施体制



**共同研究**（平成17～20年度）

- ・ 独立行政法人 土木研究所
- ・ ライト工業株式会社
- ・ 株式会社 井上政商店



14

## 本日の話題



- 研究の背景と開発目標
- 実証実験
  - 人工混合ガスによる実験
  - 消化ガスにおける実験
  - 消化ガスにおける連続運転
- 適用条件・適用範囲

15

## 実証実験の流れ



出典：デンヨー社HPより

発電機のスペック(改造前)

交流発電機			
	50Hz	60Hz	
出力	三相(3線)(4線)	50kVA	60kVA
	単相(3線)	28.9kVA	34.6kVA
電圧	三相(3線)(4線)	200V	220V
	単相(3線)	100V/200V	110V/220V
	電流	114A	157A
力率	三相(3線)(4線)	0.8(遅れ)	
	単相(3線)	-	

ディーゼル発電機をガス仕様に改造  
(概略寸法: 2L x 0.9W x 1.3H(m))



メタンガスでの動作確認  
(2006年～2007年)



実消化ガスでの性能確認  
(2007年8月27日～31日)



実消化ガスでの連続試験  
(2008年10月7日～11月19日)

16

## 人工混合ガスでの稼働確認

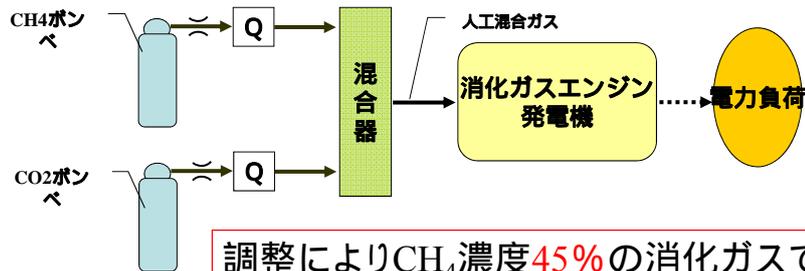


### 【実験の目的】

消化ガスはメタン濃度が60%程度であるが、高価な精製設備が無くとも発電できるシステムを目指した。そこで、メタン濃度の下限を調べる実験を行った。

### 【実験方法】

工業用メタンガスと炭酸ガスを混合して作った人工混合ガスで、稼働確認実験と制御系調整実験を行った。



17

## 本日の話題



- 研究の背景と開発目標
- 実証実験
  - 人工混合ガスによる実験
  - 消化ガスにおける実験
  - 消化ガスにおける連続運転
- 適用条件・適用範囲



18

## 実消化ガスでの稼働確認 (鶴岡浄化センター)

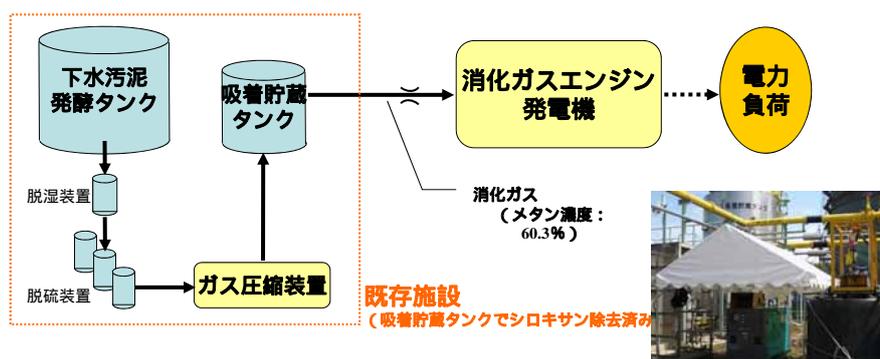


### 【実験の目的】

稼働中の下水処理場において発生した消化ガスを使い発電機の性能確認を行う。

### 【実験方法】

既存設備で脱水、脱硫、脱シロキサン処理済(活性炭による吸着貯蔵を実施)の消化ガスを使用し発電量、燃料供給圧力を調整し性能を確認した。

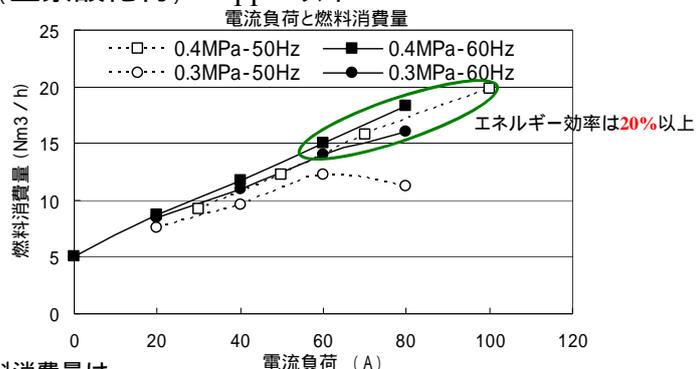


19

## 実消化ガスでの稼働確認 (鶴岡浄化センター)



- 実消化ガスで発電効率20%以上を達成した。
- 消化ガス(燃料)消費量は5 ~ 20Nm<sup>3</sup> / hr
- NOX(窒素酸化物)300ppm以下



燃料消費量は  
発電機を動かすために  
60A(約20kW)の発電で

約 5Nm <sup>3</sup> /h(	5,000Nm <sup>3</sup> /年)
約 15Nm <sup>3</sup> /h(	15,000Nm <sup>3</sup> /年) 必要

20

## 本日の話題



- 研究の背景と開発目標
- 実証実験
  - 人工混合ガスによる実験
  - 消化ガスにおける実験
  - 消化ガスを用いた連続運転
- 適用条件・適用範囲



21

## 実消化ガスでの連続運転 (函館湾浄化センター)

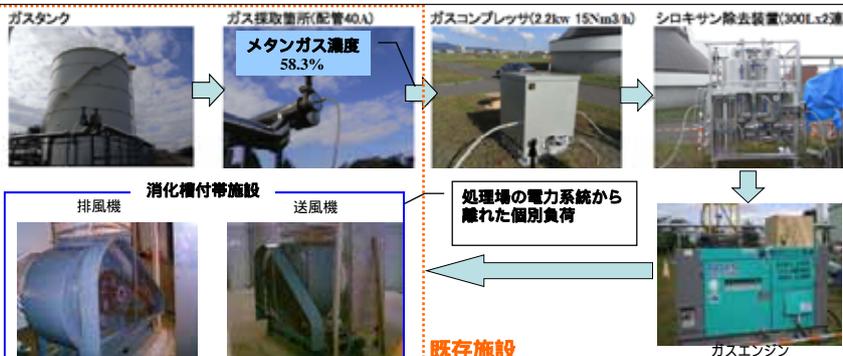


### 【実験の目的】

長期間の連続稼働に耐えうるかの性能確認と、関連する周辺機器の性能確認を行う。  
稼働中の下水処理場で発生する消化ガスで発電を行い、処理場内の設備に電力供給することで処理場内のエネルギー自給率を高める実証実験を行った。

### 【実験方法】

下水処理場の消化ガス配管(脱硫済み)から消化ガスを分岐した。ガスコンプレッサで加圧した後、シロキサンを除去した消化ガスで発電して約40日間の試験を行った。

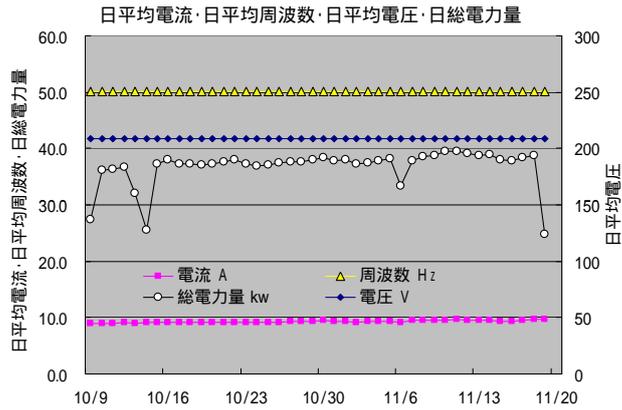


22

## 実消化ガスでの連続運転 (函館湾浄化センター)



- 約40日間の実負荷運転を行い安定した運転を確認した。
- 最長連続運転時間は20日。(人為的な操作による停止)

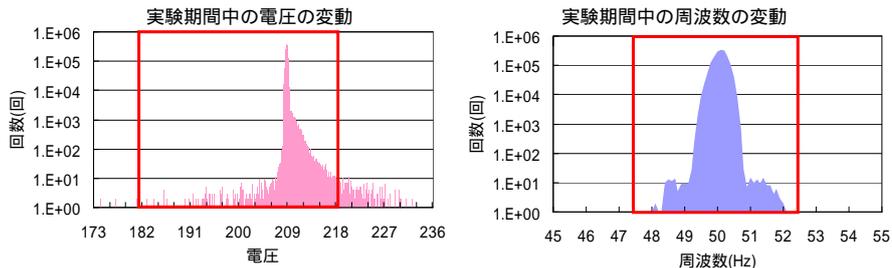


23

## 実消化ガスでの連続運転 (函館湾浄化センター)



系統連携 (発電した電力を処理場の電源系統へ接続) するには「電力品質確保に係る系統連携技術ガイドライン」(資源エネルギー庁)を満たす必要がある。



200 ± 20Vを満足していない



現状では系統連系は不可



インバータの設置、または電圧変動を許容する機器に直接電力供給

50Hz ± 5%を満足している



周波数の品質は問題ない

24

## 実消化ガスでの連続運転 (函館湾浄化センター)



ガスエンジンの連続運転試験とともに周辺補機の性能確認を行った。

シロキサン除去装置



### 【設置の目的】

シロキサンが含まれるガスを燃焼させるとエンジン内部に硬い残渣物が付着しエンジンにダメージを与えるため除去する必要がある。

### 【シロキサンの発生源】

下水処理場で発生する消化ガスにはシャンプーやリンスに由来するシロキサンが含まれている。

ガスコンプレッサ



### 【設置の目的】

函館浄化センターでは消化ガスを常圧貯蔵しているため、エンジンにガスを加圧供給する必要がある。

### 【課題】

ガス供給圧が低いとエンジンの出力が制限されるため、エンジンへの供給圧力を下げても運転できるよう改善が必要。

25

## 実証実験結果のまとめ



簡易な精製を施した消化ガスで稼動する小型・低コスト・汎用型のガスエンジンに実用化の目処が立った。

1. メタンガスでの動作確認
  - ・メタン濃度 4.5%でも運転可能であることを確認した。
2. 実消化ガスでの性能確認
  - ・実消化ガスで発電効率 20%以上を達成した。
  - ・消化ガス(燃料)消費量は5~20Nm<sup>3</sup>/hr
  - ・NOX(窒素酸化物) 300ppm以下
3. 実消化ガスでの連続試験
  - ・約40日間の実負荷運転を行い安定した運転を確認した。
  - ・最長連続運転時間は20日。
  - ・系統連携するには周波数は問題ないが電圧変動が大きい。
  - ・エンジンへのガス供給圧を下げても運転できるよう改善が必要。



26

## 本日の話題



- 研究の背景と開発目標
- 実証実験
  - 人工混合ガスによる実験
  - 消化ガスにおける実験
  - 連続運転



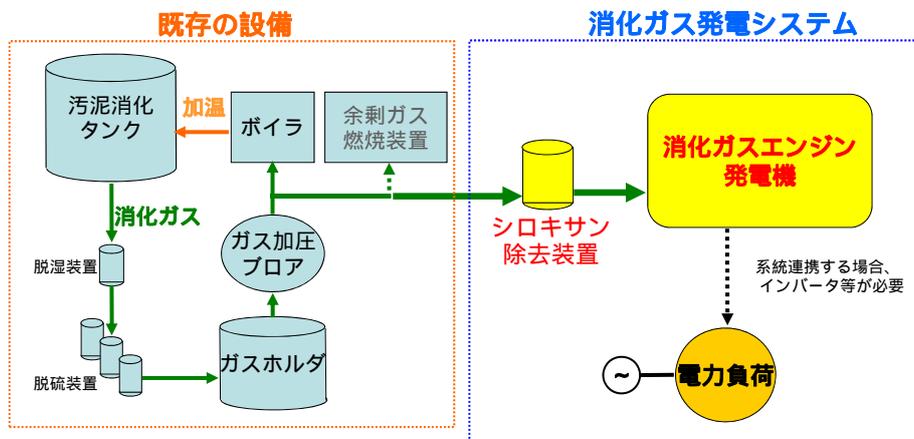
適用条件・適用範囲

27

## 研究結果からの適用条件



下水道で発生する消化ガス発電システムの例  
(消化ガスを消化槽の加温のみに使用し余剰ガスを焼却処理している例)



28

## 研究結果からの適用条件



### 適用条件

条件	メタン濃度	45 ~ 100% (消化ガスは60%程度)
	ガス供給圧	0.2MPa以上
発電機仕様	発電能力	約20kW
	発電効率	約20%
	周波数変動	50Hz ± 5%以内を満足
	電圧変動	200 ± 20Vを満足していない <sup>1</sup>

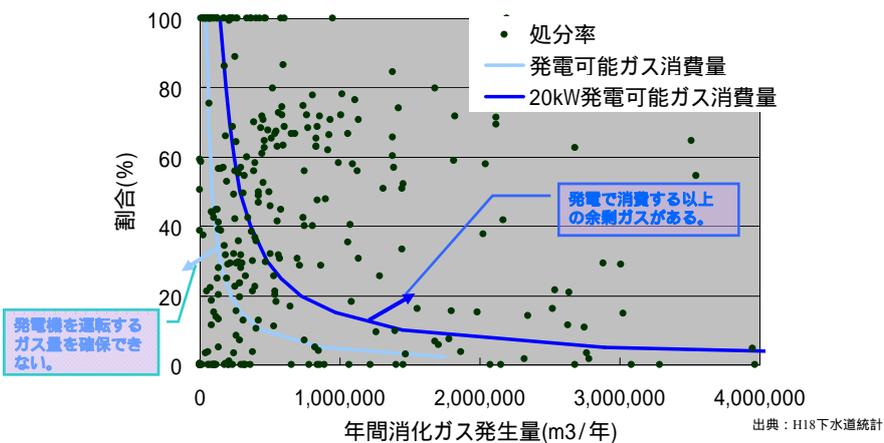
1 : 系統連携する場合はインバータが必要。  
電圧変動を許容できる機器にのみ接続する場合は支障ない。

29

## 研究結果からの導入の可能性



本消化ガスエンジンは以下の余剰ガスがあれば発電が可能となる。  
連続運転を想定し、年間のガス消費量と発生量で評価した場合



発電可能量 約 50,000 Nm<sup>3</sup>/年 → 約210の処理場  
20kW発電 約150,000 Nm<sup>3</sup>/年 → 約150の処理場

30

## 製品化の状況



本研究成果を基に民間企業によって更に開発が進められ実用化されています。

### 適用条件:

メタンガス濃度: 55 ~ 65% 、 ガス供給圧力: 2 ~ 3 kPa  
硫化水素 : 10ppm以下 、 シロキサン : 1ppm以下

### 製品化されたガスエンジン



写真提供: 株式会社大原鉄工所

### ガスエンジン発電機仕様

回転速度	1500 / 1800 min-1
定格電圧	200 / 220 V
定格出力	25 / 25 kW
燃料消費量	15.9 Nm <sup>3</sup> /hr

燃料消費量は消化ガスの発熱量を2.1MJ/Nm<sup>3</sup>として

31

## 小型で低価格な 消化ガスエンジンシステム



御清聴ありがとうございました



32