

かまくら市民講演会

**循環型社会の形成と地球温暖化防止に
貢献するメタン発酵**

2011年 5月28日

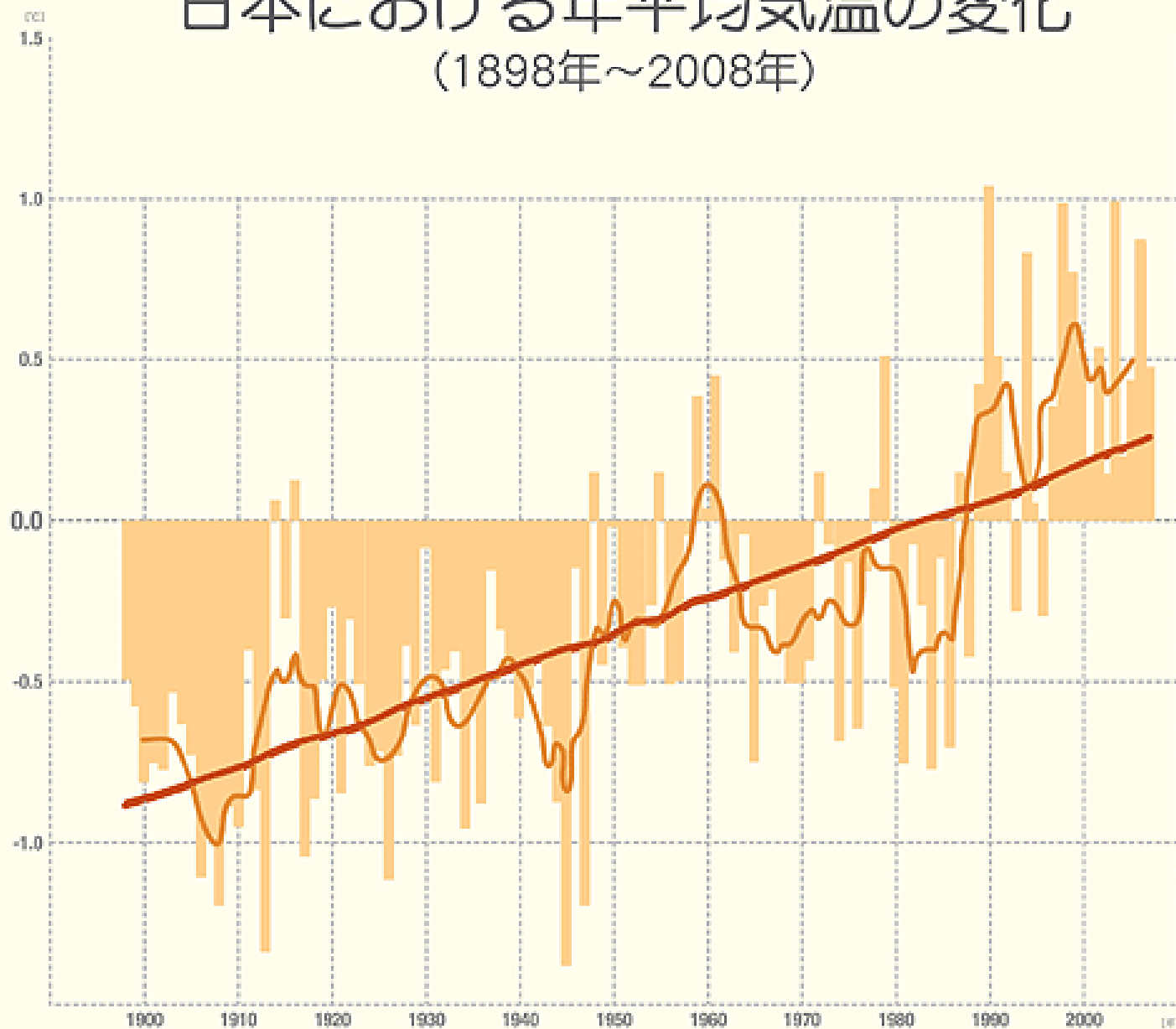
**日本大学大学院総合科学研究科教授
東北大学名誉教授
野池達也**

本日の講演内容

1. 低炭素社会の実現に向けてのバイオガスエネルギーへの期待
2. メタン発酵プロセス—原理と実際
3. ドイツ・韓国・中国におけるバイオガス施設導入の動向
4. 地球温暖化防止に貢献するメタン発酵
5. 山崎浄化センター 混合消化システム計画(案)
6. おわりに

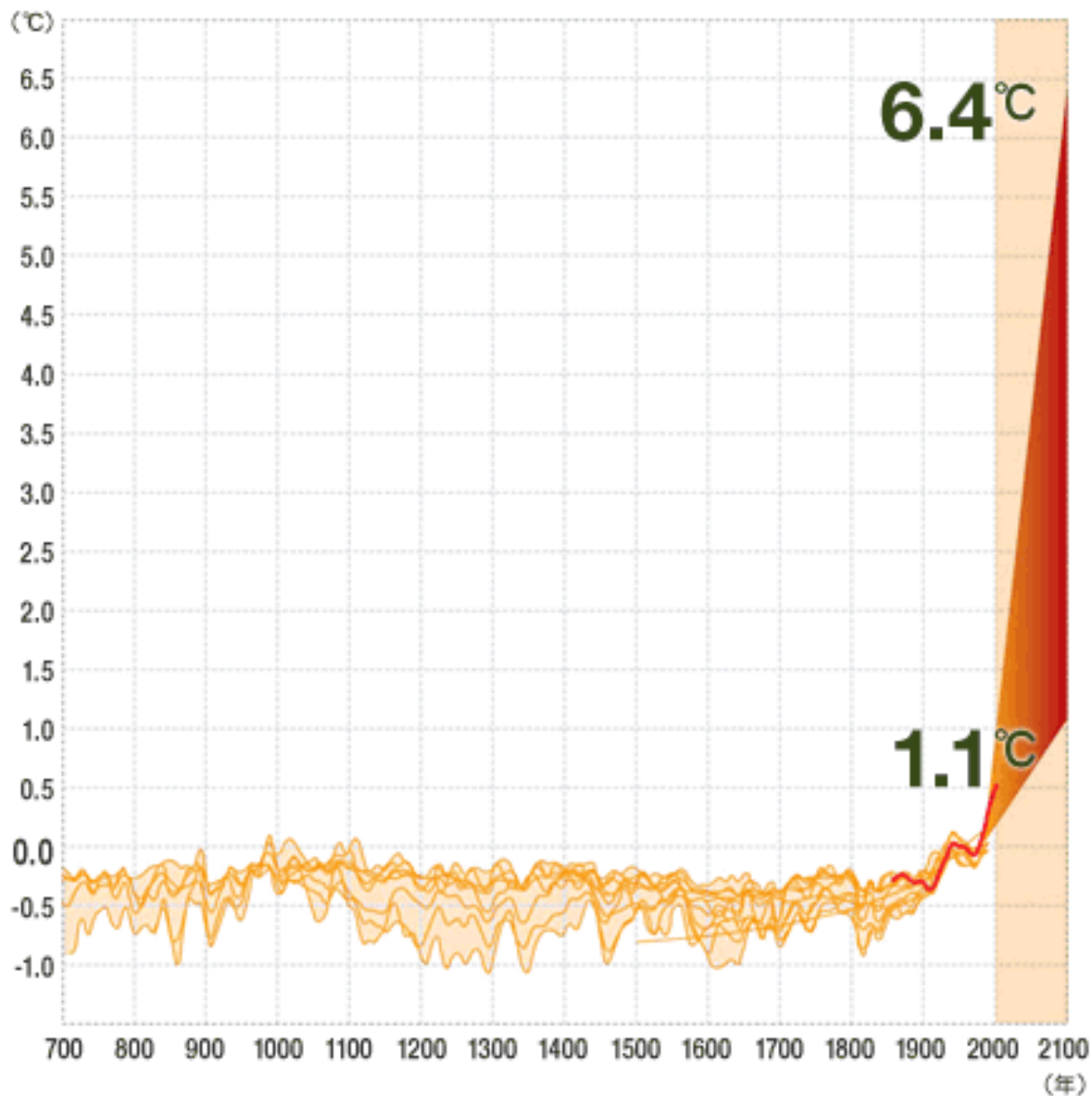
1. 低炭素社会の実現に向けての バイオガスエネルギーへの期待

日本における年平均気温の変化 (1898年~2008年)



地球の気温はこれからどうなるの？

700～2100年までの気温変動（観測と予測）



地球温暖化対策の状況(環境省)

- 京都議定書による削減約束:

2008年～2012年の1990年度比**6%削減**

- 中期目標(2020年): 1990年度比**25%削減**

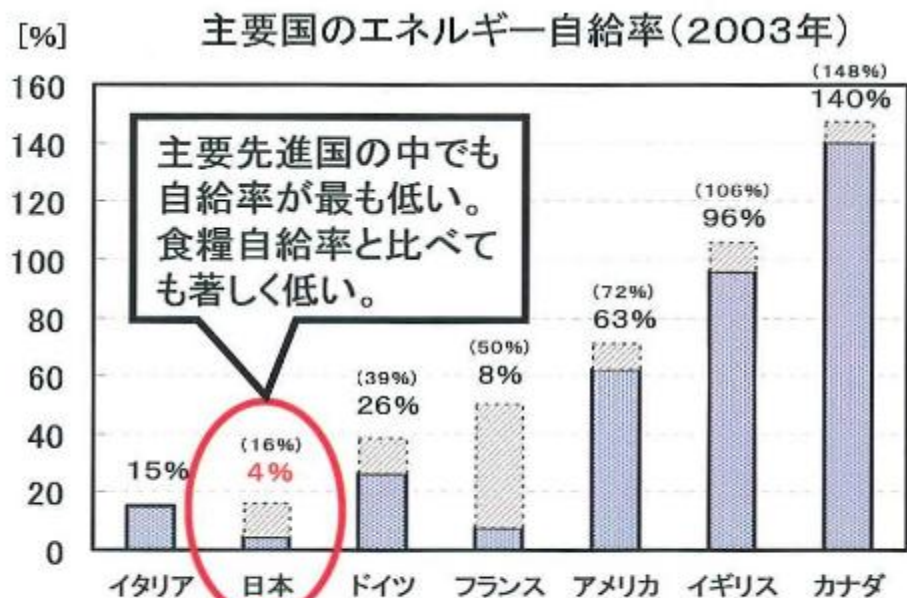
- 長期目標(2050年): **80%削減**

わが国のエネルギー自給率・食料自給率

(資源エネルギー庁ホームページより)

○原子力を除けば、主要先進国の中で、我が国のエネルギー自給率は最も低く、わずか4%。

○我が国の食料自給率でも4割であり、それよりも遙かに低い。



※自給率は原子力を輸入とした場合(カッコ内は原子力を国産とした場合)

【出典:平成15年度食料自給率レポート(農林水産省)】

【出典:OECD/IEA "Energy Balances of OECD Countries 2002-2003"】



石油が涸れる日

再生可能(新)エネルギー

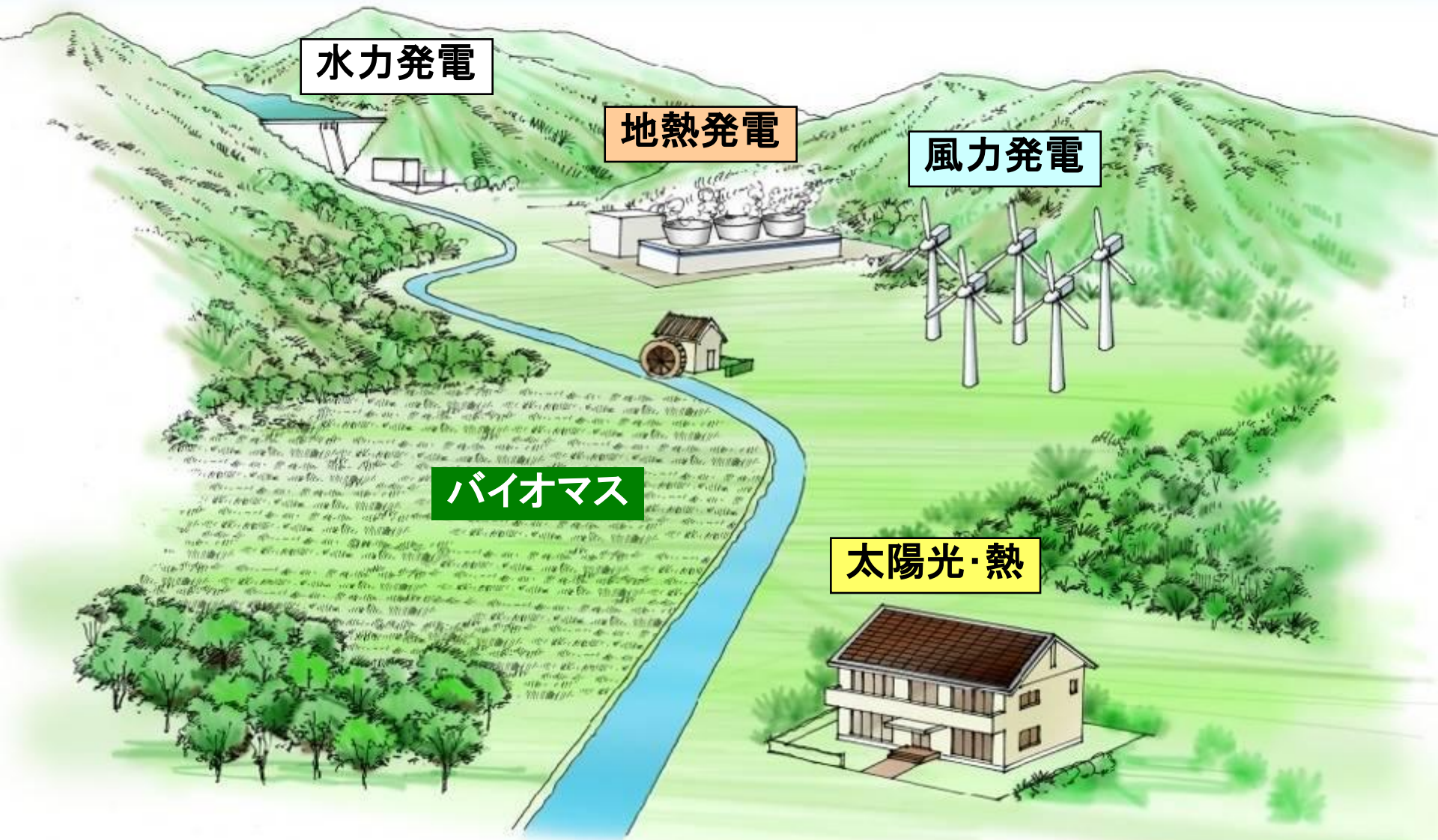
水力発電

地熱発電

風力発電

バイオマス

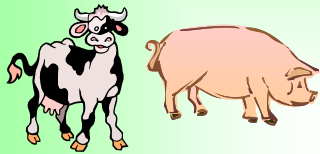
太陽光・熱



バイオマスとは

従来、廃棄物とされてきたものが、バイオマスと呼ばれるようになった

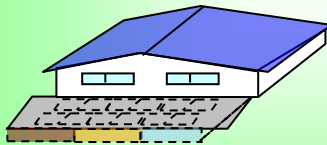
廃棄物系バイオマス



家畜排せつ物



食品廃棄物



下水汚泥
黒液



製材工場残材、
建築廃材

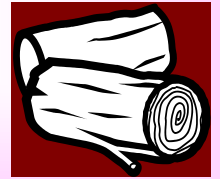
未利用バイオマス



稲わら、
もみ殻



麦わら



間伐材、林地残材等

資源作物

糖質資源(さとうきび、てん菜等)
でんぷん資源(コメ、トウモロコシ等)
油脂資源(菜種、大豆等)



○ 『バイオマス』の語源

BIOMASS(バイオマス) = **BIO**(生物資源) + **MASS**(量)

バイオマスは枯渇しない資源

現状

化石資源からエネルギーを生産する非循環型社会

化石燃料の大量消費

CO₂

採掘

石油

石炭

化石燃料の枯渇

地球環境問題

持続可能

バイオマス

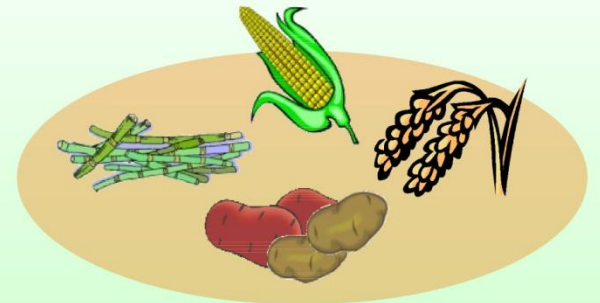
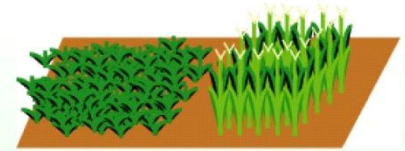
温室効果ガス

排出量削減

化石燃料に代わる

代替エネルギーの1つ

再生可能・カーボンニュートラル



再生可能エネルギー資源における バイオマス資源の特徴

用途	風力	太陽光	バイオマス
電力エネルギー	○	○	○
液体エネルギー	—	—	○
気体エネルギー	—	—	○
固体エネルギー	—	—	○
マテリアル利用	—	—	○

- 太陽のエネルギーを使って生物が合成したものであり、生命と太陽がある限り、**枯渇しない資源**。
- 焼却しても大気中の二酸化炭素を増加させない、**カーボンニュートラル**な資源

2. メタン発酵—理論と実際

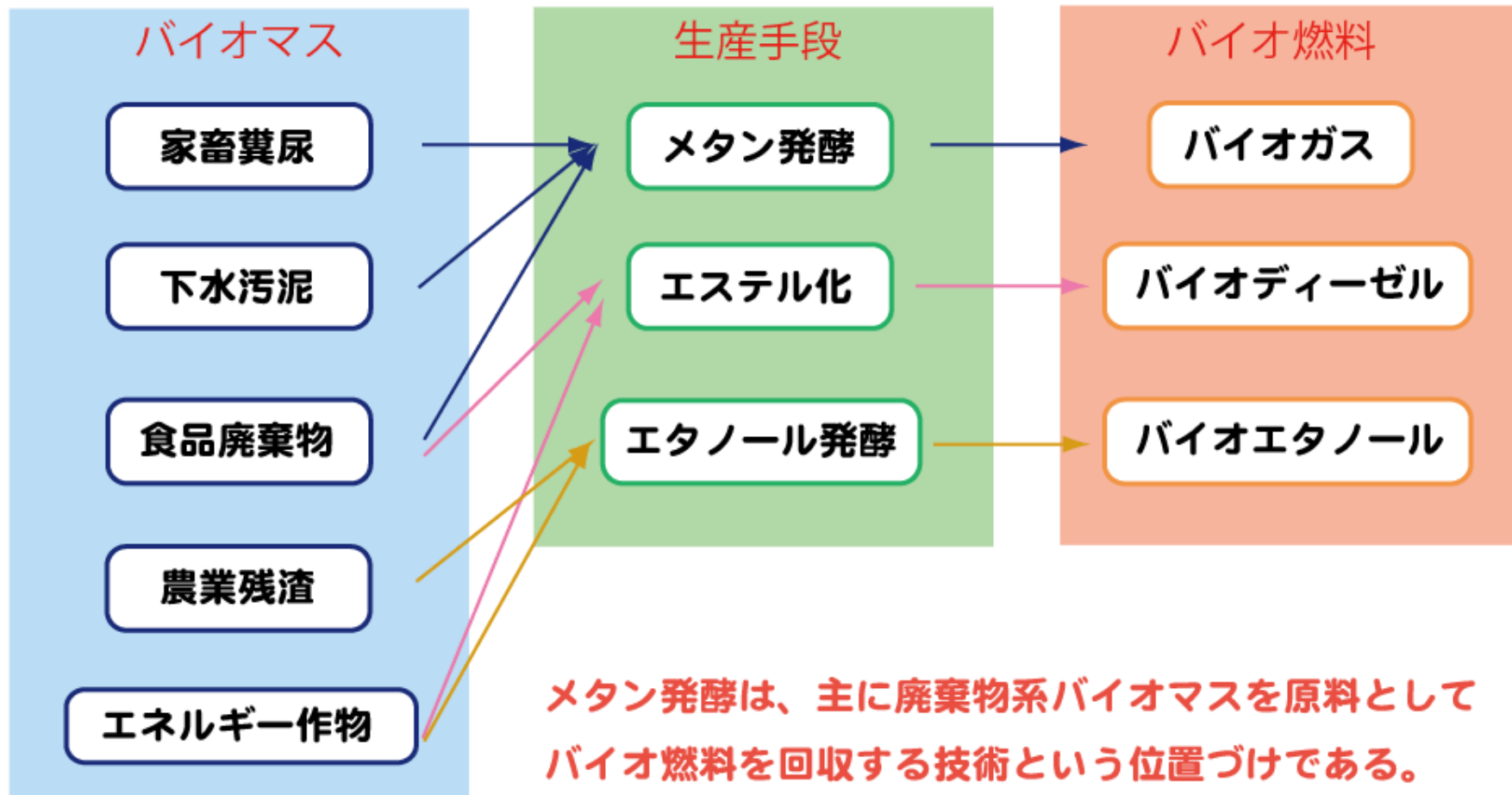
- (1) メタン発酵プロセスの概略**
- (2) バイオガスの有効利用**
- (3) 液肥の有効利用**
- (4) 日本におけるメタン発酵の現状**

(1) メタン発酵プロセスの概略

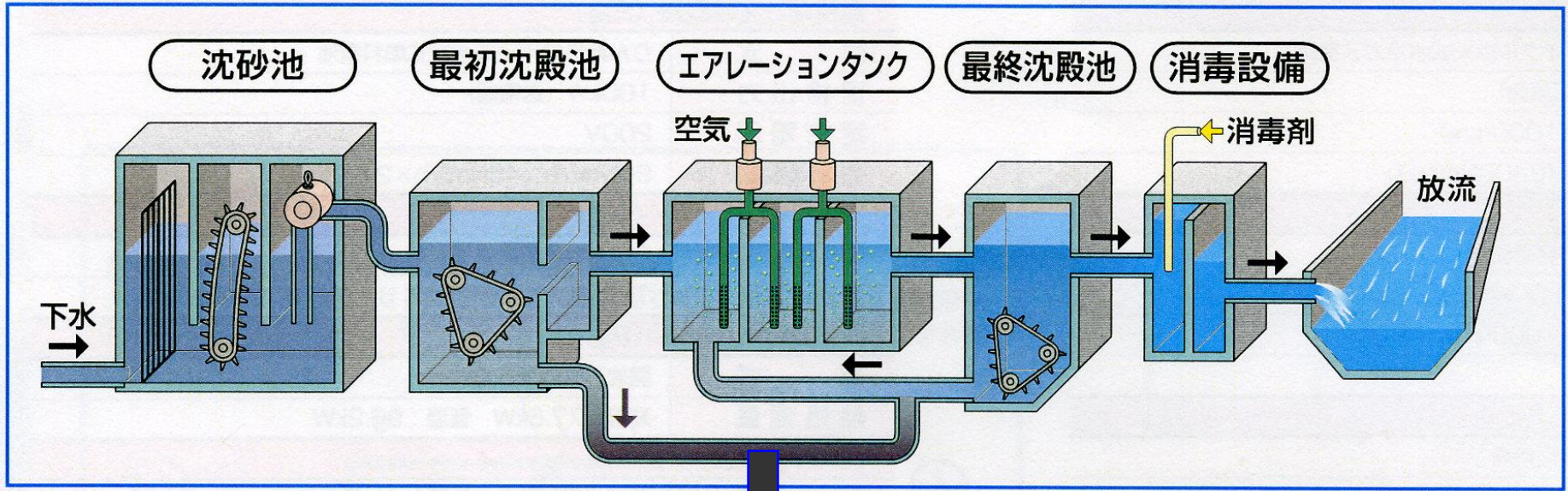
バイオマスからのバイオ燃料生産手段としてのメタン発酵

世界で実用化段階にある3つのバイオ燃料

①バイオガス、②バイオディーゼル、③バイオエタノール



下水処理



流入水



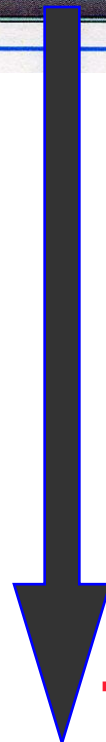
最初沈殿池の水



最終沈殿池の水

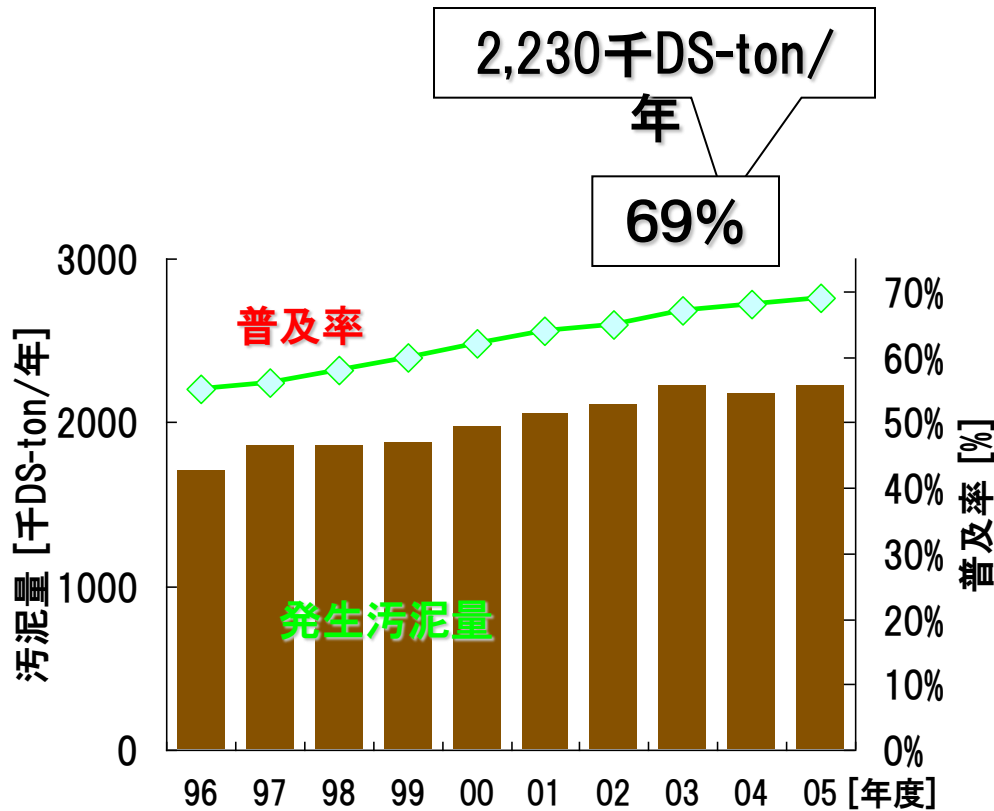


放流水



下水汚泥

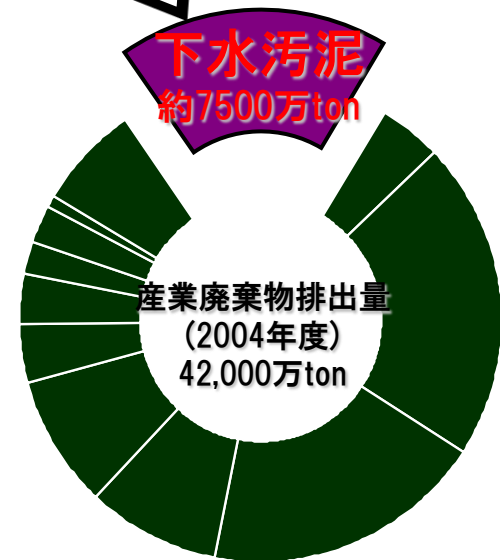
全国下水汚泥発生量



下水道普及率と発生汚泥量

全産業廃棄物の
約20%を占める

※含水率97%(発生時現物量ベース)



産業廃棄物排出量の内訳

生ごみ



あふれる畜ふん



メタン発酵の対象となる 主要なバイオマスの年間発生量(2006)

下水汚泥 (濃縮汚泥ベース):	約7,500万トン
食品廃棄物:	約2,000万トン
家畜排せつ物:	約8,700万トン

Volta実験(1776.11.03)



イタリアの物理学者Alessandro Voltaは彼の実験と発見をCampi神父に手紙で伝えた:

「中国では古くから「沼気」の記載がある」

(1) 沼の底泥から「可燃性の空気」を回収

(2) This air burns with a beautiful blue flame

メタン発酵法とは？

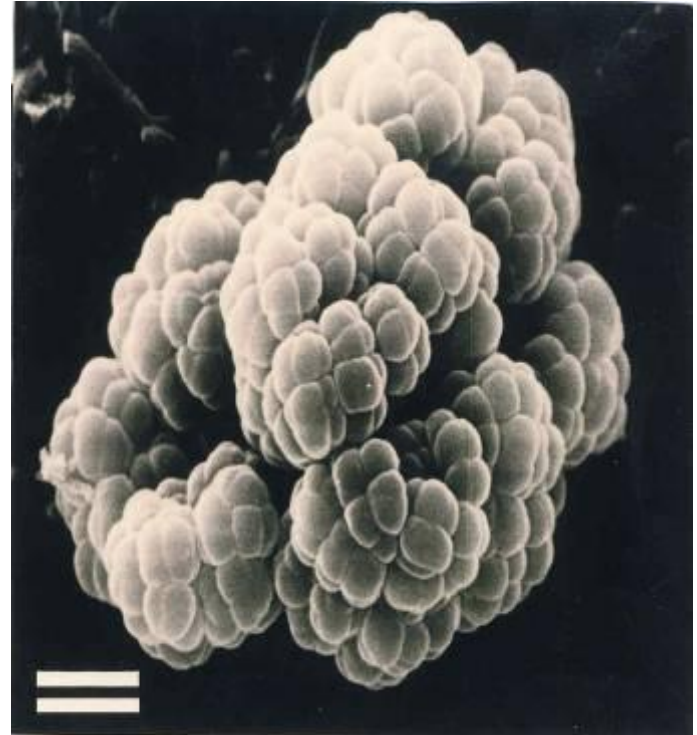
酸素の存在しない嫌気性条件下で働く嫌気性細菌により、下水汚泥や有機性廃棄物中の有機物を分解し、メタンおよびCO₂に変化させ、安定化・減容化する方法。

嫌気性消化法ともいう。

メタン生成古細菌

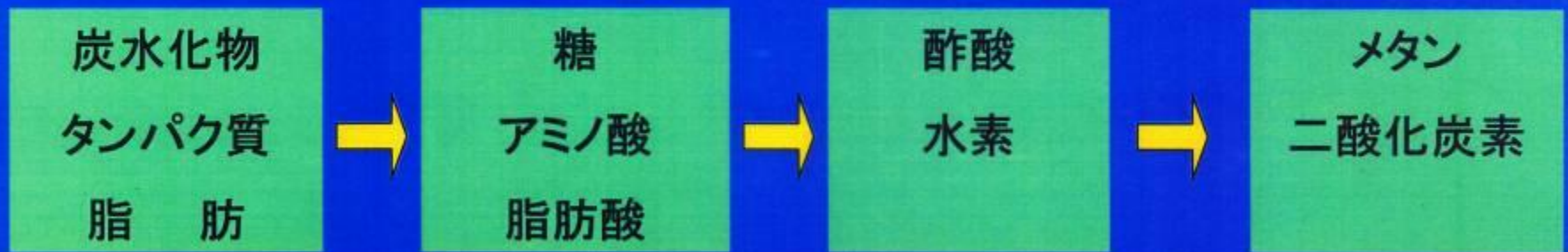
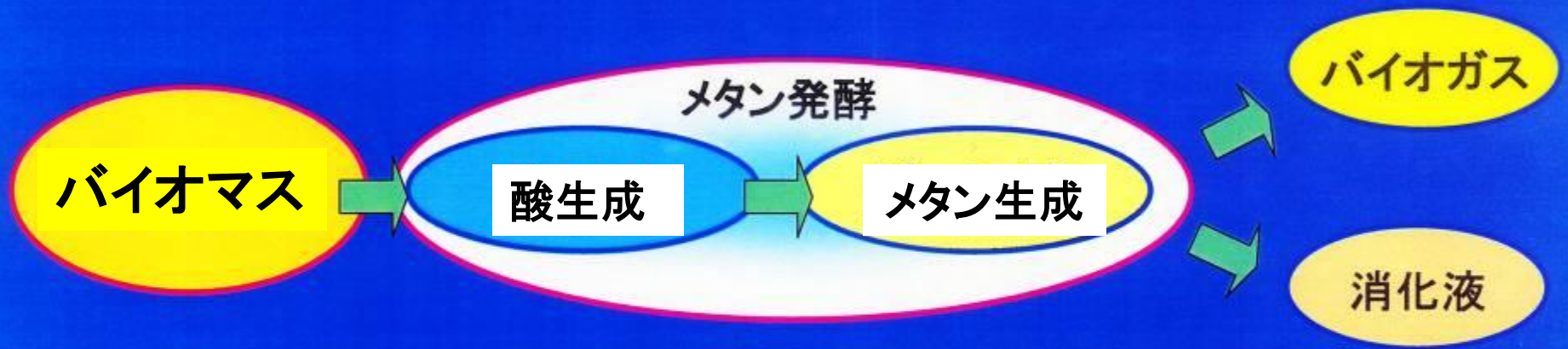


糸状性
Methanosaeta



連球状
Methanosarcina

バイオマスのメタン発酵による バイオガスの生産

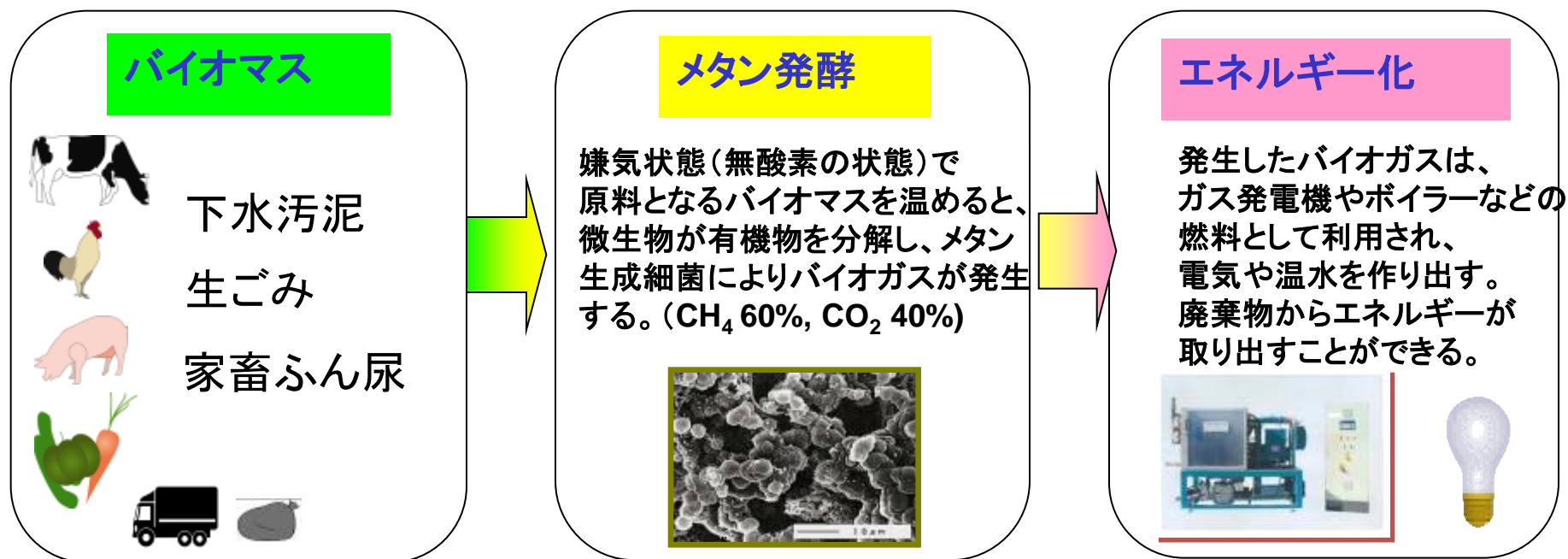


酸生成細菌

メタン生成細菌

バイオガスプラントとは

下水汚泥、生ごみ、野菜くず、家畜ふん尿などの
バイオマス（動植物から生まれた再生可能な有機性資源）を**メタン発酵**させ、
発生したバイオガスを**エネルギー**として利用する施設。



メタン発酵の効果

- (1) 廃棄物系バイオマスの減量効果が大い。
- (2) バイオマス燃料(エネルギー)が生産できる。
- (3) 病原性微生物の死滅効果が高い。
- (4) 発酵液はそのまま液肥として利用できる。
- (5) 低臭気・短期間でコンポストが製造ができる。

(2) バイオガスの有効利用

ガスエンジン発電機

(山形市浄化センター、昭和63年導入、178kW)

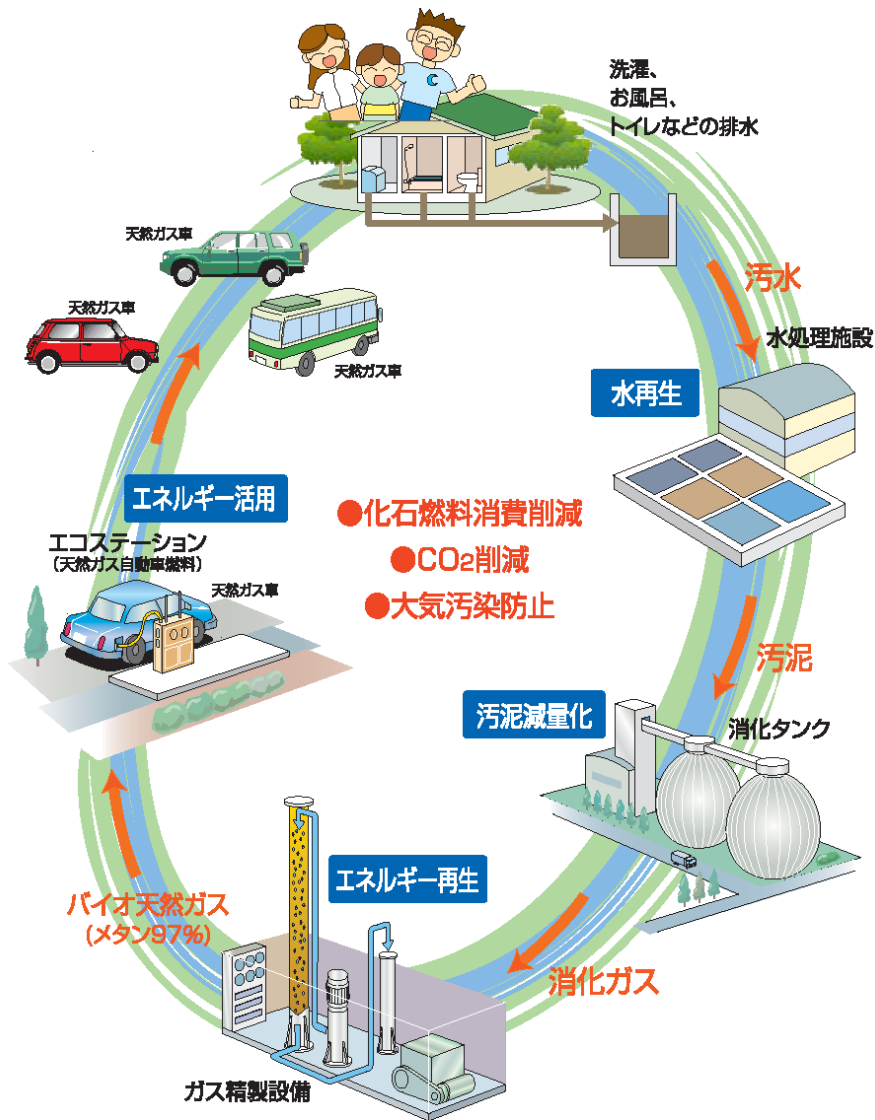


燃料電池発電設備

(山形市浄化センター、平成14年導入、100kW×2基)



バイオ天然ガス車(神戸市)

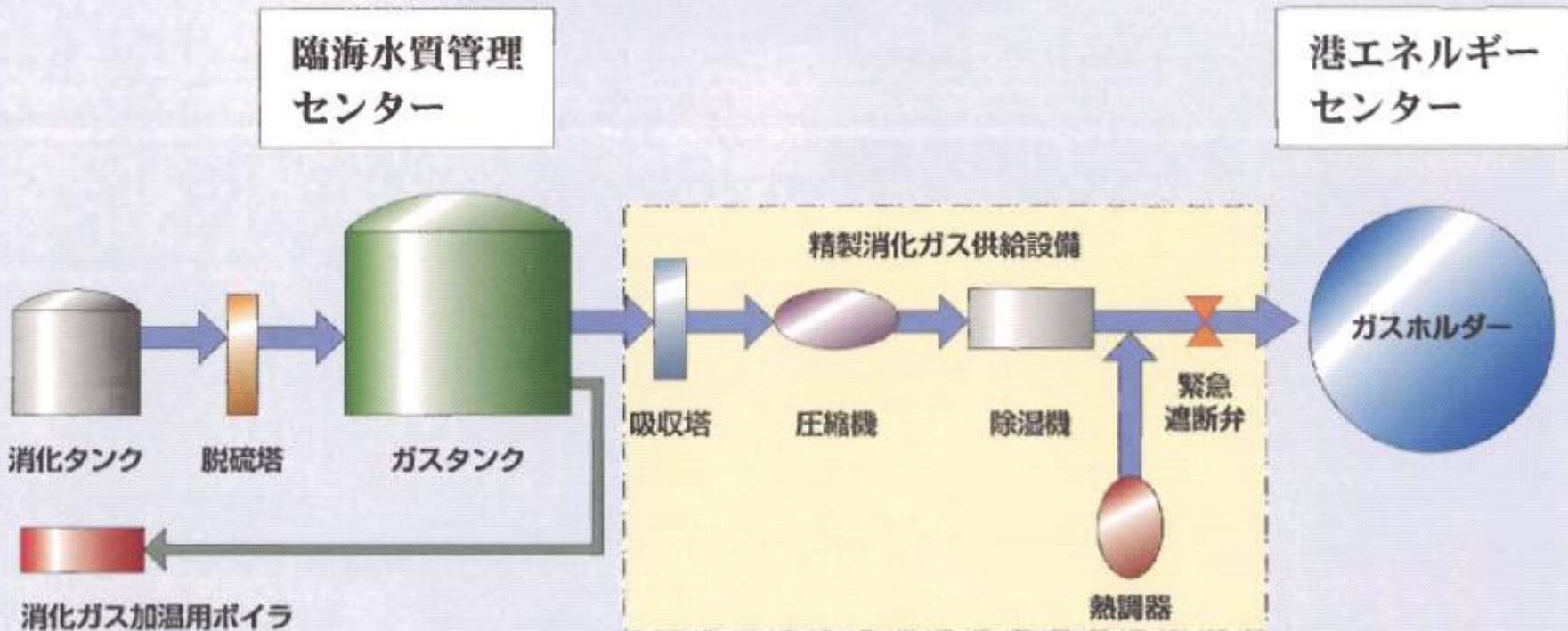


- | 消化ガスを精製し、天然ガスとほぼ同等の成分を抽出
- | 東灘処理場だけで、年間乗用車2000台分(1万キロ/年走行)の燃料を供給可能と試算



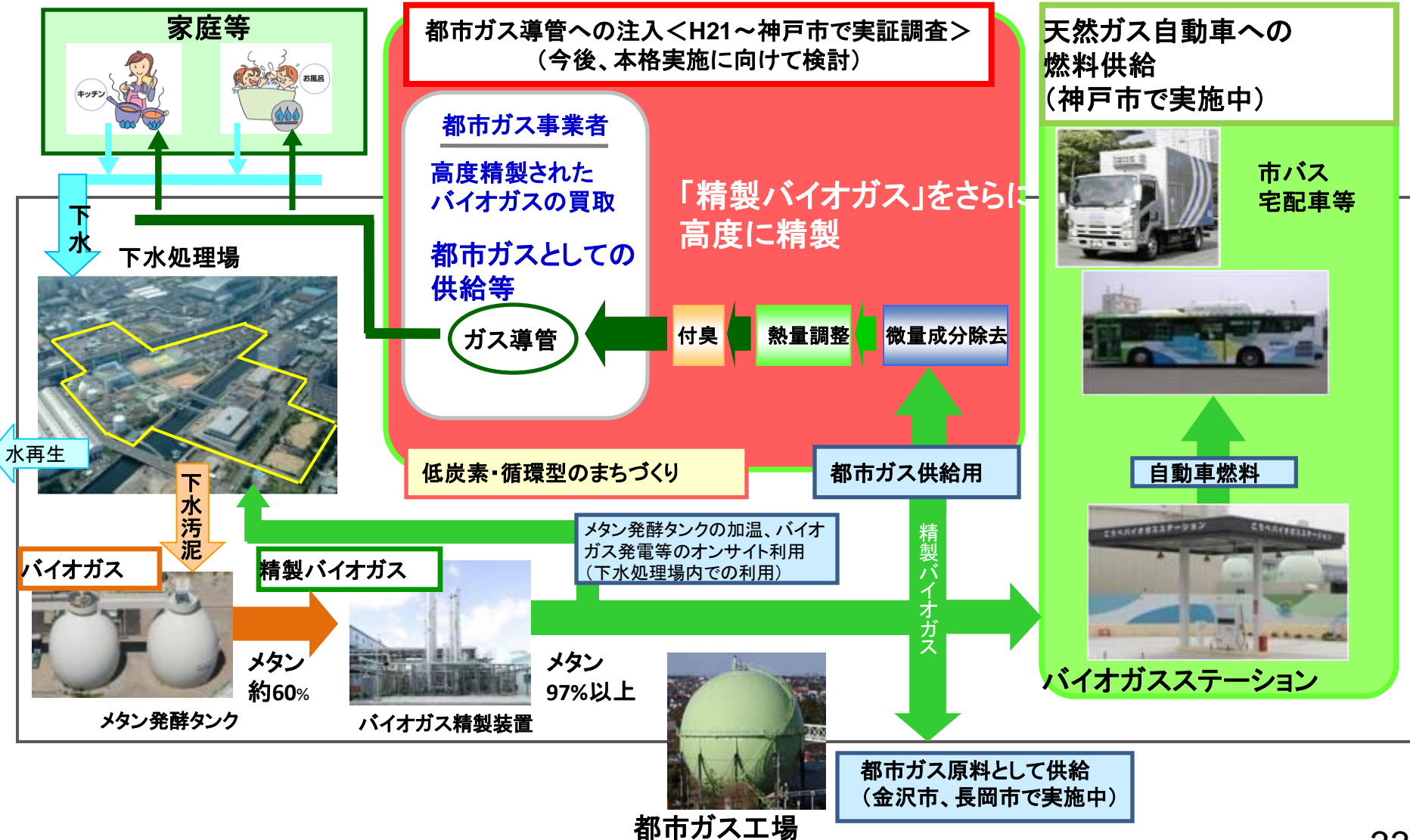
都市ガス原料としての活用(金沢市)

- バイオガスを精製し、隣接する都市ガス工場へ供給
- 概算事業費2億8千万円
- 都市ガスへの混入率は約1%



下水道バイオガスの利用

エネルギー供給構造高度化法等を受けて、下水道バイオガスの更なる利活用に向けた取組が加速 →都市ガス導管注入実証調査(神戸市)



(3) メタン発酵消化液の液肥利用

液肥(メタン発酵消化液)を化学肥料に代替利用 (液肥製造装置としてのメタン発酵)

メタン発酵消化液としての液肥は、バイオマスが適当な滞留時間を経て易分解性有機物が十分に分解され有害微生物や雑草種子が不活性化しており、化学肥料に代替できる**安心・安全な肥料**である。化学肥料の使用量の低減により、**CO2の削減に寄与できる**。

○性状 : 液肥中の肥効成分は対象バイオマスによって異なる。一例として搾乳牛500頭規模施設での液肥肥料成分の代表値を以下に示す。

○特長 : **有機質肥料としての肥効は高い。**

- ①全体窒素に占めるアンモニア性窒素の割合が高い。
また、ミネラル分を多く含む。
- ②スラリーと比較して臭気が改善する。
- ③有害微生物や雑草種子が不活性化している。

液肥1tあたりの成分供給量

	窒素	リン	カリウム
液肥1tあたり	2.11 kg	0.73 kg	3.21 kg

出典)メタン発酵利活用施設技術指針(案)、3-35、(社)地域資源循環技術センター

液肥の散布(山鹿市・大木町・八木町)

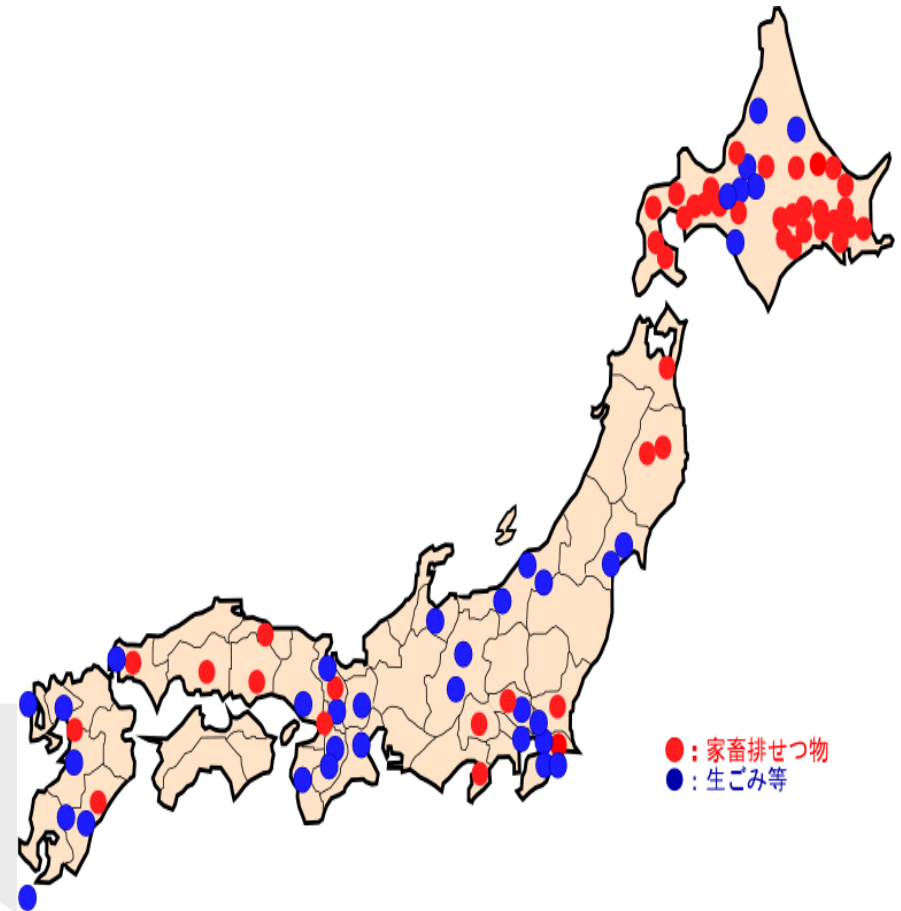
液肥を水稲および麦作の元肥・追肥に利用



(4) 日本におけるメタン発酵の現状

日本におけるメタン発酵施設 設置状況

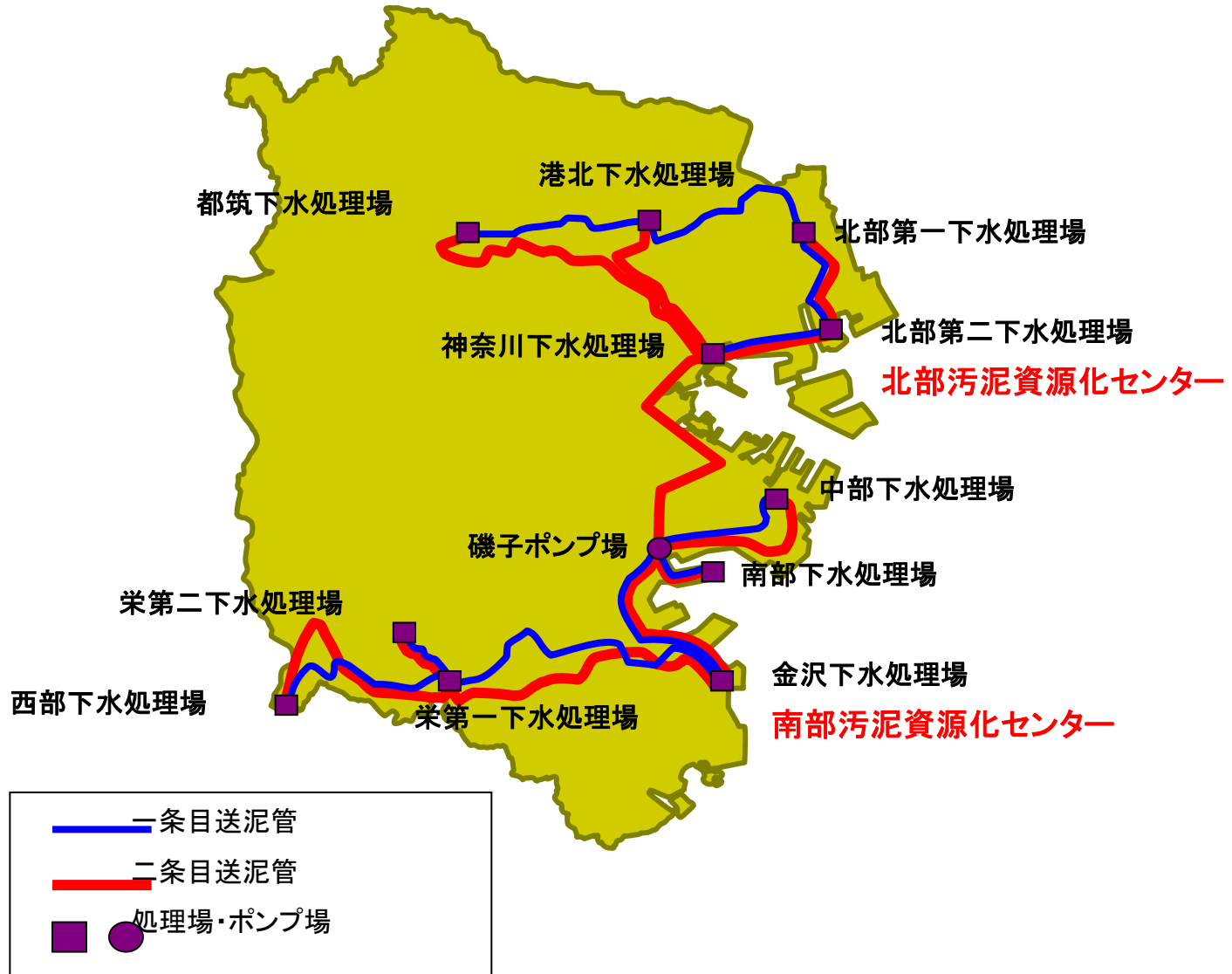
	数
嫌気性消化法し尿処理場	66
消化槽を持つ下水処理場	280
汚泥再生センター	20
食品工場排水を対象	44
食品固形廃棄物を対象	46
畜産廃棄物を対象	76
総計	約600
(参考 ドイツのメタン発酵施設数)	約5,800



日本では、欧州と比較して特に畜産廃棄物からのエネルギー回収が進んでいない。

日本におけるメタン発酵施設の現状

1) 横浜市汚泥資源化センター





北部汚泥資源化センター 1987年9月開始

下水汚泥バイオガスの活用

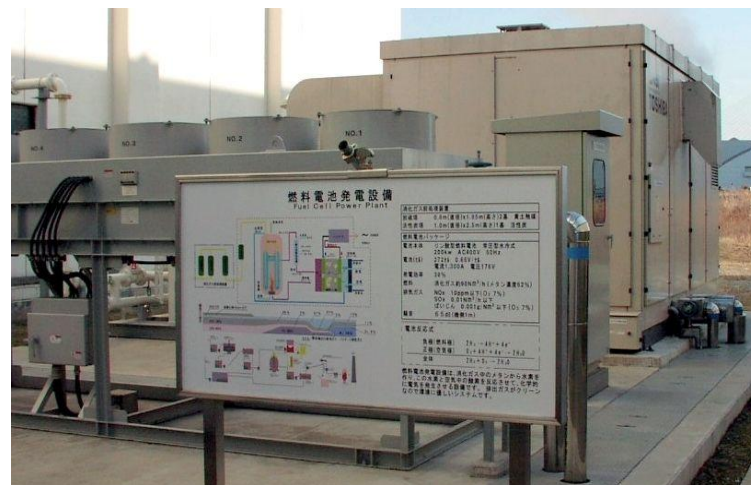
▼消化： 濃縮汚泥を嫌気性条件下でメタン発酵
→ガスエンジンや燃料電池により発電
→他に加温用、都市ガスとして活用



下水汚泥からバイオガス
を回収する消化槽



メタンガスを燃料としたガスエンジン発電

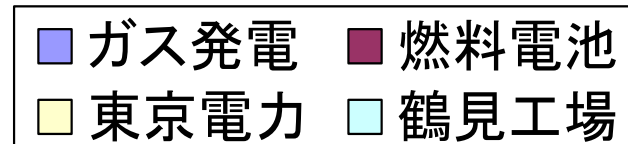
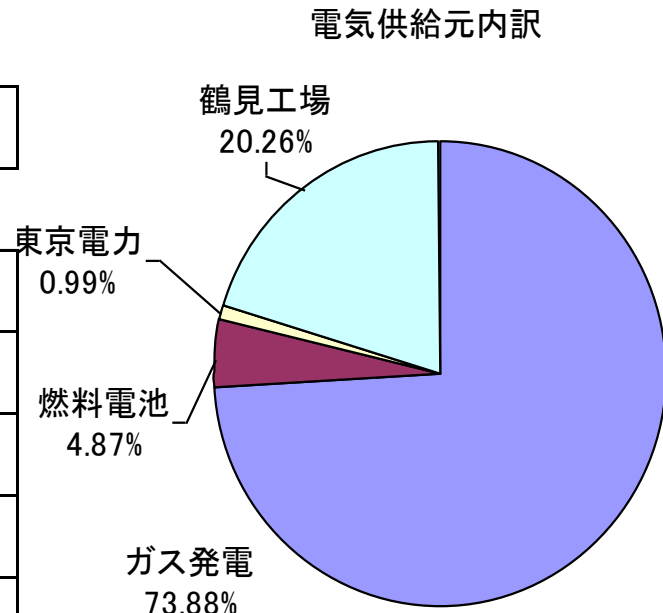


メタンガスを燃料とした燃料電池発電

北部汚泥資源化センターにおける 年間電気使用量と電気供給源の内訳

年間電気使用量	32,374,069 kwh/年
---------	------------------

電気供給源内訳	
ガス発電	23,918,310 kwh/年
燃料電池	1,575,490 kwh/年
東京電力	320,666 kwh/年
鶴見工場	6,559,603 kwh/年



2) 山形市浄化センター

—バイオマス資源の有効利用
と温室効果ガスの排出抑制—



山形市下水道部浄化センター
奥出 晃一 所長

污泥消化槽



山形市浄化センターの概要

(消化ガス発電)

消化ガス発生量	4,082 m ³ /日
消費電力量	14,823 kWh/日
ガス発電電力量	7,226 kWh/日
電力自給率	<u>約 50 %</u>

(H19年
度)

地球温暖化ガス排出量の削減効果

(二酸化炭素換算)

発電による削減効果

- 発電で約1131トン削減
- 廃熱利用で約391トン削減

有効利用による削減効果

- コンポスト生産で約112トン削減
- 再利用水で約117トン削減

合計で約1752トン削減



スギの木で約12万本分

3) 神戸市東灘下水処理場

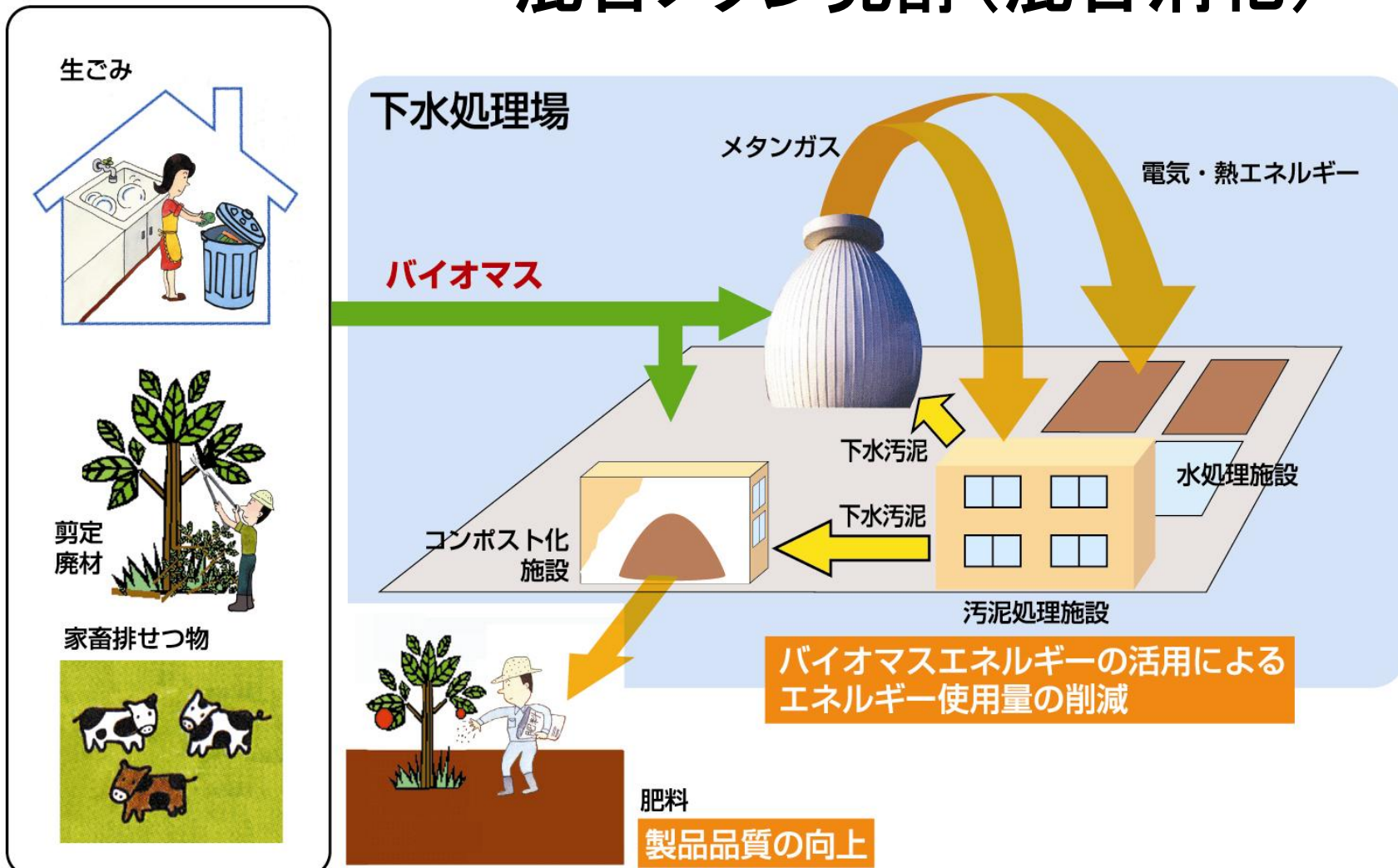


- 特徴：**
- ・消化ガス(バイオガス)を精製してメタン濃度を98%に濃縮
メタンガスの濃縮方法は高圧水吸収方式
 - ・天然ガス自動車(NGV)燃料として約1,100m³を供給(2009年度)
 - ・利用台数は延べ12,552台/年。下水道脱水汚泥運搬車、ごみ収集車のほか、民間事業者の運送用車両等に利用されている
 - ・H.21都市ガス導管への注入実証事業開始(当初80万m³/年, 2000世帯相当)

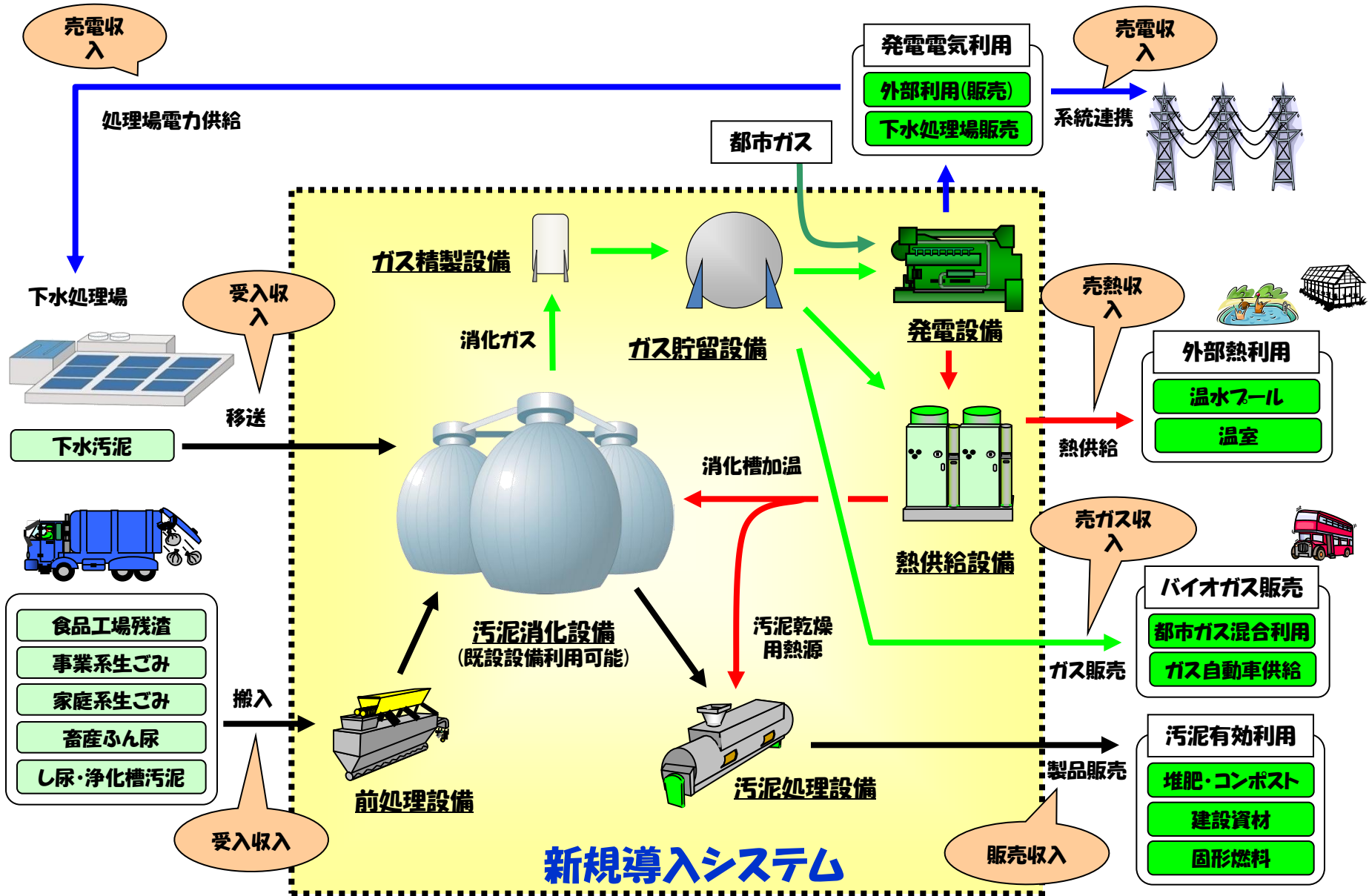
(神戸市建設局パンフレットの写真及び環境新聞2010.9.1特集記事より)

バイオマス利活用事業(国交省モデル事業) = 下水汚泥 + 他のバイオマスの共同処理

混合メタン発酵(混合消化)



下水汚泥と生ごみ等の混合消化全般フロー

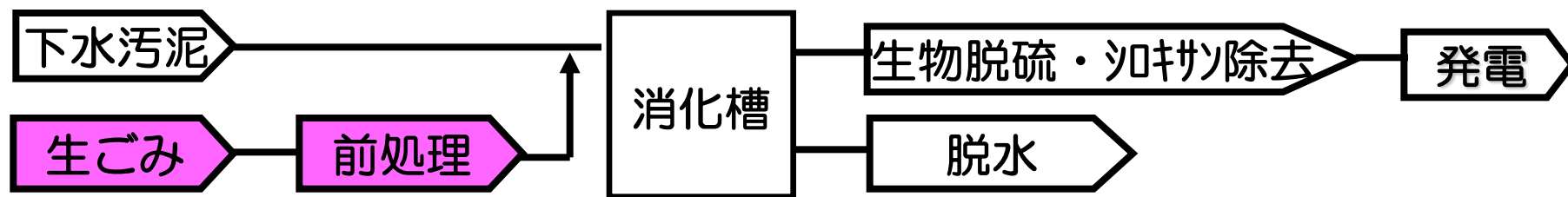


4)【国土交通省】LOTUSプロジェクトでの検証

(Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project)

「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト」

「低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム」



(1) 下水処理場で生ごみなど一括処理して問題ないか

(2) コストや温暖化対策としての効果



横浜市南部汚泥資源化センターで実証実験

①有機物分解率特性の検証

生ごみ25%混合までは、汚泥の消化に悪影響を与えることなく、それぞれに良好な処理が可能であることを確認。

	A	B	C	D
消化時間（対濃縮汚泥）	20日	20日	20日	20日
生ごみ混合量（湿潤重量比）	0%	6%	13%	25%
実消化時間（対混合汚泥）	20日	<20日	<20日	<20日
汚泥由来COD負荷	1.0	1.0	1.0	1.0
生ごみ由来COD負荷	0	0.33	0.71	1.36
トータルCOD負荷	1.0	1.33	1.71	2.36
生ごみ分解率	-----	80%程度分解		
汚泥分解率	50%程度分解			

②発電コスト試算

- <前提>
- 消化槽は既存設備を利用する
 - 生ごみ受入料金は16,000円/t
 - 脱硫は生物脱硫方式を採用

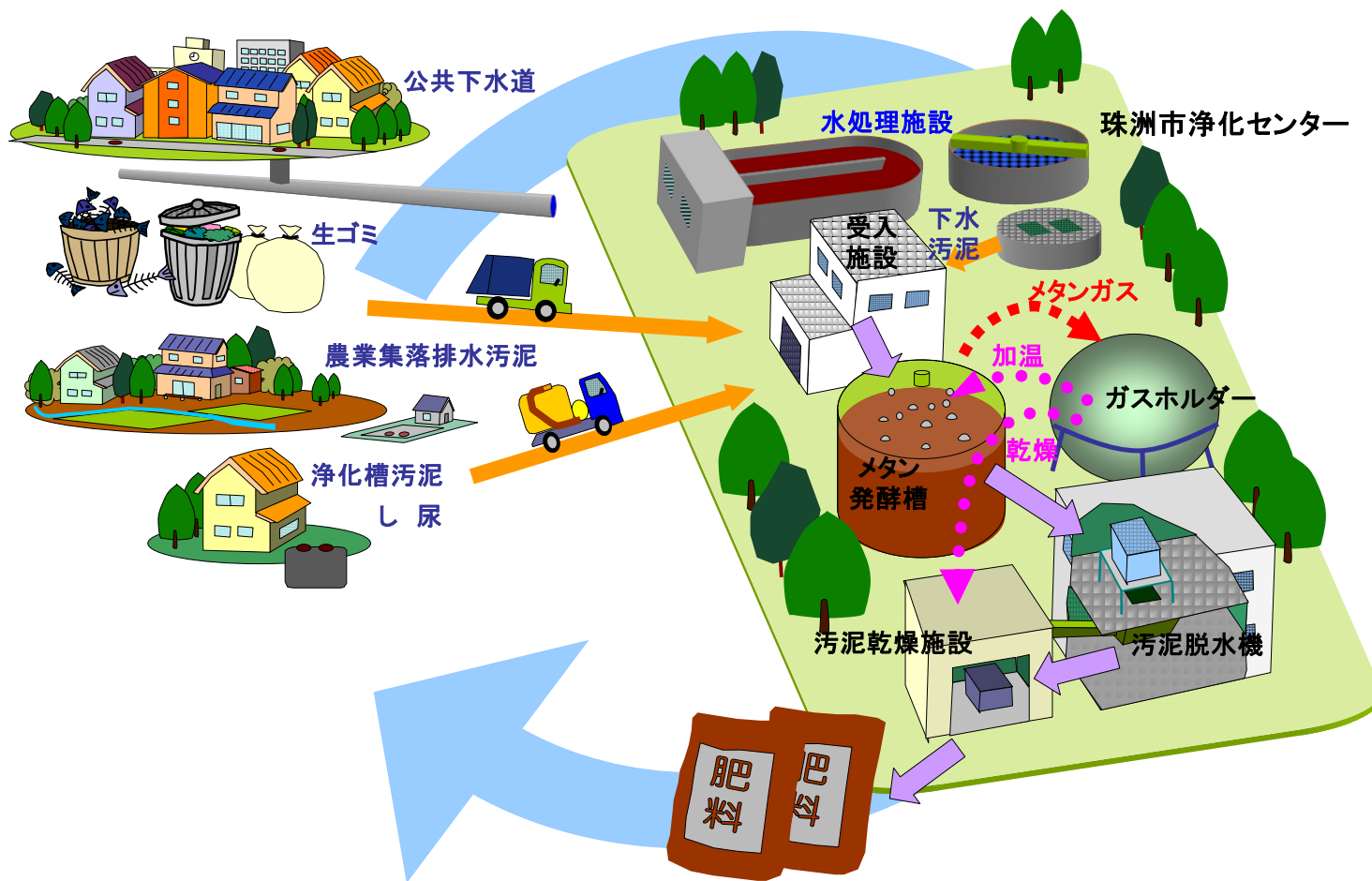
<目標> 9.3円/kWh (07年全国買電平均単価:高圧B)以下を達成

処理場規模	10万m ³ /日 約20万人	5万m ³ /日 約10万人	2万m ³ /日 4~5万人
濃縮汚泥量(濃度4%)	500m ³ /日	250m ³ /日	100m ³ /日
生ごみ量	30t/日	20t/日	13t/日
生ごみ投入割合	6%	8%	13%
発電機	ガスエンジン	ガスエンジン	MGT
発電コスト (円/kWh)	3.4	4.8	5.0

～5種のバイオマスを一括混合処理!!～

— 珠洲市浄化センターバイオマスメタン発酵施設 —

5) 石川県珠洲市浄化センター





循環型社会の
さきがけ
珠洲市から

平成21年度国土交通大臣賞受賞
(資源のみち部門)

施設の導入効果

本施設の導入により、各バイオマスを個別に処理した場合に比べ、次の効果が見込まれる。

①廃棄物処理事業費の削減

廃棄物処理事業費として年間 6,700万円の削減

②温室効果ガス排出量の削減

施設の運転により排出される温室効果ガスを、
1日当たり 290kg削減(CO₂換算)

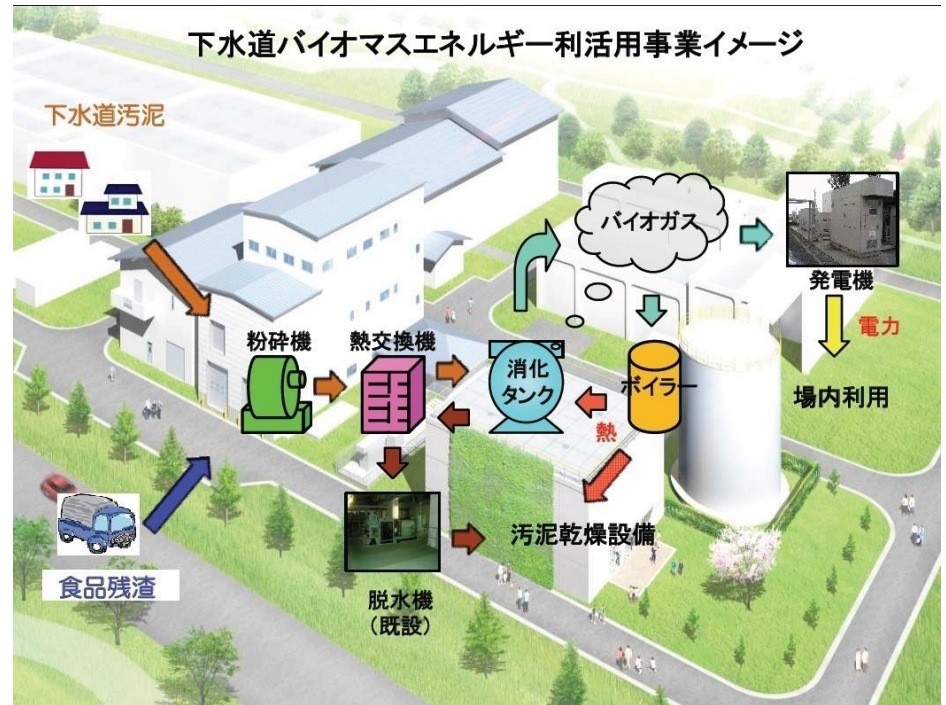
6) 生ごみのメタン発酵実例

宮城県白石市生ごみ資源化施設 シリウス



- 企業者 : 宮城県白石市
- 対象物 : 事業系生ごみ・家庭系生ごみ
- 処理能力 : 3 t / 日
- バイオガス利用 : 発電+温水供給
- 稼働開始 : 2003年4月

7) 富山県黒部市 下水道バイオマス利活用施設



2009/4/23

国交省北陸地方整備局配布資料より

【事業概要】

事業方式： PFI (BTO, サービス購入型)

事業期間： 2009年度～2026年4月

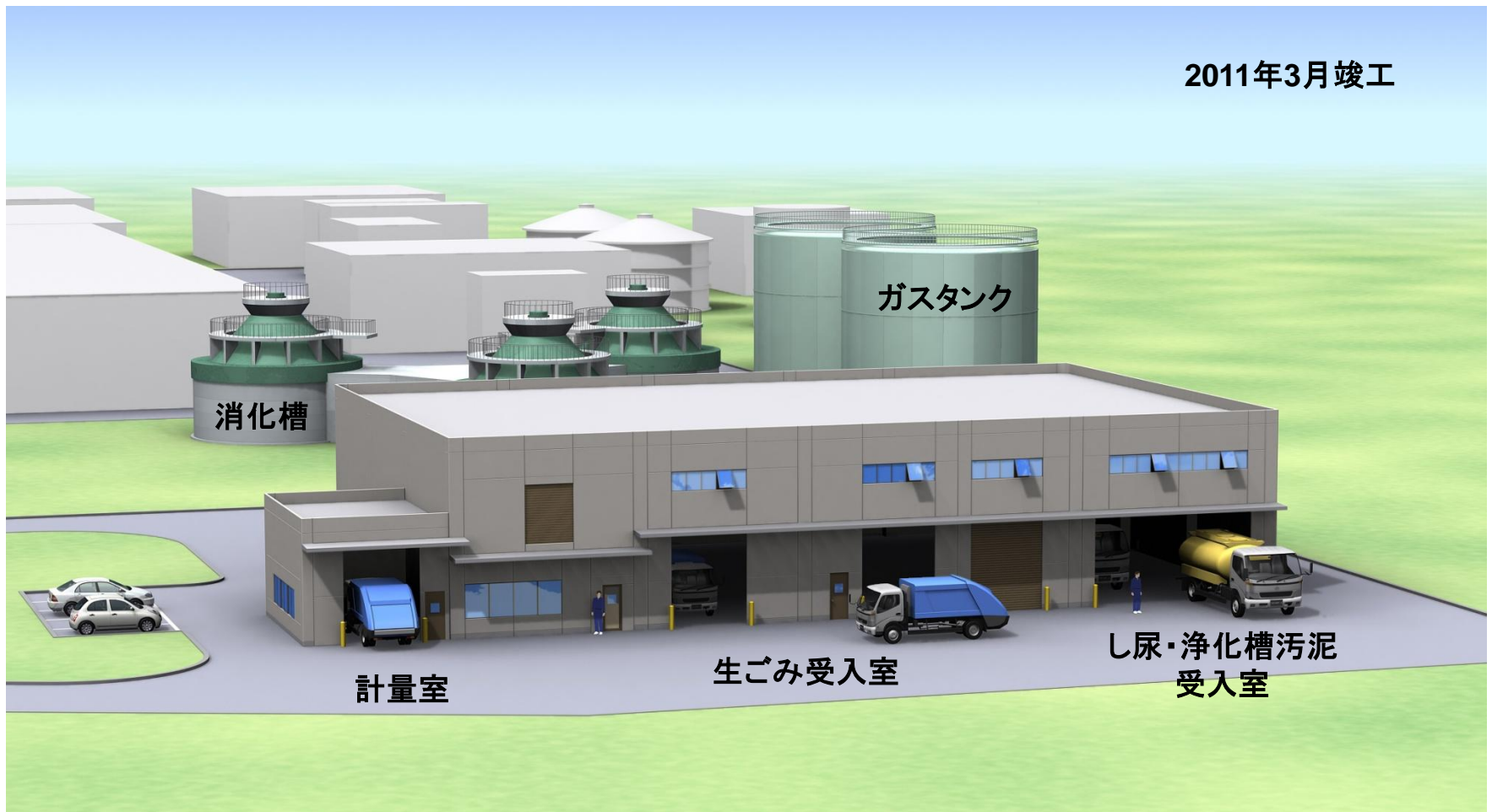
事業費： 約36億円 (事業者選定時)

平成21(2009)年度**国土交通省**
新世代下水道事業支援制度採用

8) 北広島市バイオマス混合調整施設

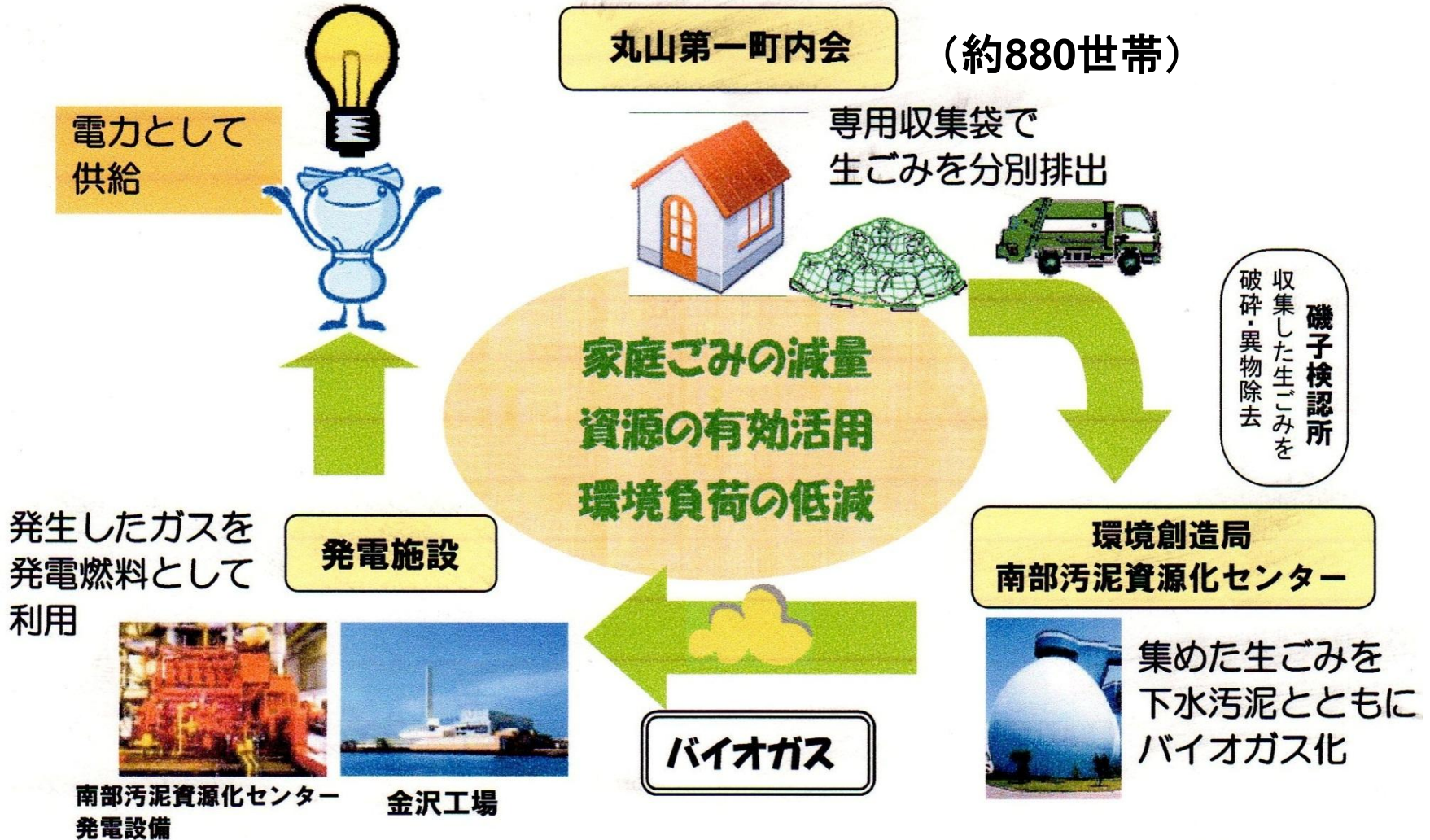
受入量 : 下水汚泥131トン/日、生ごみ17トン/日、し尿・浄化槽汚泥40トン/日

2011年3月竣工



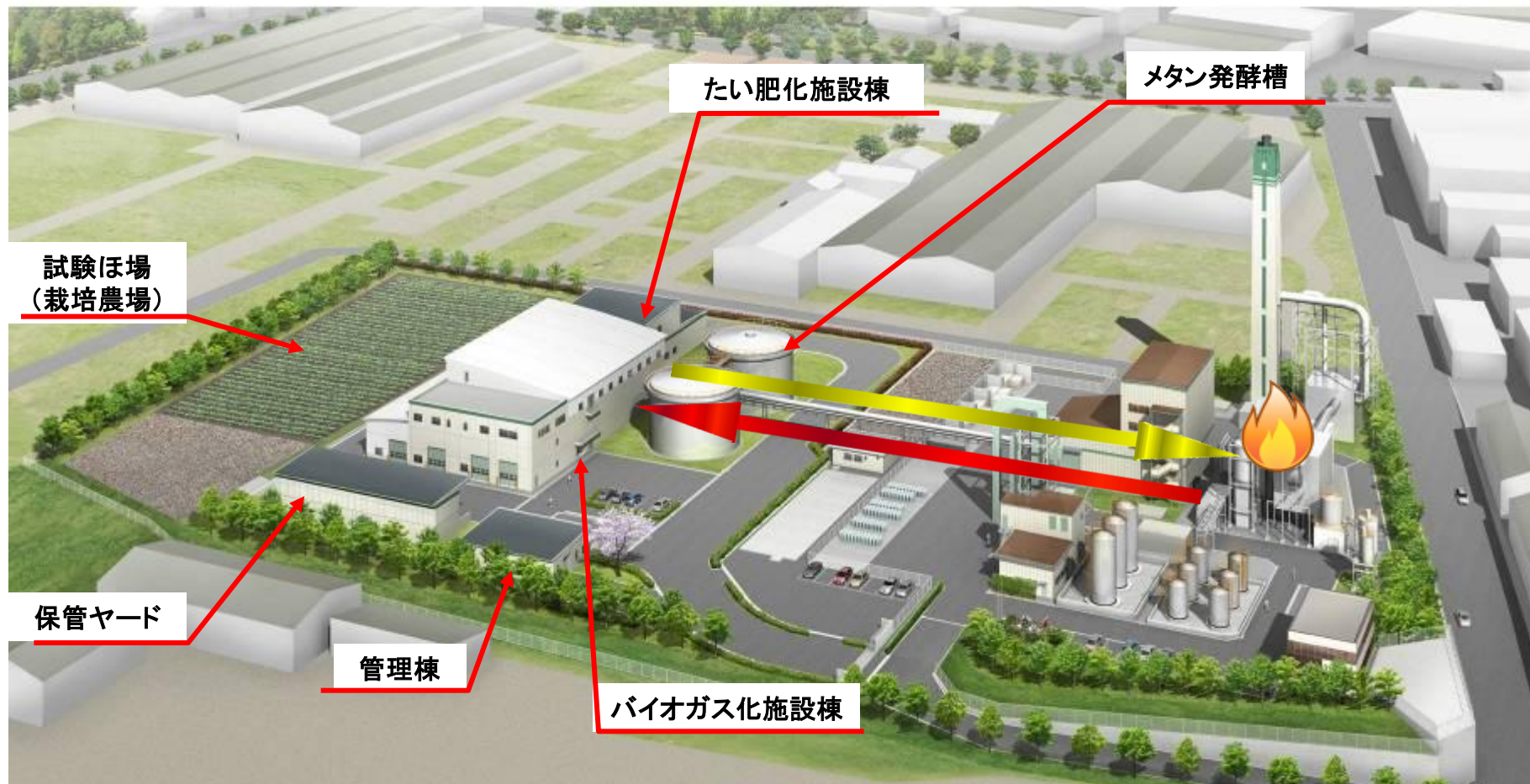
9) 横浜市南部汚泥資源化センターにおける生ごみ混合消化実験

平成21年12月11日(金)開始



環境行動都市へ向け
ハマッ子が行動します！
ヨコハマはG30

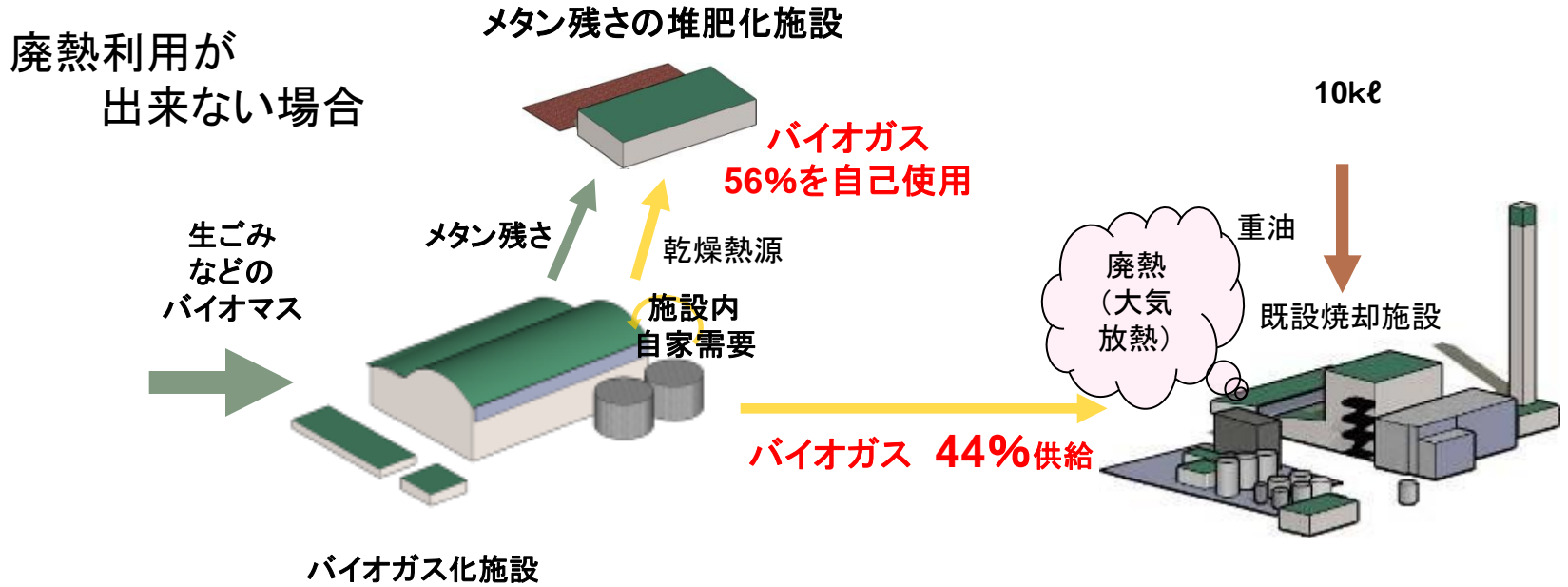
神立資源リサイクルセンター（仮称）バイオガス化施設



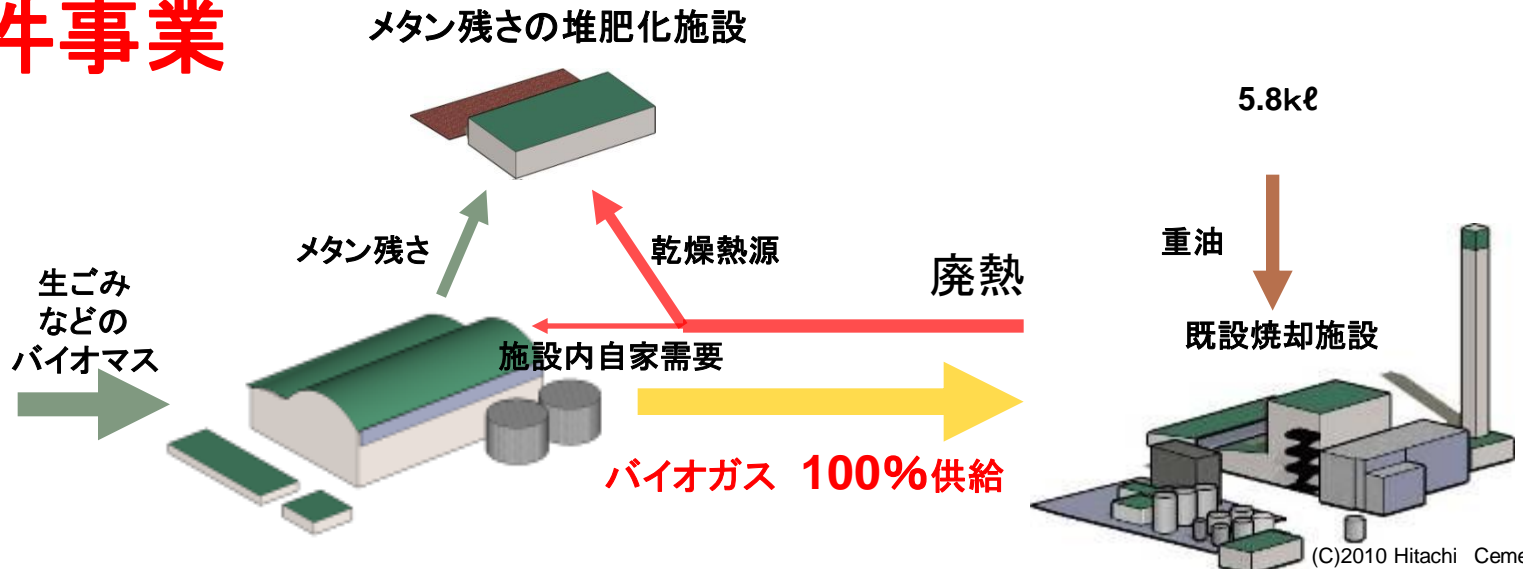
10) ハイブリッド型施設 (生ごみ140t/日)

左 ; (仮称) バイオガス化施設 右 ; 既設リサイクルセンター

焼却処理施設と連携することのメリット



本件事業



仙台・泉が岳の近くに
生ごみのメタン発酵プラント
(160t/日)



廃棄物＝資源 日本最大級のバイオマスエネルギー抽出プラント

11) 新興バイオアーク

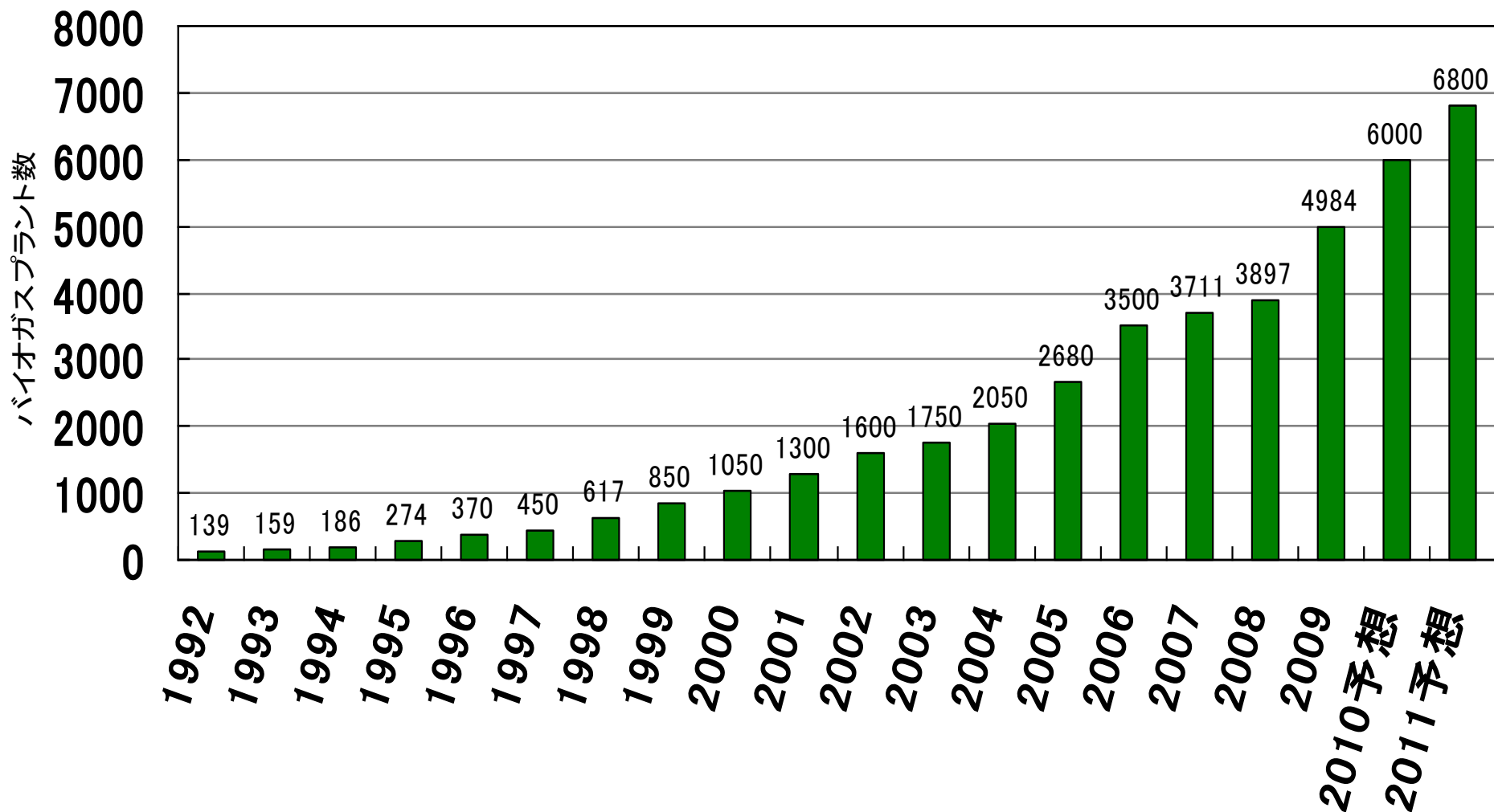
23年3月

3. ドイツ・韓国・中国における バイオガス施設 導入の動向



(1) ドイツのバイオガスプラント

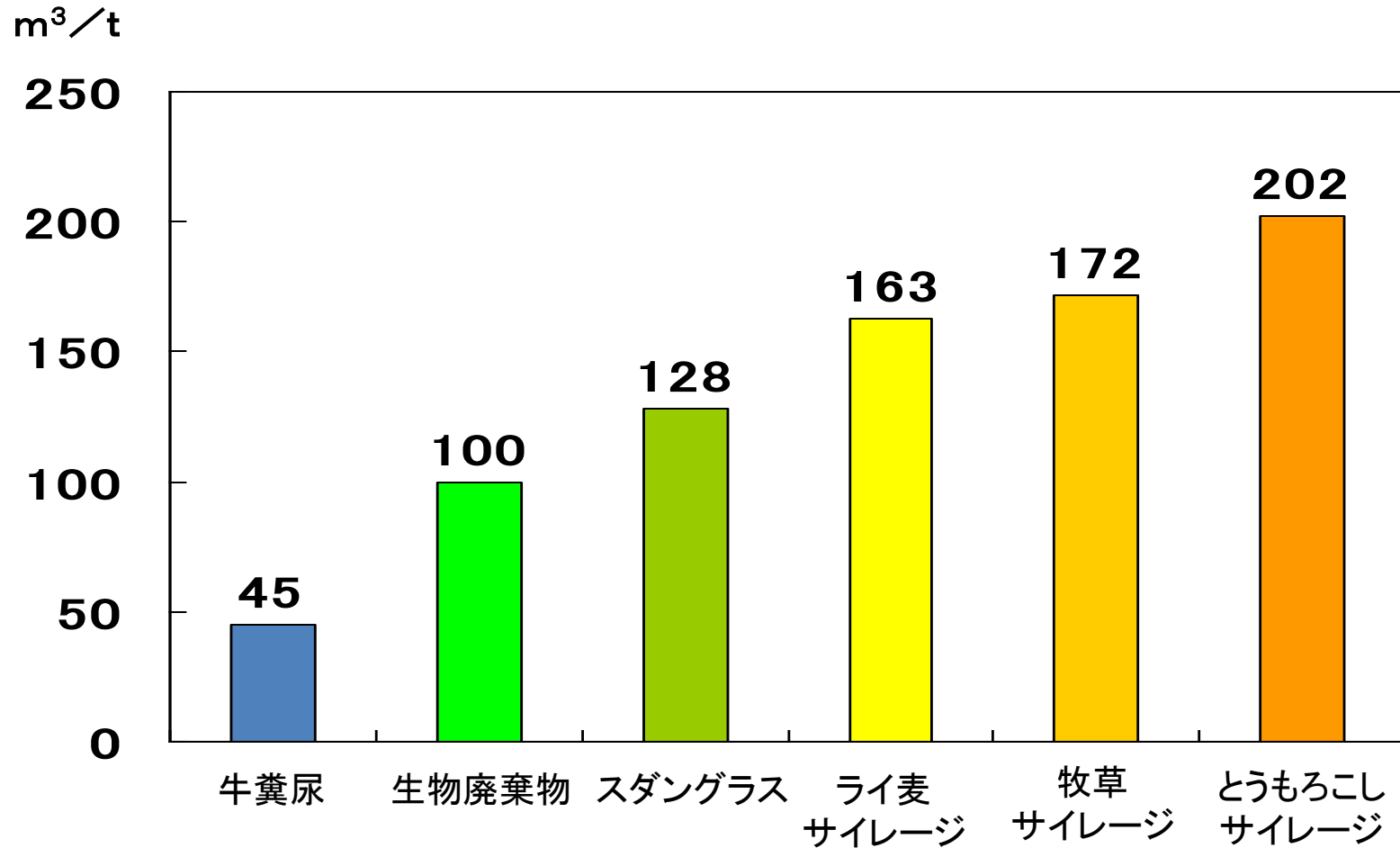
ドイツにおけるバイオガスプラント数





**資源作物のとうもろこしのメタン発酵による
バイオガスの大量生産**

バイオガス発生量



ドイツのバイオガスプラント

1. 2020年までに1990年のCO2排出量の40%削減を目標
2. バイオガスプラントでの売電は固定価格買取制度(20年間の保証)
3. 2010年の推定値: 6,000箇所のプラント、発電量230万kw
4. 2020年には760億kWhを目標(総発電量の17%相当)

**(2) 韓国では、生ごみの焼却処理が法律で
禁止されている**

湿潤バイオマス：メタン発酵
乾燥バイオマス：コンポスト
を基本とする

(国庫補助率65%)

**バイオガスの用途：
Local Energyおよび農業機械の燃料**

동대문 환경자원센터 조감도



1) 서울 동대문 환경자원센터—民間投資事業
(生ごみ98t/日乾式メタン発酵システム 2009年8月完成)

2) 釜山市生ごみのメタン発酵施設 (100t/日x2基、発電量2000kwh/日)

施設概要

施設位置

・釜山廣域市 江西區 生穀洞 416
(生穀埋立場 内)

適用工法

・乾式 単相 嫌気性 消化(DRANCO) 工法

施設容量

・200トン/日 (2,000kW 発電)

事業方式

・BTO方式 (20年間 運営)

敷地面積

・3,636.38㎡ (1,100坪)

竣工日

・2004年 12月

その他事項

- ・飲食物 単一 嫌気性 消化 施設では 国内 最大 施設 施工及び 運営中
- ・生産された バイオガスは 発電を 通じて 韓国電力に電力を 販売する 唯一の 施設
- ・廃水は 物理 化学的 処理後 江辺 下水処理場に 連続 処理



事業所 全景



(3) 中国農村部でのバイオガス利用

- 安徽省 Anhui Province 農村部では**1000万戸**中**約50万戸**にメタンガス利用システムを導入。
- 中央政府、省政府が導入補助金。家庭用燃料としてメタンガスの利用を推奨。









中国農村部大規模養豚・養鳩ふん尿バイオガスステーション

安徽省 Anhui Province
淮北・洪莊村 Hongzhuang
village の例

洪発鳩養殖場、順発養豚場、
佳宝種豚場の畜禽し尿をメタン
発酵し、家庭に供給。発酵液・
残渣は500のハウスで野菜栽培
に利用。

(安徽省研究室、前掲サイト)



洪庄村沼气站始建于2000年3月，日产沼气1500立方，可供1000户村民正常用气。



洪庄村农民公寓总占地80亩，建筑面积8.42万 m^2 ，可安置960户居民入住。工程分为二期建设，第一期工程已完工，村民已入住。

上：2003年3月完成のメタンステーション。1500立米/日のメタンを1000戸に供給。

左：洪莊村の村民ニュータウン。建築面積8.42万平米、960戸が入居、2期中1期分
~~入居済~~生態500村の1に選定

<http://www.hbwm.gov.cn/cjdw/h>

4. 地球温暖化防止に貢献するメタン発酵

メタン発酵によるバイオガス生産の特徴

- ① メタン発酵の原料は、全国どこにおいても、**常時・豊富に存在する。**
- ② バイオマス原料の種類を選ばない（**食料原料と競合しない**）。
- ③ 製造に要するエネルギーが極めて少ない。
- ④ 嫌気的条件・温度・滞留時間等を保持することによって、**誰にも容易にバイオガスを生産できる**確実な技術である。

日本におけるバイオガスエネルギーの回収

メタン発酵のエネルギー回収ポテンシャル(年間換算量)

- ・下水汚泥=6.3億m³メタン= 原油換算63万kL
- ・生ごみ=17.2億m³メタン= 原油換算172万kL
- ・畜産廃棄物=16億m³メタン= 原油換算160万kL

合計 395万kLの回収ポテンシャル
(2005年輸入量の1.2%)

電力に換算すると、原油0.243Lからの発電量を1kwhとして
(発電効率38%)、

395万kLの原油は1,625,514万kwhの電力に相当

福島第1原子力発電所発電量との比較

1号機出力: 46万kw

廃棄物系バイオマスのメタン発酵による発電量

出力: 451.6万kw

$$451.6\text{万kw} / 46\text{万kw} = 9.8$$

1号機規模の原発**9.8基**分に相当

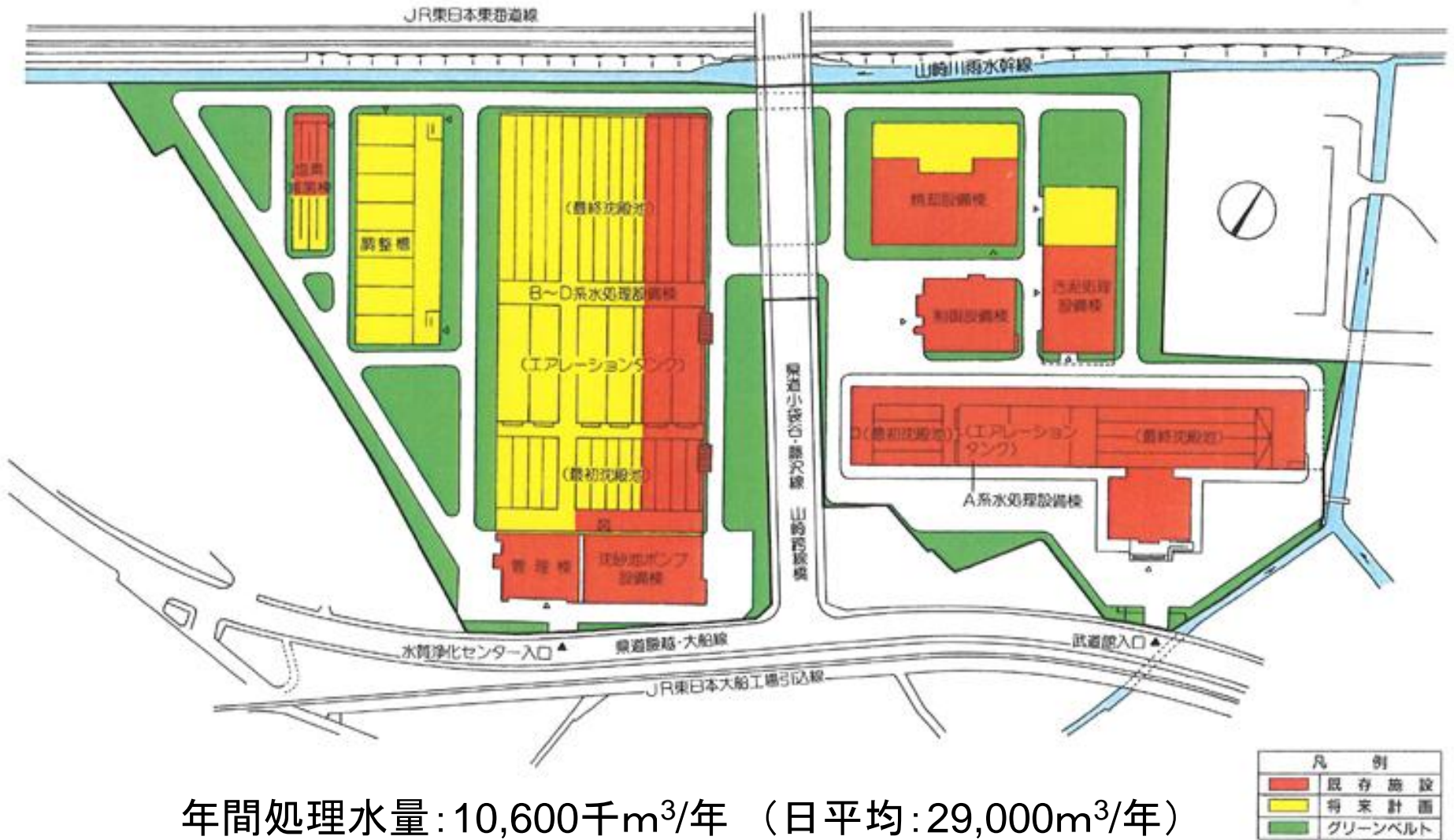
ドイツにおける2010年における推定値

5,800か所のバイオガスプラント: 発電量230万kw

1号機規模の原発の**5基**分に相当

5. 山崎浄化センター 混合消化システム計画 (案)

山崎浄化センターの事例

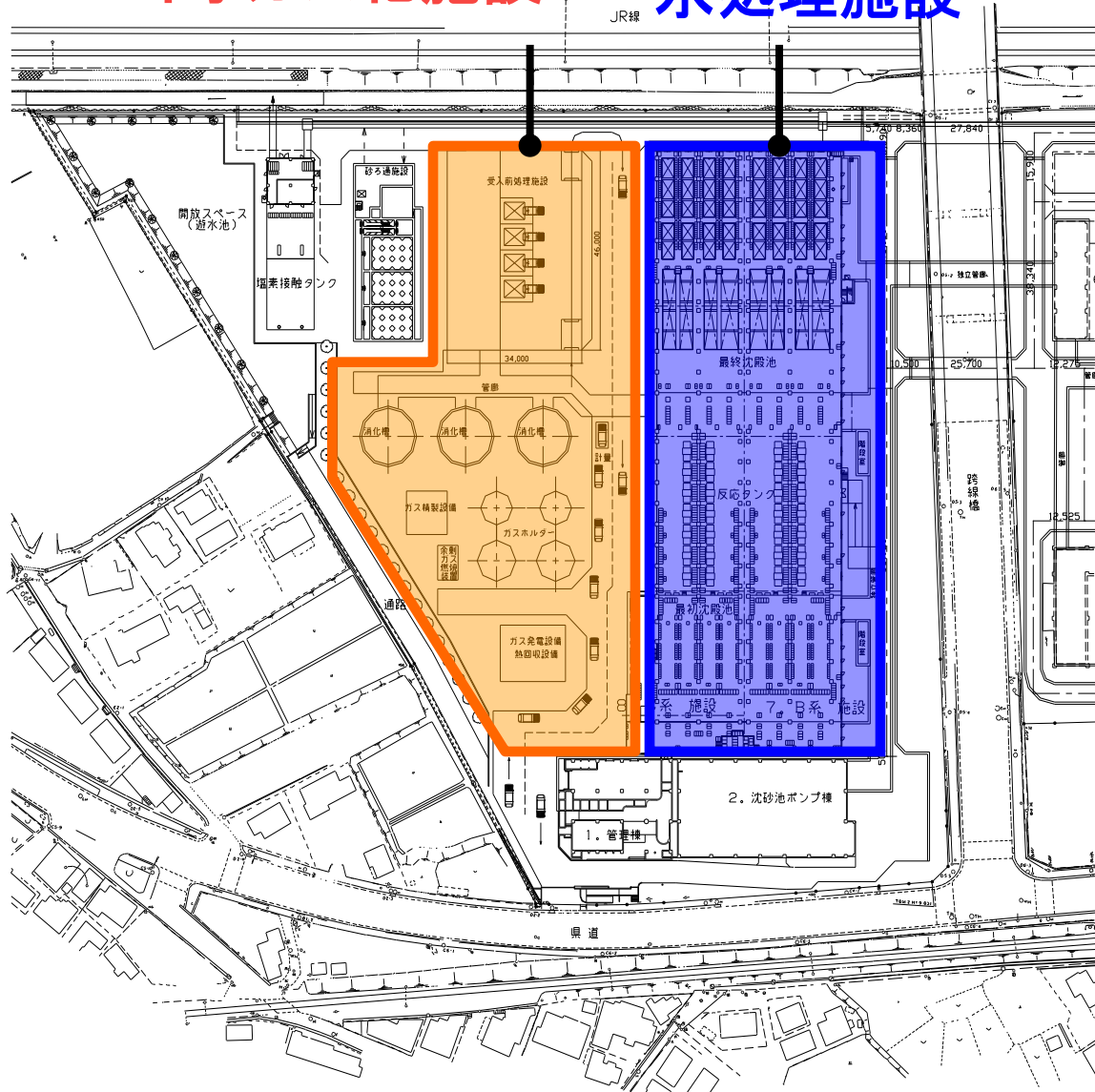


年間処理水量: 10,600千 m^3 /年 (日平均: 29,000 m^3 /年)
 年間発生濃縮汚泥量: 82千トン/年 (日平均: 220トン/日)
 年間電気使用量: 8,800千kWh/年 (日平均: 24,000kWh/日)

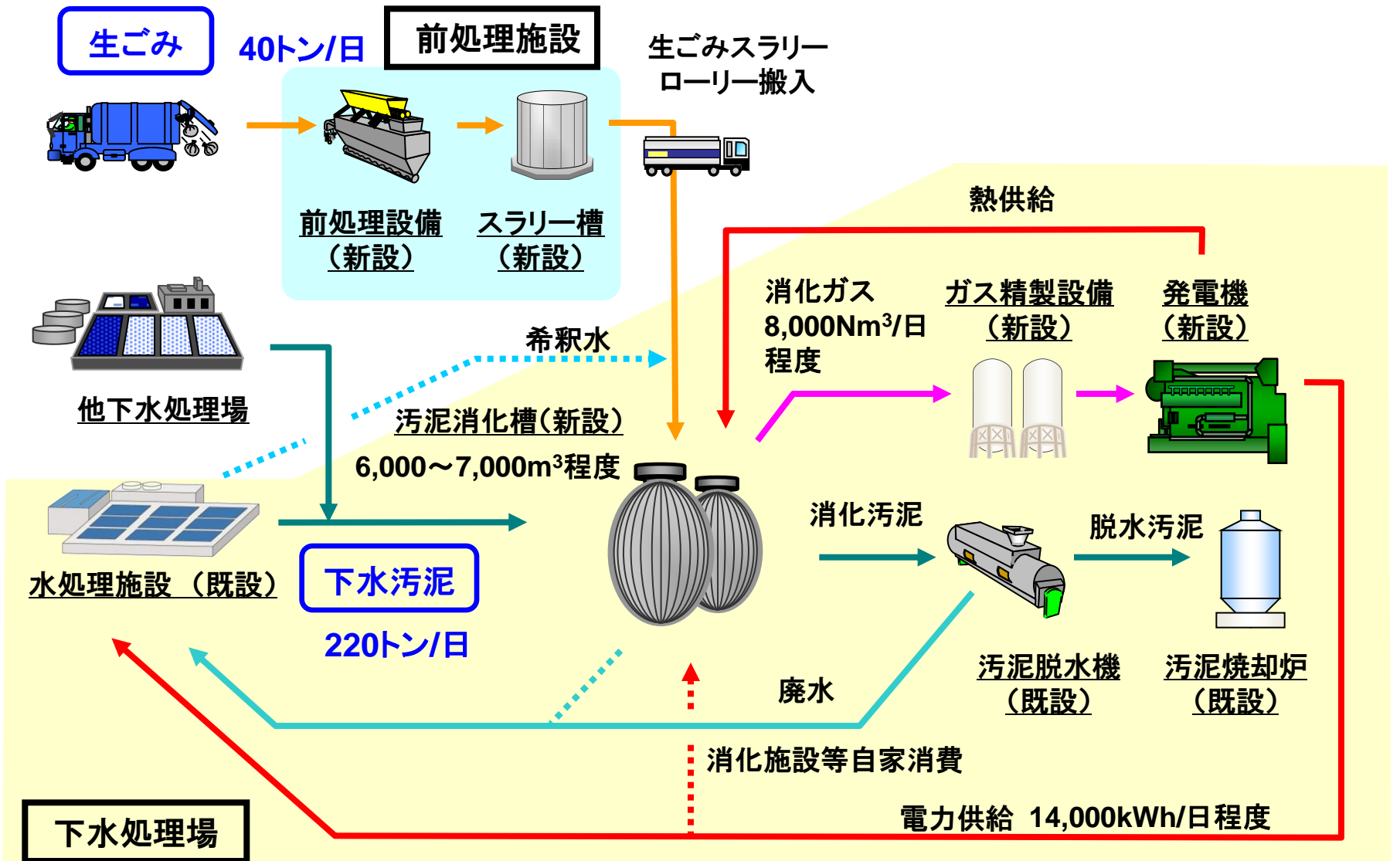
山崎浄化センターにおける計画案 (JS案)

バイオガス化施設

水処理施設



山崎浄化センター混合消化システム事例



下水汚泥と生ごみの混合消化システムを採用する利点(市全体から見て)

- 1) 下水処理場に相当量の電気を供給できる。(CO₂の削減が可能となる)。
- 2) 生ごみメタン発酵施設を別途整備した時と比較して、発酵液の水処理施設が省略できる。
- 3) 生ごみメタン発酵施設を別途整備した時と比較して、設備は施設の集約化による省人化が図れる。
- 4) 下水汚泥が緩衝物質を含んでいるため、有害となる有機酸蓄積を緩和するので消化反応が安定する。
- 5) 他市に依存しない独自の環境保全施設を備えることができる。

7. おわりに

メタン発酵によるバイオマスからのエネルギー回収は、今日、世界的な動向であります。

わが国には、メタン発酵の原料となる豊富な量の廃棄物バイオマスが、各地において常時排出されております。これらをメタン発酵することにより、石油資源エネルギーの代替エネルギーを確実に供給することができます。消化液は安心安全な液肥として、化学肥料に代替することができます。

今後、メタン発酵施設が全国にあまねく普及することによって、**循環型社会の形成並びに地球温暖化防止**は確実に進展するに違いありません。

御清聴感謝申し上げます