

新エネ地域再生研究会

バイオマスのメタン発酵による
エネルギー拠点の形成

2012年 7月30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

講演内容

1. 震災復興および低炭素社会の形成に向けての
バイオマスエネルギーへの期待
2. バイオマスのメタン発酵によるエネルギー生産
3. 日本におけるメタン発酵の最近の動向
4. 高効率メタン発酵の技術開発
5. バイオマス事業化戦略(案)
6. メタン発酵施設を地域のエネルギー拠点に

1. 震災復興および低炭素社会の形成 に向けての バイオマスエネルギーへの期待

問題の所在

(1) 再生可能エネルギー生産の必然性

被災地域の復興、原発事故による電力不足、低炭素社会の形成、やがて到来する化石資源エネルギーの枯渇に対して、今こそ、これまで焼却処分されてきた生ごみ・下水汚泥および直接堆肥化されてきた家畜排せつ物、さらに放射性物質に汚染された農作物等、全てのバイオマスに対してメタン発酵を行い、バイオガスを生産し、地産地消のエネルギー拠点とするべき時に至っている。

(2) 深刻化する地球温暖化問題

地球温暖化の防止は、21世紀における世界各国共通の使命であり、私達は世界の民として、可能な限りの手段を通じて、低炭素社会の実現に向けて対処する務めに立たされている。

再生可能(新)エネルギー

水力発電

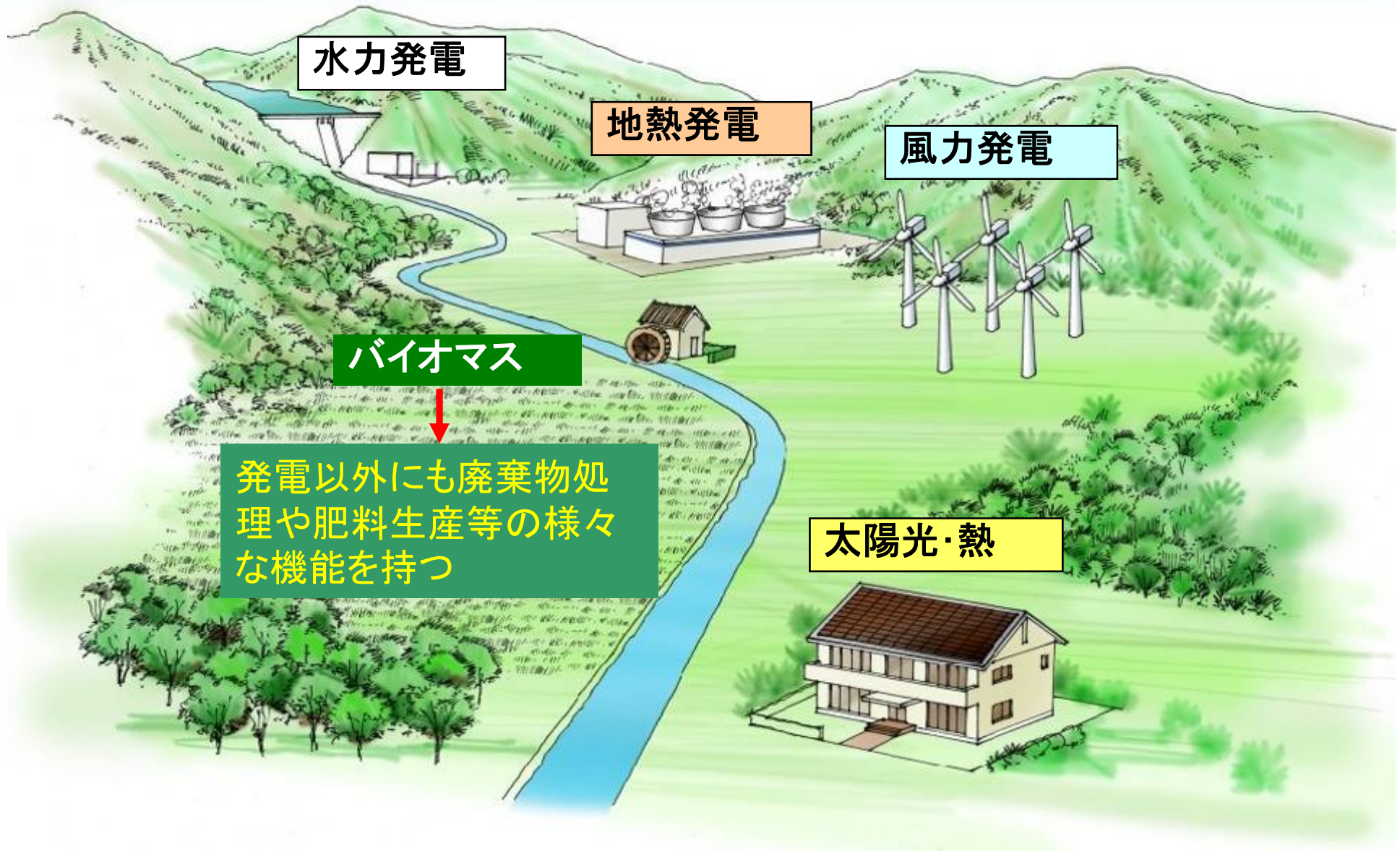
地熱発電

風力発電

バイオマス

発電以外にも廃棄物処理や肥料生産等の様々な機能を持つ

太陽光・熱



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

再生可能エネルギー特措法*1)による 再生可能エネルギー電気の買取

*1)電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法

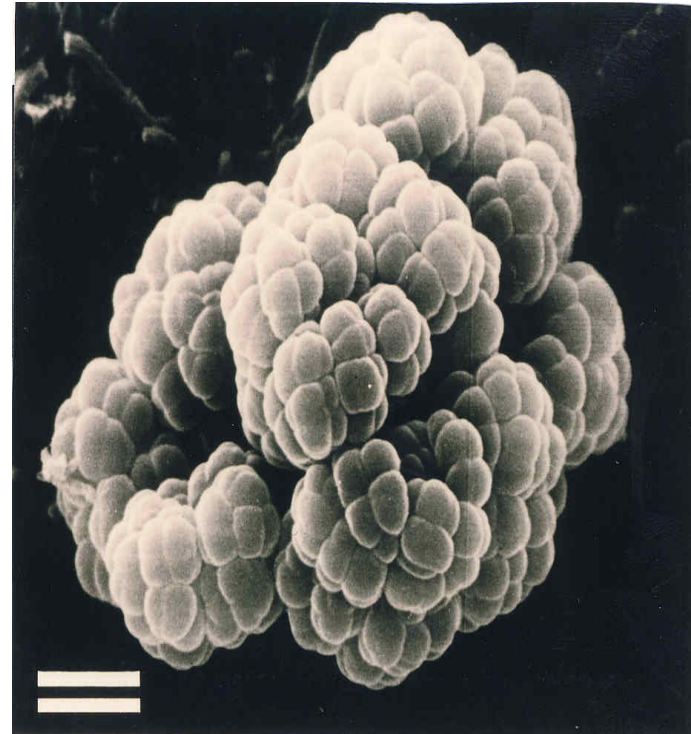
- ◆ 平成24年4月27日に再生可能エネルギー調達価格等算定委員会(第7回最終)において買取価格委員会案が決定。同日に枝野経済産業大臣に手交されパブリックコメントを経て平成24年7月に買取開始の予定。
- ◆ エネ庁試算では、バイオマス事業は50%伸びるとし、全体のサーチャージ額(家庭電力付加金)を70~100円/月(一般家庭電力料金の1~1.4%程度)と試算。
- ◆ メタン発酵の発電電力はバイオガス事業推進協議会提示の39円/kWh(税抜き)で買い取られることとなり、新聞紙上でも大きく報道されているとおり、バイオガスも含め再生可能エネルギー普及の大きなインセンティブになると思われる。

2. バイオマスのメタン発酵による エネルギー生産

メタン生成古細菌



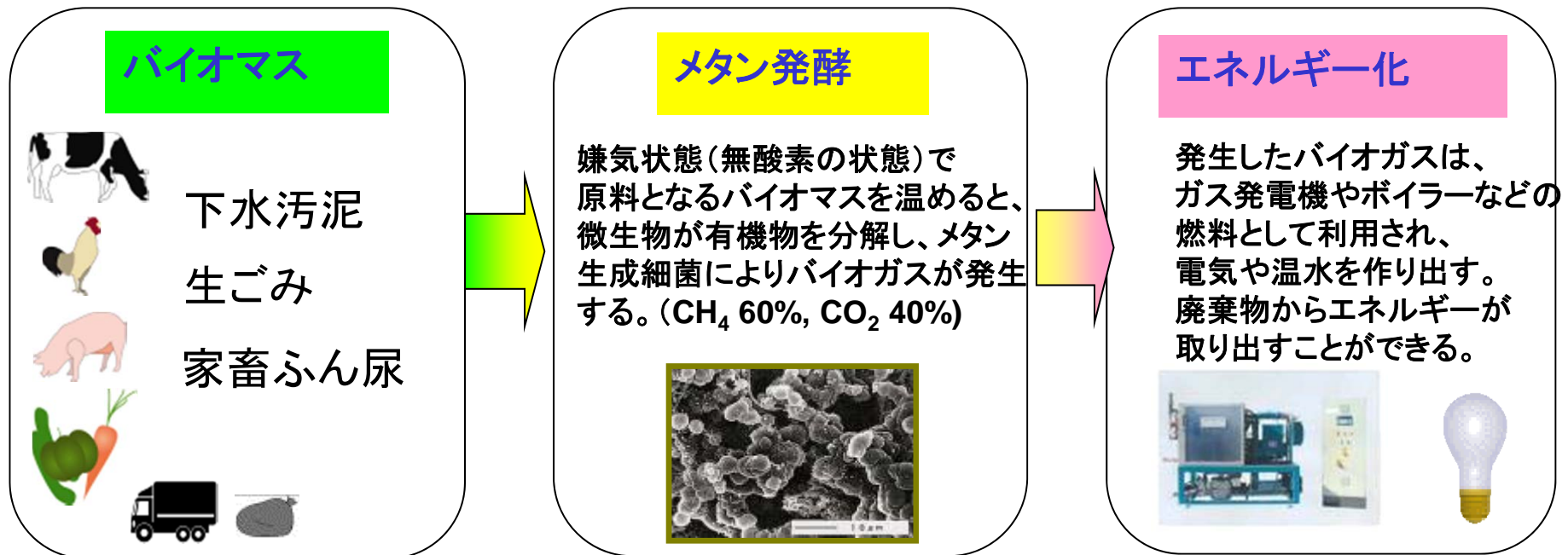
糸状性
Methanosaeta



連球状
Methanosarcina

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。



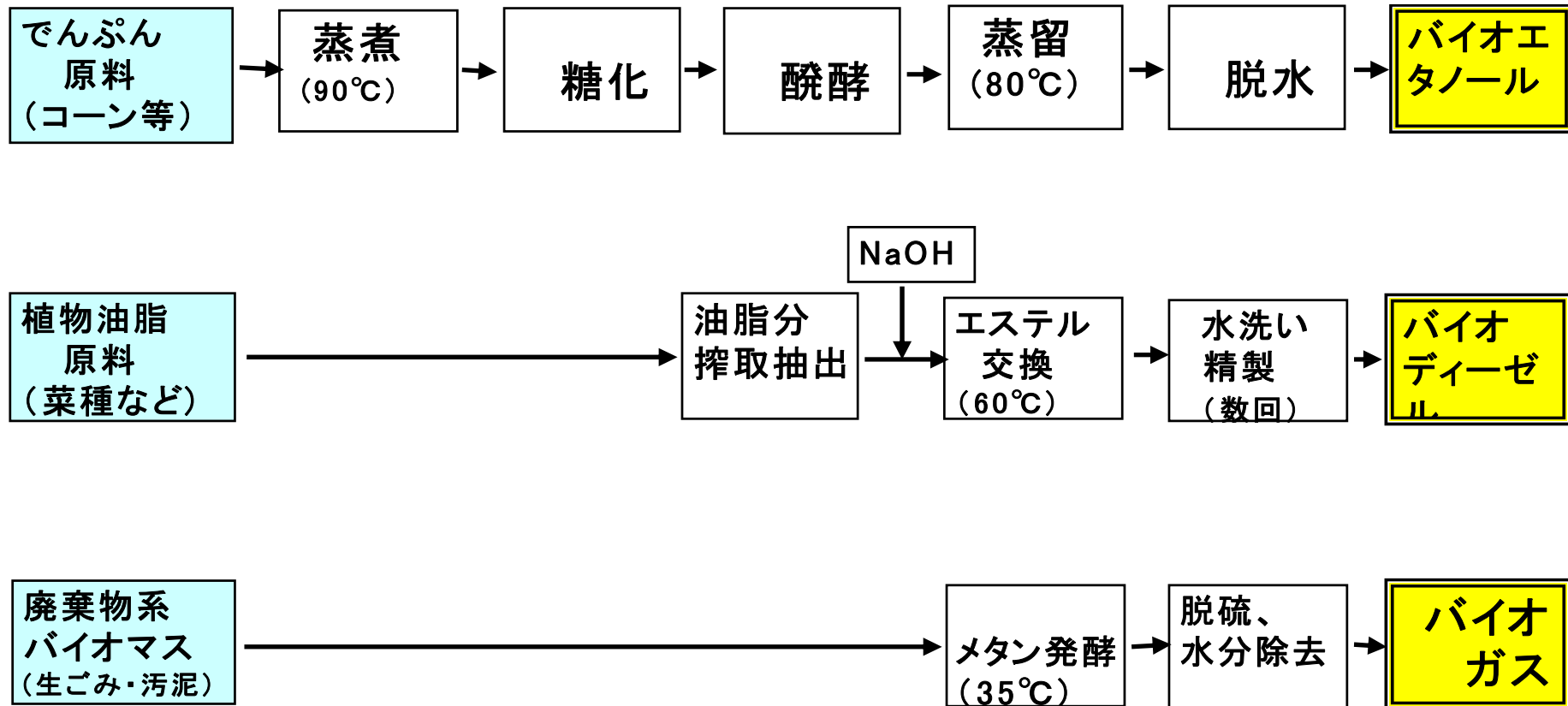
メタン発酵の効果

- (1) バイオマス燃料(エネルギー)が生産できる。
- (2) 廃棄物系バイオマスの減量効果が大い。
- (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。

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。

各種バイオ燃料の製造プロセスの比較



バイオガスは、製造に要するエネルギーが極めて少ない

バイオガスプラントの特徴

- バイオガスプラントは4機能を併せ持つとともに、太陽光、風力に比べ**エネルギー生成の安定性**が高い。

機能 \ 施設	太陽光	風力	バイオガス	堆肥
廃棄物処理	×	×	○	○
エネルギー生成	○	○	○	×
CO2削減	○	○	○	×
有機肥料製造	×	×	○	○

廃棄物系バイオマスの年間発生量と利活用状況 (2010)

対象バイオマス	年間発生量	利活用の状況
下水汚泥 (濃縮汚泥ベース)	約7,800万トン	建設資材・たい肥利用 約64% 埋め立て 約36%
食品廃棄物	約1,900万トン	肥飼料利用20%未満、 残り80%が焼却・埋立て処理
家畜排せつ物	約8,800万トン	たい肥利用 約90%
家庭生ごみ:	約1,100万トン	一般廃棄物として全量焼却

廃棄物系バイオマスからのエネルギー生産は進んでいない

(2) バイオマスのメタン発酵によるエネルギー生産 ポテンシャル (年間換算量)

- ・下水汚泥 = 6.55億m³メタン = 原油換算65.5万kL
- ・食品廃棄物 = 14.82億m³メタン = 原油換算148.2万kL
- ・畜産廃棄物 = 15.84億m³メタン = 原油換算158.4万kL
- ・家庭生ごみ = 8.6億m³メタン = 原油換算86万kL

合計 458.1万kLの回収ポテンシャル
(2007年原油輸入量の**1.9%**)

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%)

458.1万kLの原油は**188億5,185万kwhの電力に相当**
(**471万3000世帯**への電力供給能力(0.4kw/世帯))

出力100万kw原子力発電所発電量との比較

廃棄物系バイオマスのメタン発酵による発電量

出力: 215万kwに相当

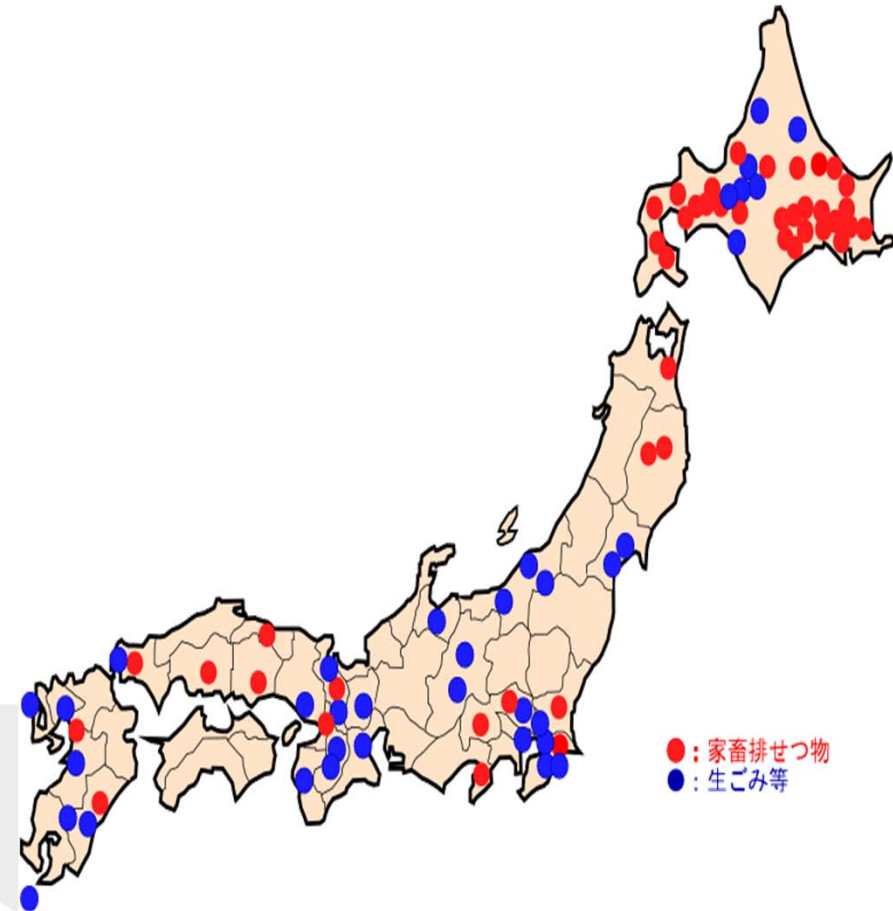
$$215\text{万kw} / 100\text{万kw} = 2.15$$

100万kw規模の原発**2.15基**分に相当

3. 日本におけるメタン発酵の 最近の動向

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6,000



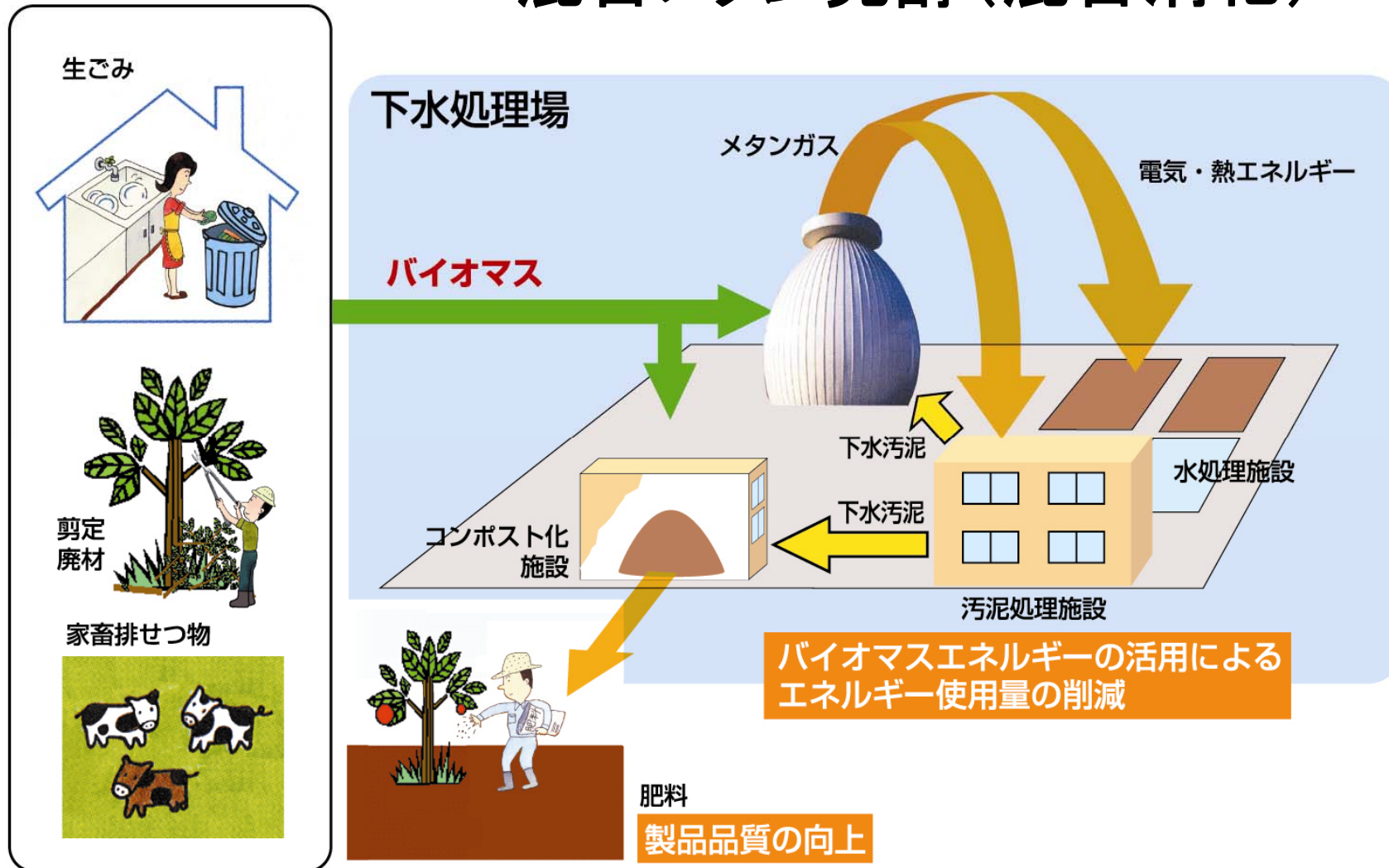
中国における家庭燃料用メタン発酵施設数
4,300万基

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) 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)



混合消化を行うメリット

下水汚泥

難分解性バイオマス

○ 均質で一定量発生

▲ 有機物含有率が低く非効率

▲ 有機物分解率が低く非効率

○ アルカリ度高く発酵安定

○ 水処理施設が併設

生ごみ等

易分解性バイオマス

▲ 質や量にばらつき大

○ エネルギー価値高い

○ 有機物分解率高い

▲ 有機酸の蓄積が生じやすい

▲ 発酵液処理にコスト大

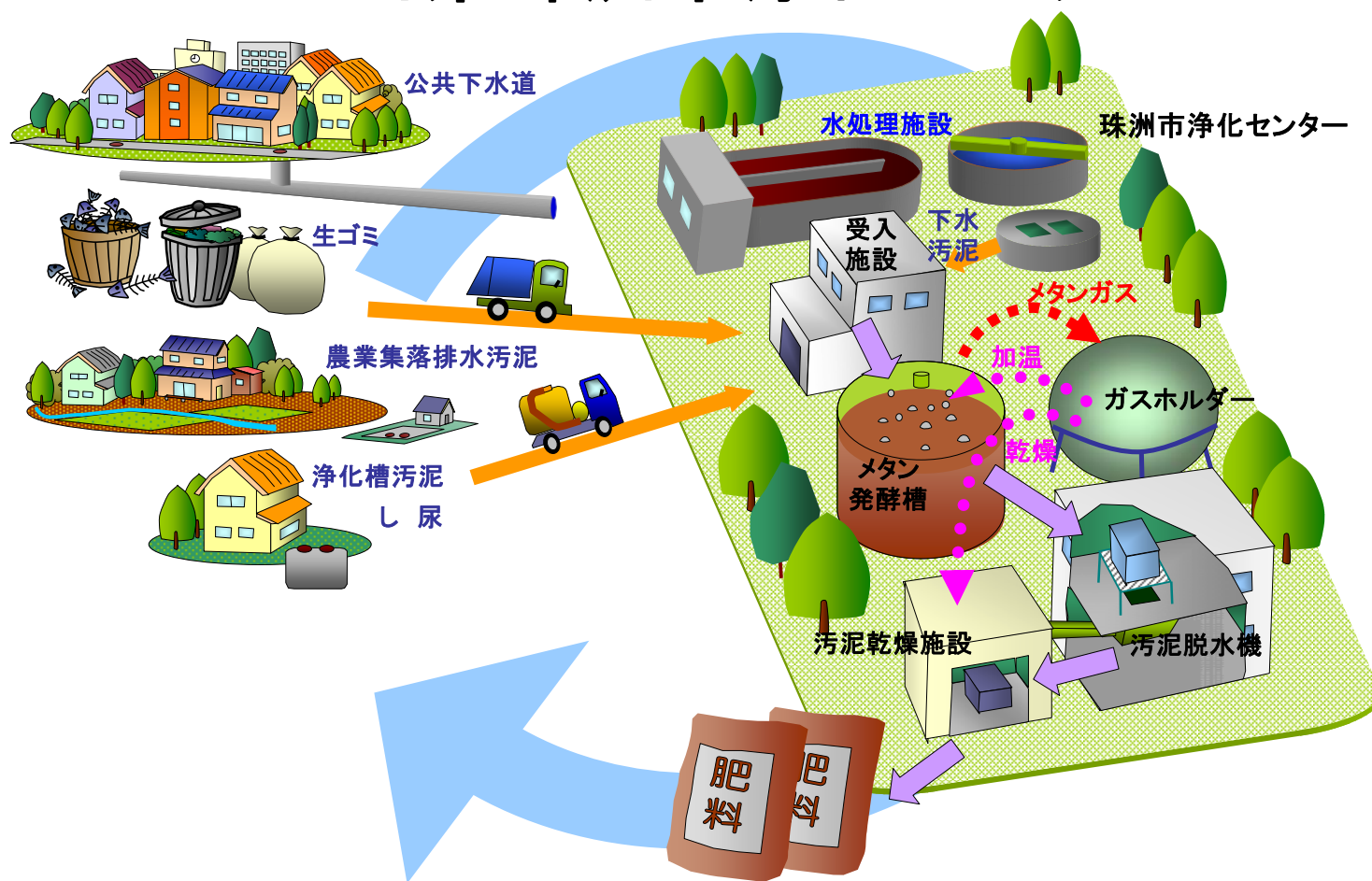
混合消化 で互いの長所、短所を補う

下水汚泥に対し、生ごみ10～15%程度混合することにより発生バイオガス量は2倍程度となる。

～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 —

石川県珠洲市浄化センター



(2) 山形市浄化センター 汚泥消化槽



消化ガス発電による山形市浄化センター の電力自給率

(流入下水量: 41,201.9 m³/日)

消化ガス発生量	4,823 m ³ /日
消費電力量	13,707 kWh/日
ガス発電電力量 (ガス発電・燃料電池)	8,441 kWh/日
電力自給率	<u>61.6 %</u> (通常30%)

(H23年5月)

(3) 熊本北部流域下水道 熊本北部浄化センター

(平成19年度 発電実績)

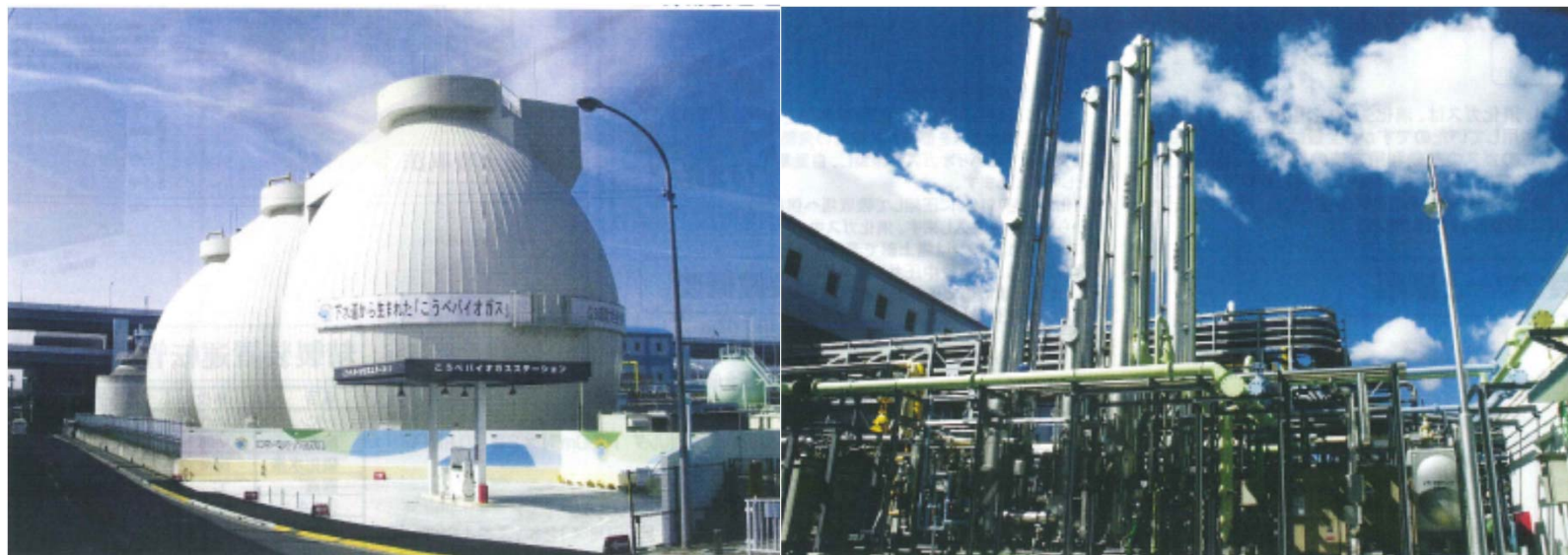
- 処理水量(日平均) 51,623m³/日
- 消化ガス発生量 約171万Nm³/年
 - 燃料電池使用 約138万Nm³/年
 - 消化タンク加温 約 29万Nm³/年
 - 余剰ガス燃焼 約 4万Nm³/年
- 発電施設年間稼働時間 8,448時間/年 = 約352日/年
- 年間発電量 約277万kWh
- 年間処理場使用電力総量 約603万kWh

処理場で使う電力の46%を自給



発電機型式	リン酸型燃料電池
定格出力	400kW (100kW × 4台)
定格電圧	200V
ガス消費量	180Nm ³ /h (45Nm ³ /h × 4台)

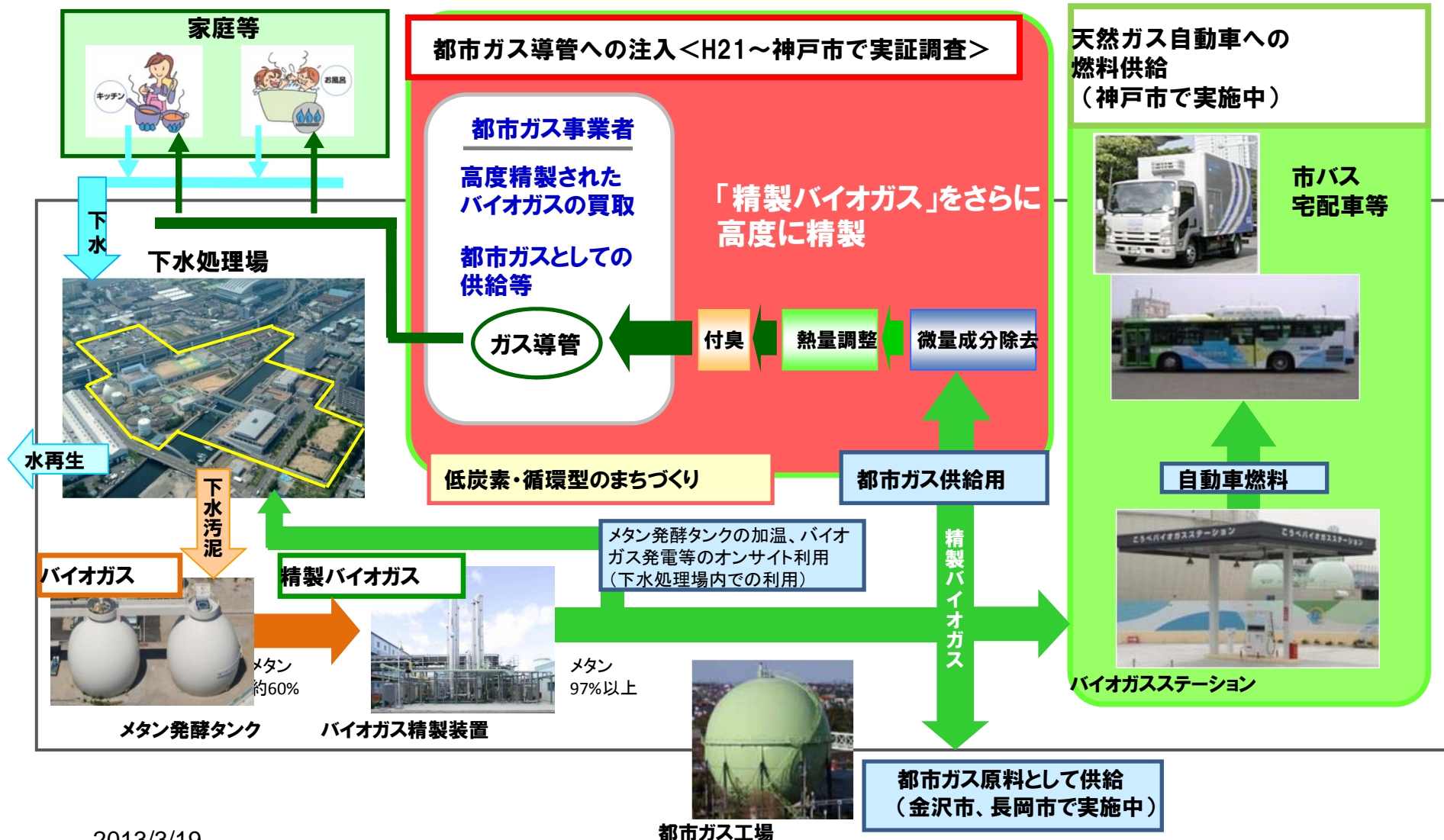
(4) 神戸市東灘下水処理場



- 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)
 - ・国交省B-DASH プロジェクト(**KOBEグリーン・スイーツプロジェクト**)の開始

下水道バイオガスの利用

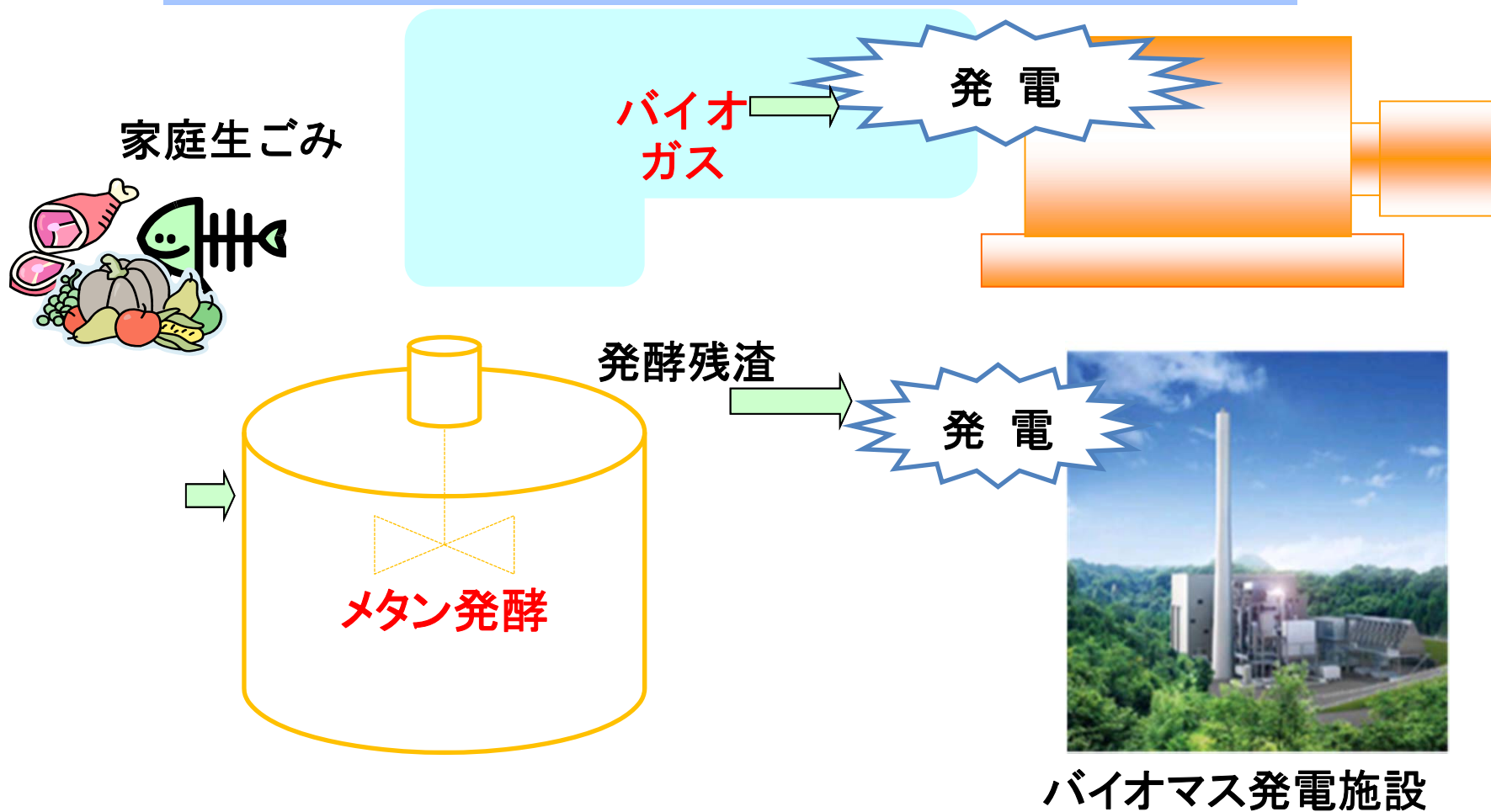
エネルギー供給構造高度化法等を受けて、下水道バイオガスの更なる利活用に向けた取組が加速
 →都市ガス導管注入実証調査(神戸市)



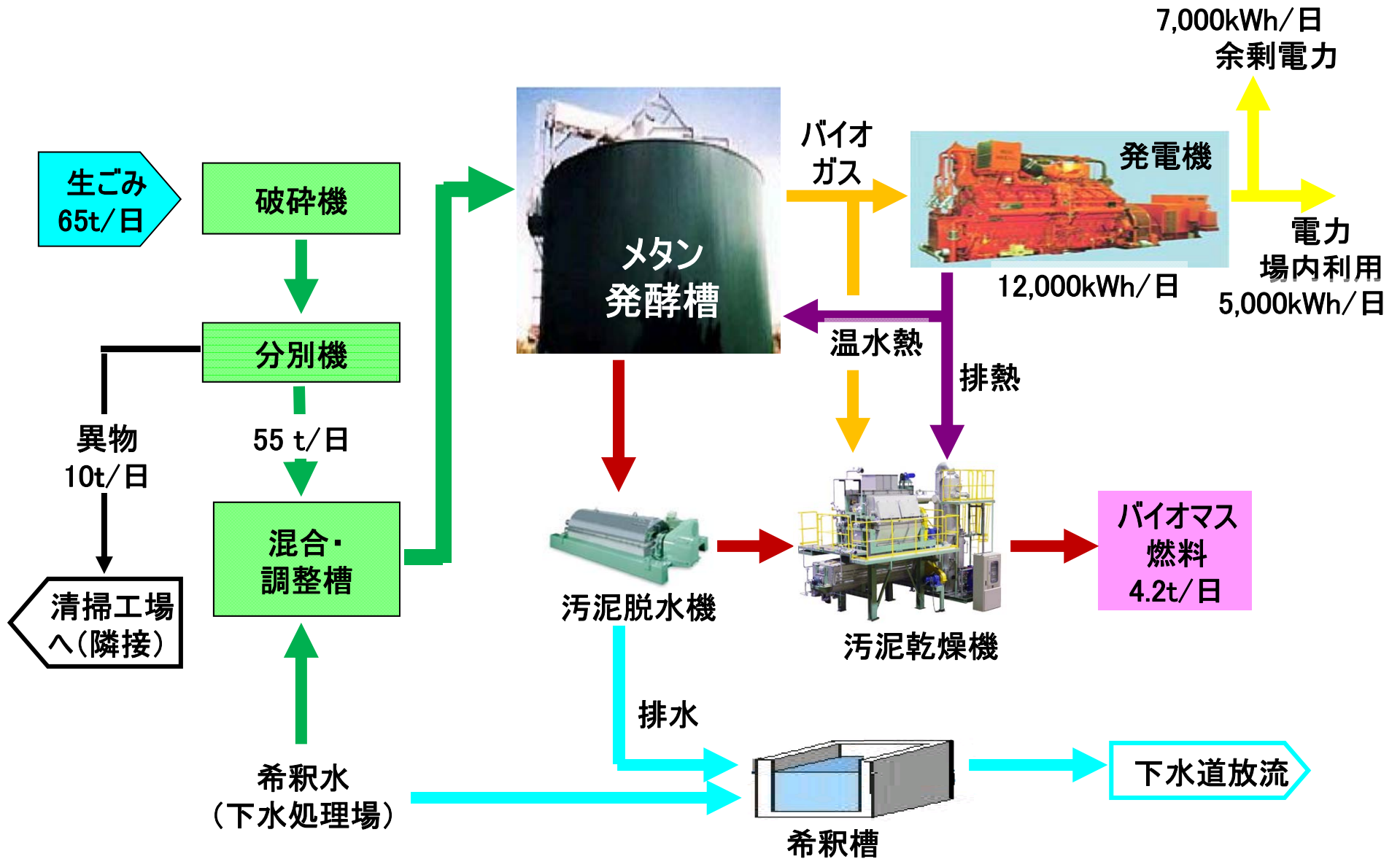
長岡市

(5)究極の生ごみ保有エネルギーの回収

生ごみ保有エネルギーの電力化



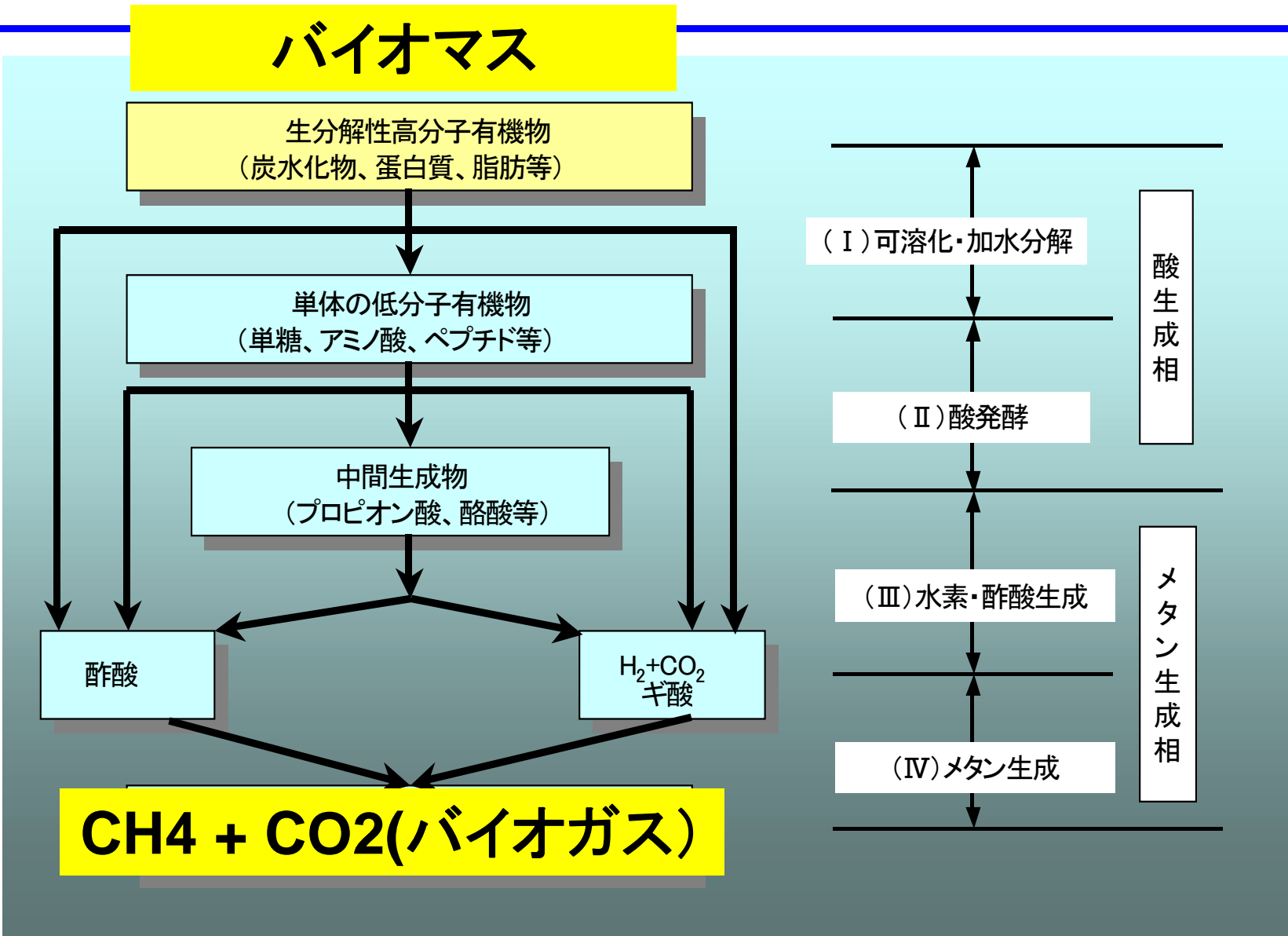
長岡市生ごみバイオガス化事業 主要設備フロー



4. 高効率メタン発酵の技術開発

メタン発酵における有機物の分解過程

バイオマス



(1) メタン発酵の律速段階

制限基質濃度(S)と基質消費速度(v)の関係

$$v = \frac{v_{\max} \cdot S}{K_{Sv} + S}$$

v_{\max} : 最大比基質消費速度
 K_{Sv} : 基質飽和定数

動力学定数

[1/日]

基質	グルコース	でんぷん	セルロース	酢酸
v_{\max}	66.2	37.5	1.11	10.5

v_{\max} の大きさの順: グルコース > でんぷん > 酢酸 > セルロース

セルロースの加水分解段階: **メタン発酵の律速段階**

(2) オゾン処理を用いた高効率嫌気性消化システム

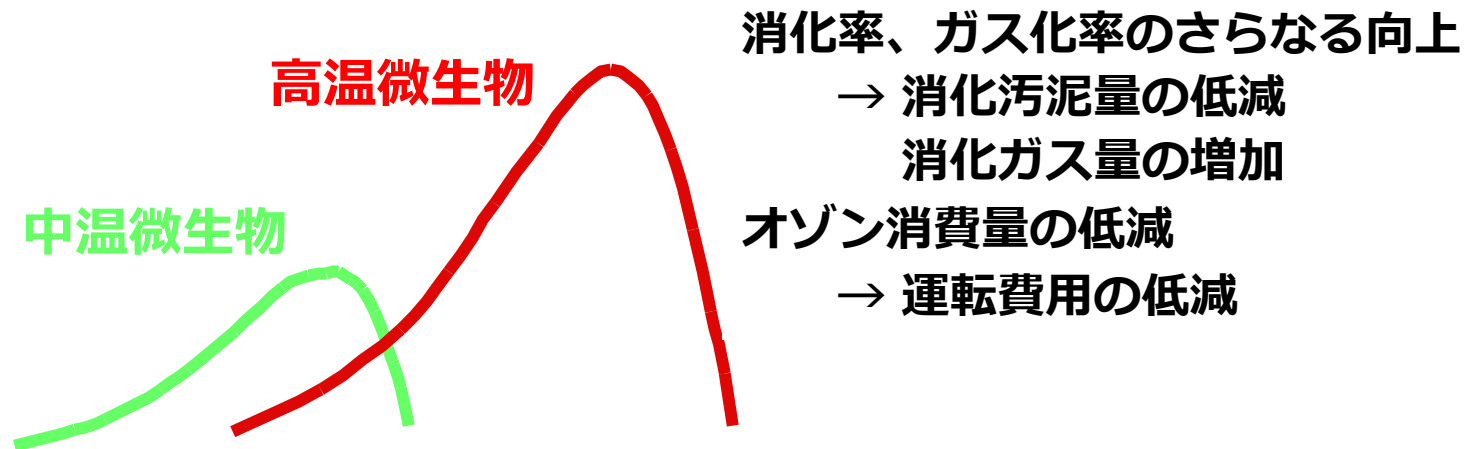
高効率嫌気性消化システムの
エネルギー生産システムとしてのさらなる経済性の向上

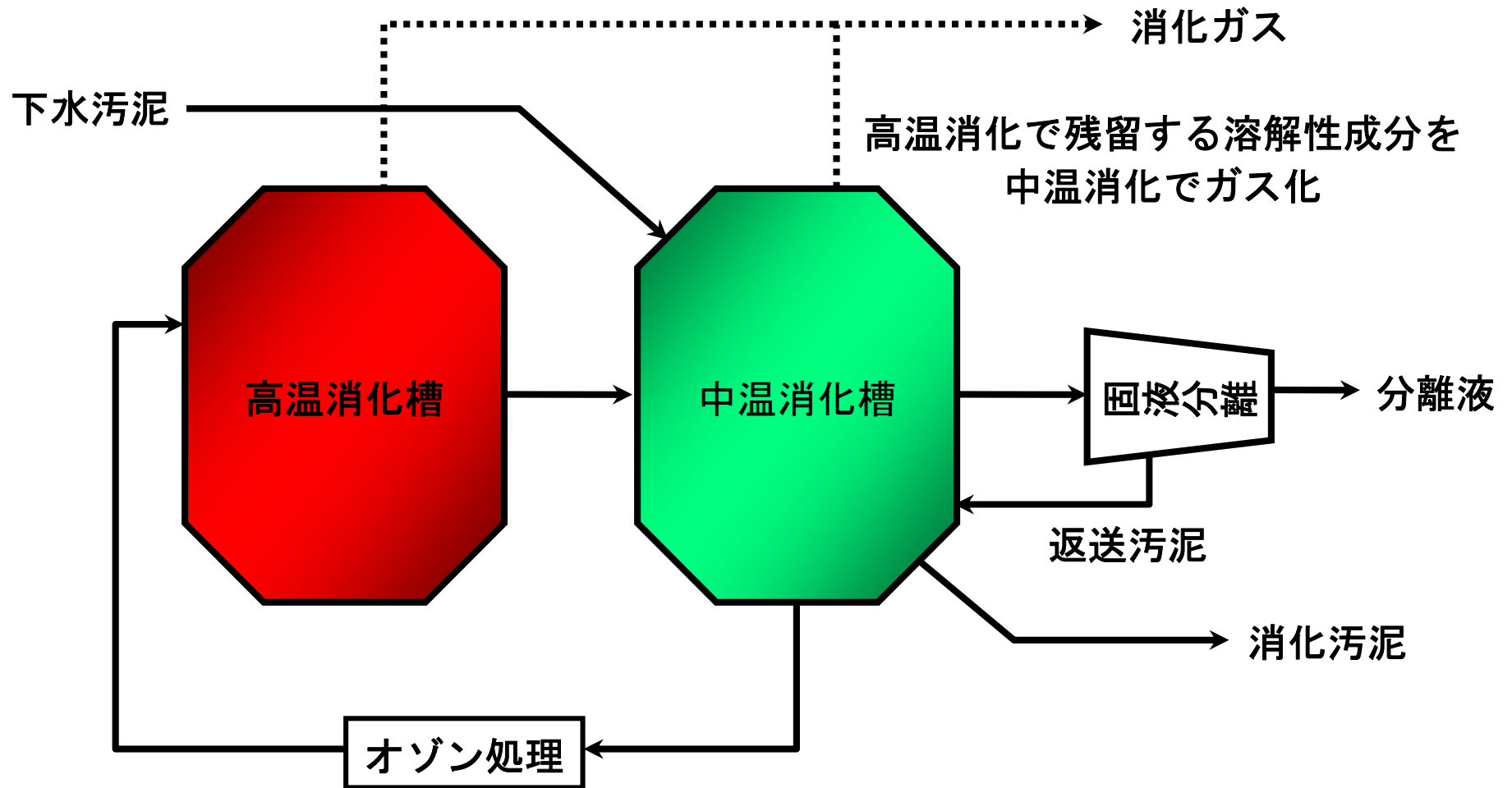


遅分解性のオゾン処理汚泥の分解が律速



微生物活性の高い高温消化反応を利用

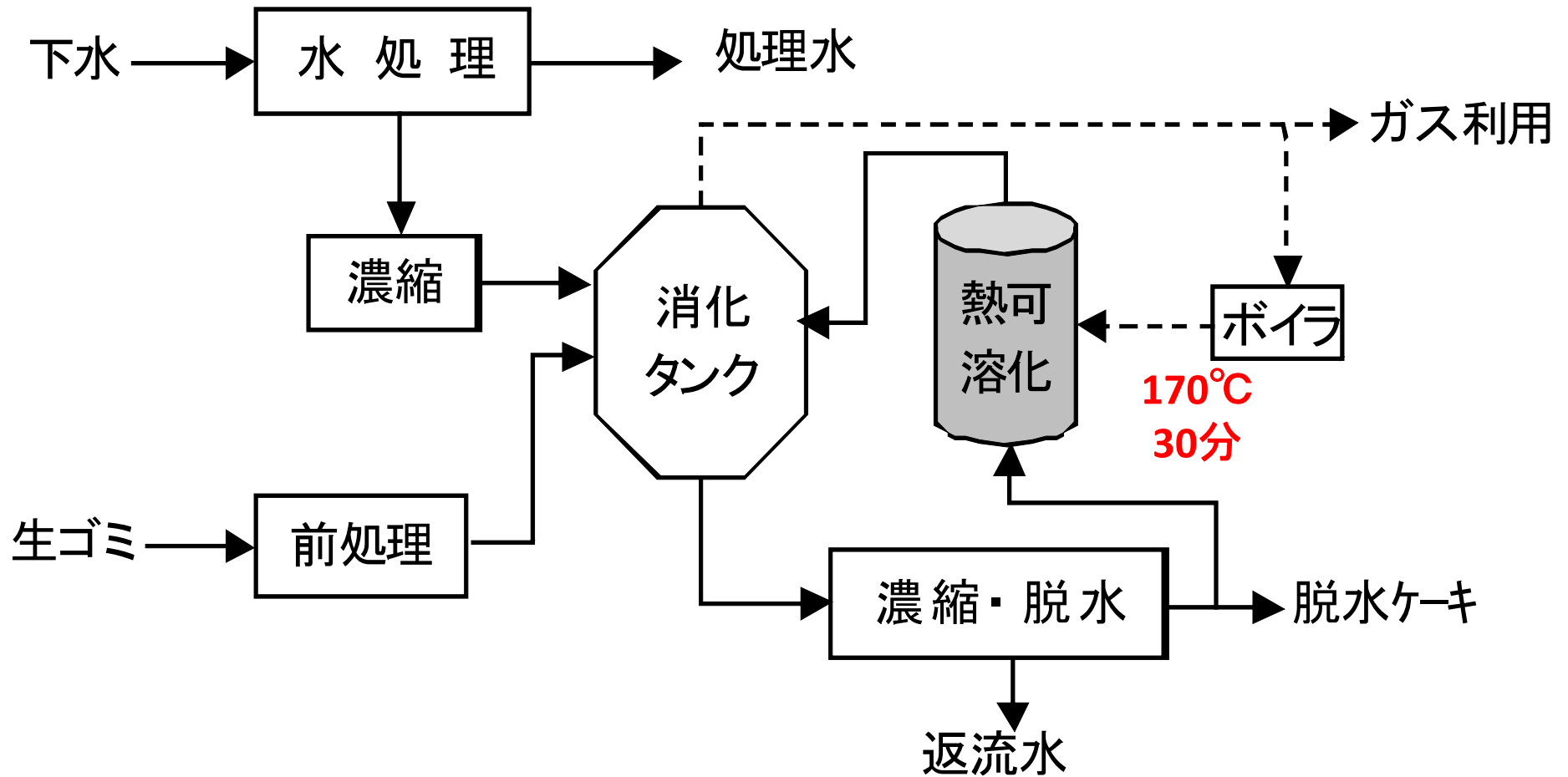




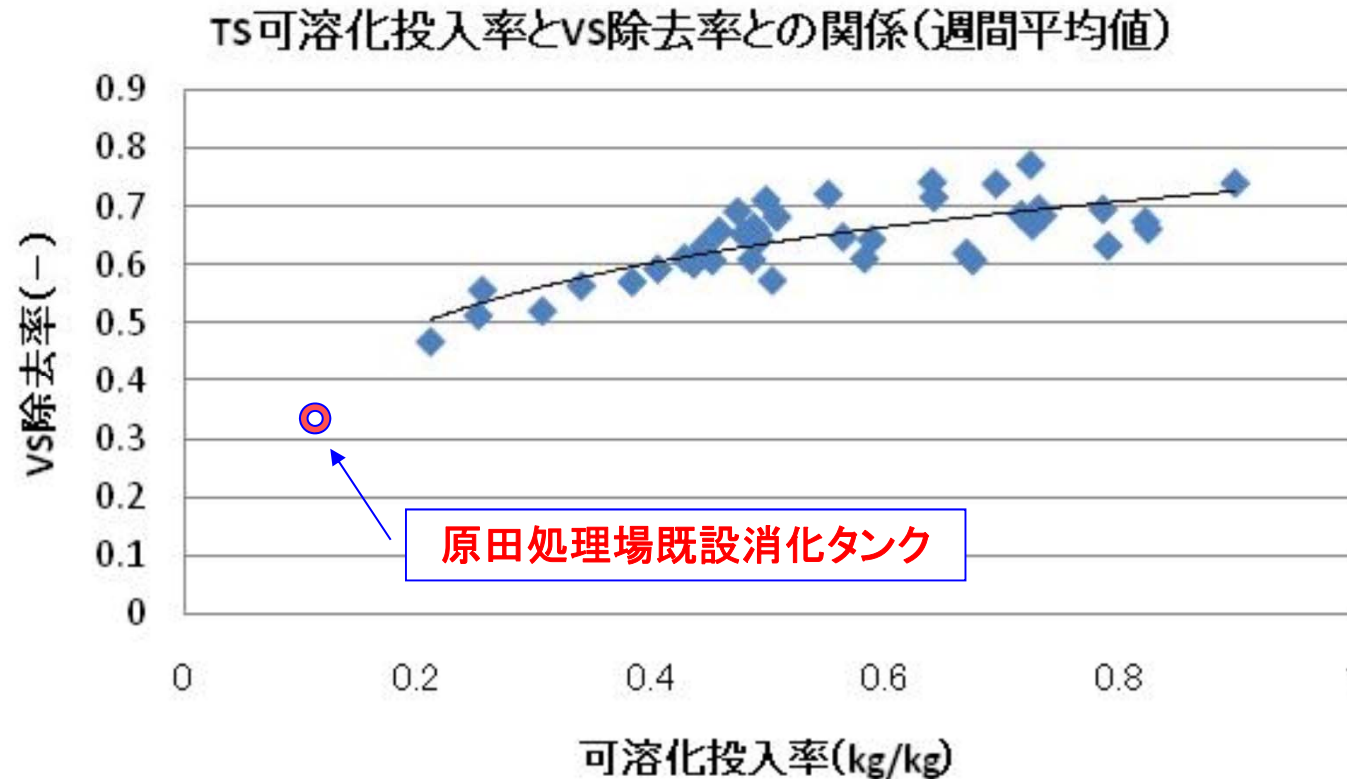
遅分解性のオゾン処理汚泥VSS成分を
高温消化で速やかに分解

有機物分解率75-80%

(3) 熱可溶化高効率嫌気性消化システム 基本処理フロー

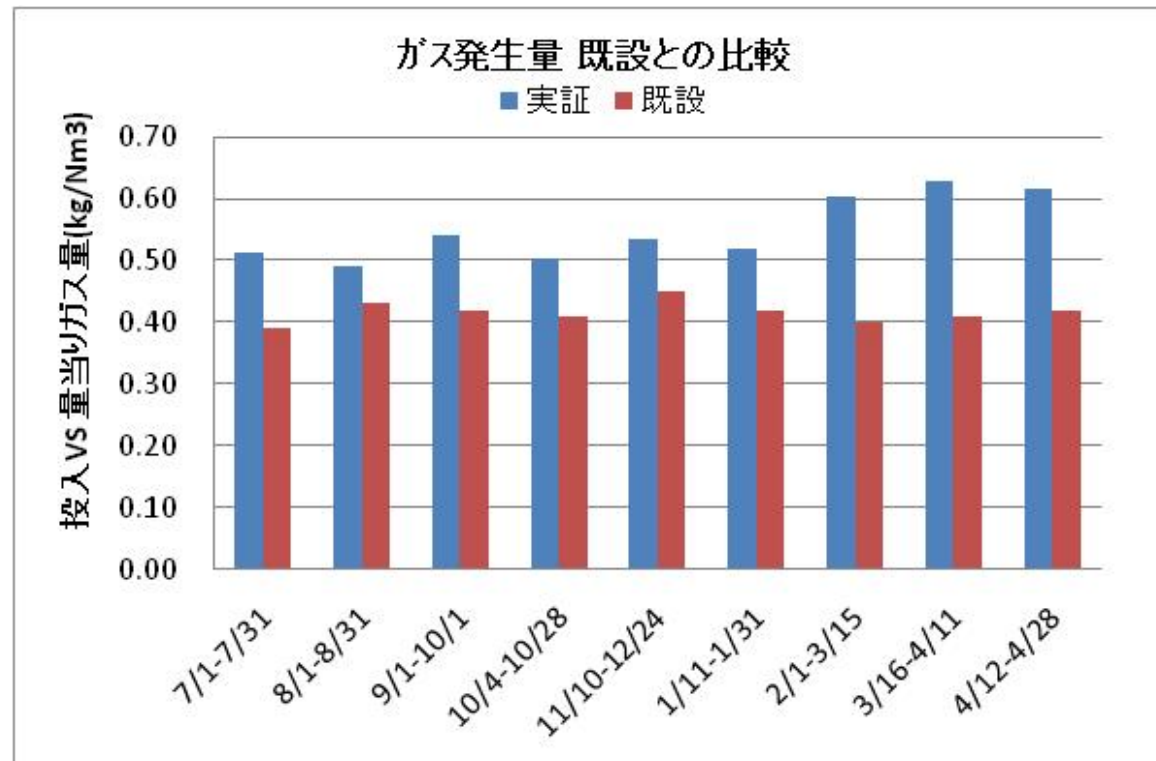


熱可溶化汚泥投入率とVS除去率(有機分分解率)



- ・汚泥分解率は熱可溶化汚泥投入率に応じて高くなる
- ・可溶化汚泥投入率0.7のときで有機分VSは約70%(既設は47%)

投入vs当りガス発生量



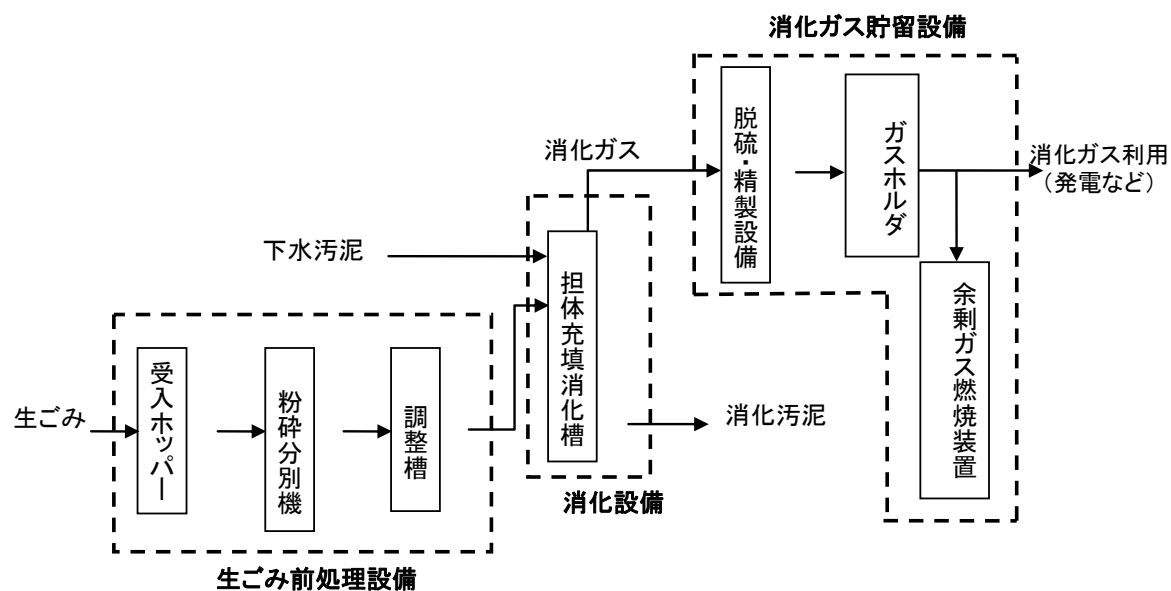
- ・ガス発生量は既設処理場消化タンクに比べ
20～40%大きい

(4) 担体充填型高速メタン発酵技術

技術概要

- 嫌気性消化プロセスにおける汚泥減量、エネルギー回収を主目的。
- 下水汚泥及び生ごみを、不織布担体を充填して菌体濃度を高めた高速メタン発酵槽（高温55℃）に投入し、短期間の滞留日数（5～10日）で消化ガスを得るシステム。
- 汚泥、生ごみ（学校給食残渣）を投入基質として、メタウォーター(株)との共同研究により熊本県八代北部浄化センターにて実証実験を実施。

基本システムフロー



担体充填式消化タンク

(実証実験装置消化タンク)

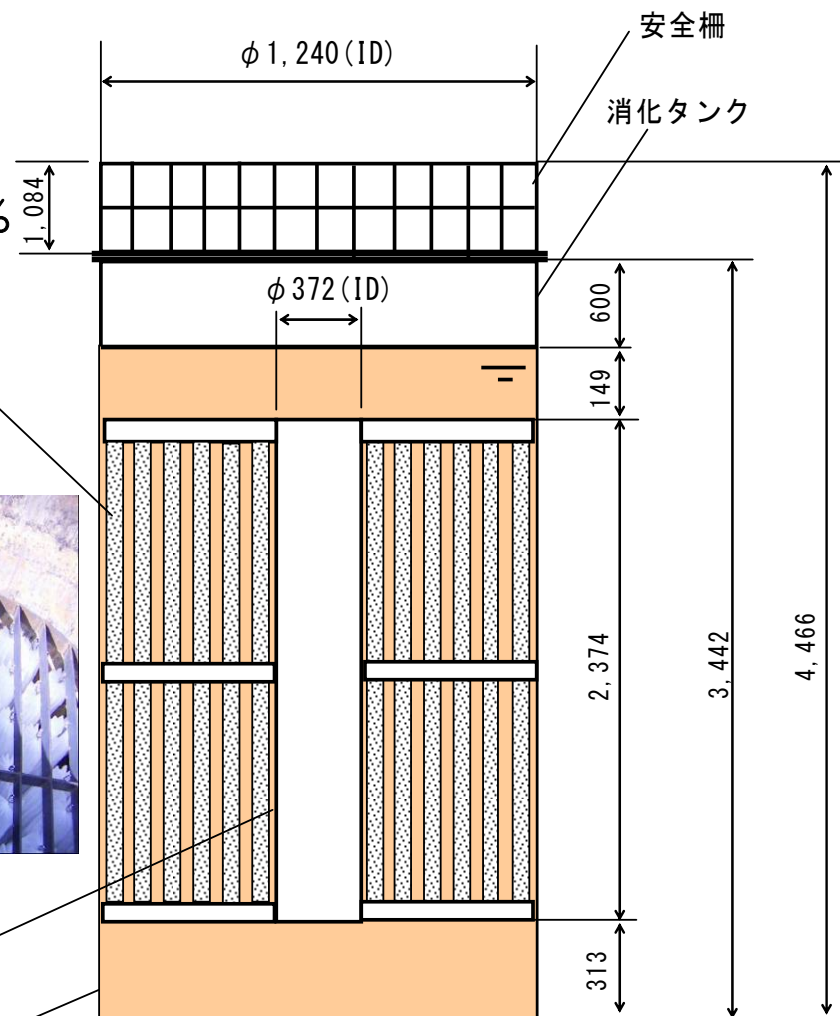
- 有効容積：3.4m³ (実容積：4.1m³)
 - 消化タンク内径：1.2m
 - 消化タンク高さ：4.5m (外形)
- 担体充填率※：当初 26% → 改良後 15%



担体
 $\phi 100 \times 1,000 \times 72$ 本
 (2段組)
 充填率：15%

ドラフトチューブ

消化タンク
 SS400



※担体充填率%
 = 担体体積 / 消化タンク有効容積 × 100
 (担体体積は、不織布シートを板と見なし
 て体積を算出)

担体充填型高速メタン発酵技術実証実験結果（一例）

	生ごみ 混合比率	HRT (日)	VS分解率※ (%)	ガス発生量 (Nm ³ /t-VS)		メタン濃度 (%)
				投入VS当り	分解VS当り	
初沈汚泥	—	5	57	500	880	62
混合汚泥	—	10	55	540	980	62
初沈汚泥 +生ごみ	1 : 1	5	68	620	910	61
	1 : 1.5	5	71	650	920	63
混合汚泥 +生ごみ	1 : 0.6	5	60	590	980	61
	1 : 0.9	5	61	610	1,000	60

(参考) 下水道施設設計指針

消化日数 (d)	VS分解率 (%)	投入VS当たりガス発生量 (Nm ³ /t-VS)
20~30 (中温消化の場合)	50	500~600

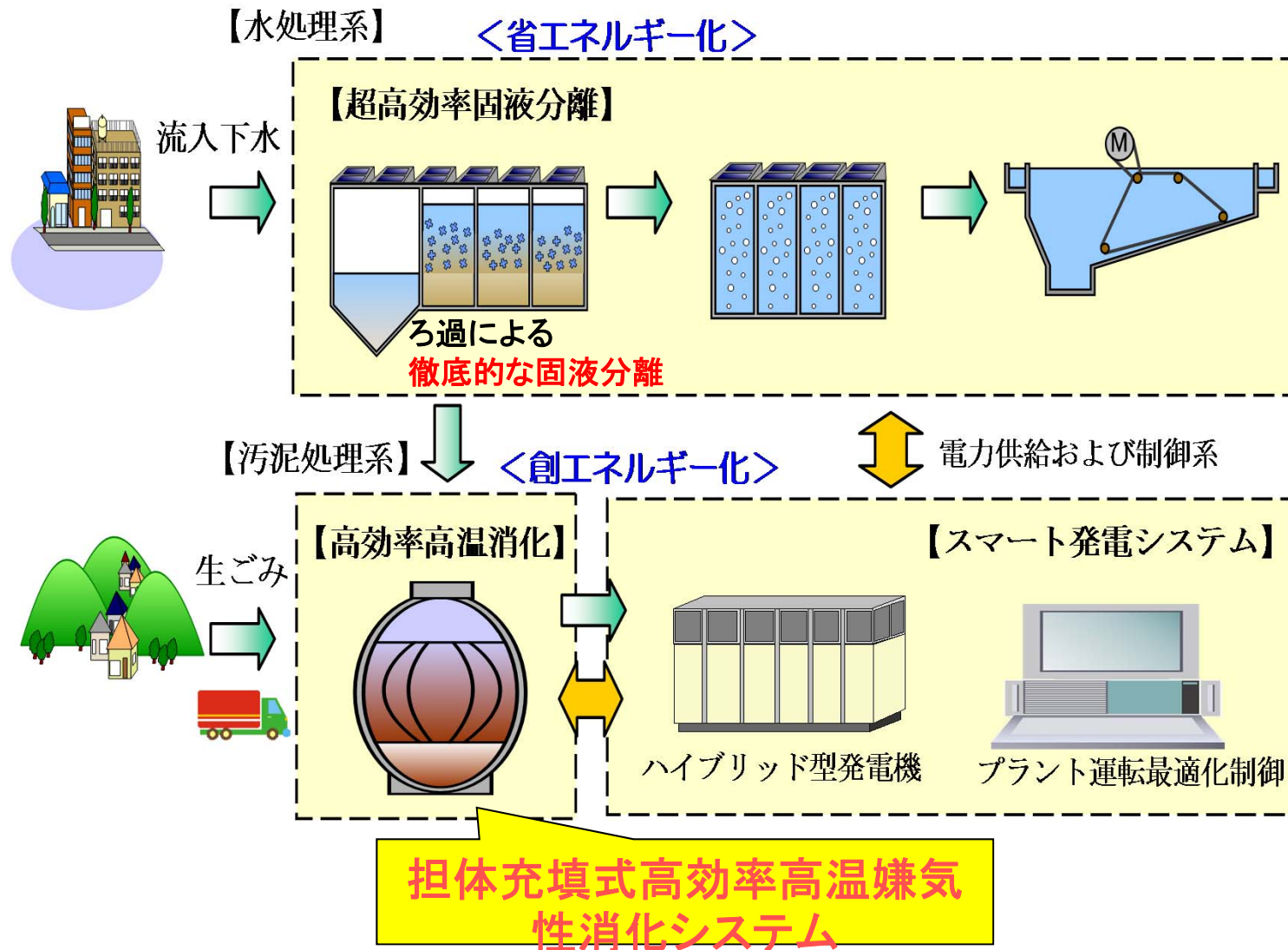
(5) 国土交通省下水道革新的技術実証事業

B-DASH プロジェクト(2011－2013)

Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

- 下水汚泥処理における再生可能エネルギー利用及び下水処理の高効率化による**エネルギー自立型下水処理場**の構築。
- 下水汚泥のエネルギー化技術等の革新的な技術のうち、**汎用性が高く、建設コストの大幅ダウン**が期待できる技術を実規模レベルで実証し、全国展開。
- **温室効果ガスの大幅削減**、水ビジネスの国際競争力の強化。
- 2011年度は、以下の2事業を開始。
 - 1) 超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証事業（大阪市中浜下水処理場）
 - 2) 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業（神戸市東灘処理場）

1) 超高効率固液分離技術を用いたエネルギー マネジメントシステム(大阪市中浜下水処理場)



2) 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業 (神戸市東灘下水処理場)

～ 下水処理施設から
再生可能エネルギー供給拡大 ～

－ KOBE グリーン・スイーツプロジェクト －

下水道に最適なバイオマスの活用

こうべスイーツバイオ



食品系バイオマス

こうべグリーンバイオ



木質系バイオマス

受入設備

汚泥混合設備

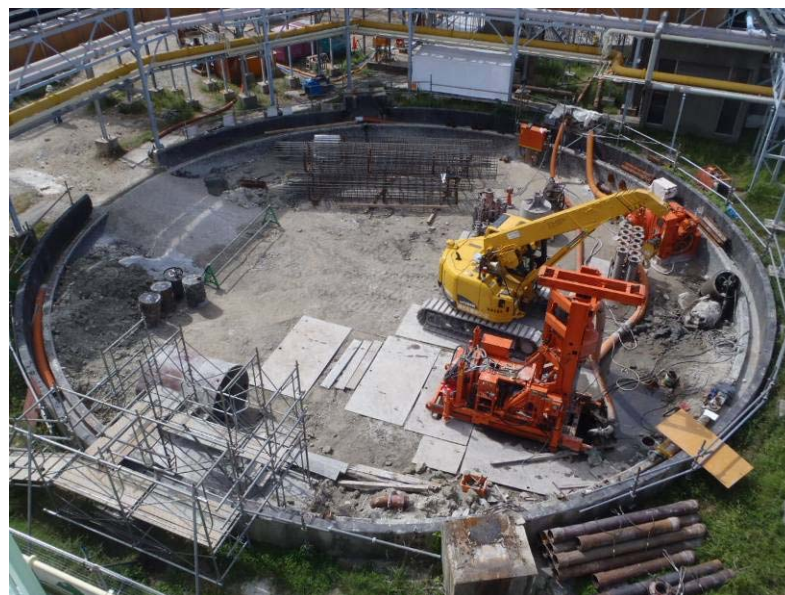
ガス回収・ガス精製・貯留設備

受入設備

汚泥混合設備

国土交通省委託研究 下水道革新的技術実証事業

鉄筋コンクリート製によらない、鋼板製によるメタン発酵槽の迅速な建設



■実証実験

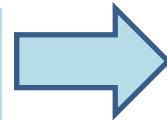
・ 2011度末～2013年度

5. バイオマス事業化戦略(案) ーバイオマス産業都市の構築ー

コンセプト:地域のバイオマス資源を活用したグリーン産業が成立し、太陽光、小水力等を組み合わせた**地域循環型エネルギーシステム**の構築が見込まれる地域 (単独または複数の市町村)

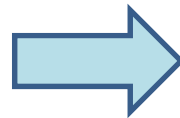
目 標 :2020年までに全国で概ね60のバイオマス産業都市を構築

バイオマス産業都市推進計画
(市町村)



バイオマス活用推進会議で選定
(関係府省の担当政務で構成)

関係府省による連携支援



計画の実行

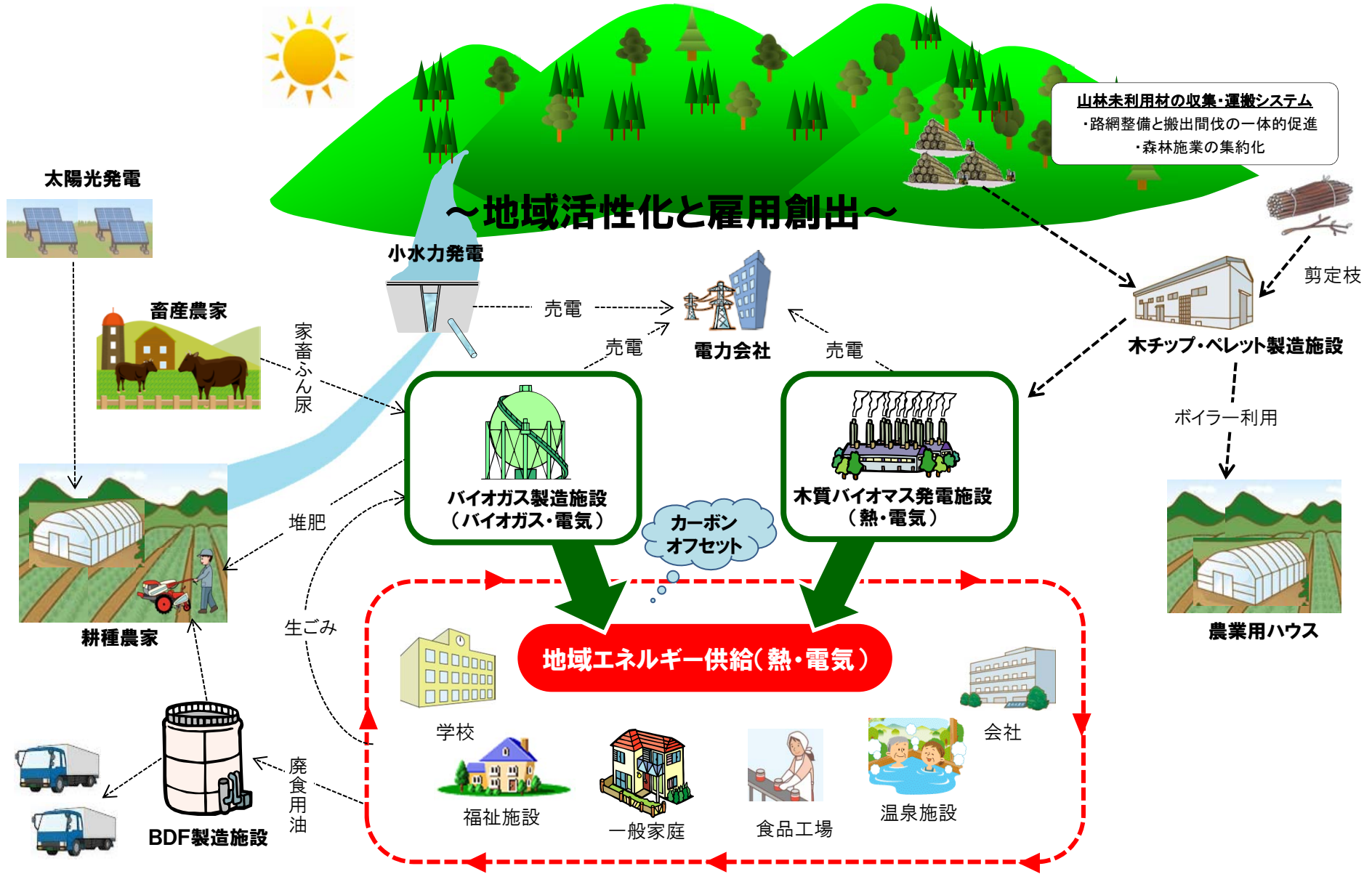
バイオマス産業
都市の実現

- 農水省
- 環境省
- 経産省
- 国交省
- 文科省
- 総務省
- 内閣府

第8回バイオマス事業化戦略検討チーム会合
2012年6月27日

バイオマス産業都市のイメージ

～バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくり～



地域のグリーン産業の創出と地域循環型エネルギーシステムの構築

6. メタン発酵施設を地域のエネルギー拠点に

- (1) 復興される被災地の新しい社会形態として、その地域のエネルギーは、バイオマスエネルギーを中心とする再生可能エネルギーによってまかない、食物・エネルギーの地産地消が行われる循環型社会を実現して行くことが、私達の責務であると思います。
- (2) 原発事故により、わが国では、再生可能エネルギーの重要性が強く認識されております。太陽光・風力発電だけでなく、むしろこれまで焼却処分されてきた生ごみ・下水汚泥および直接堆肥化されてきた家畜排せつ物等の全ての廃棄物系バイオマスに対してメタン発酵を行い、復興後の被災地域における地産地消型のエネルギー拠点とするべきであります。
- (3) さらに、メタン発酵の普及のためには、施設建設費が安価で、市町村民自身にも操作可能な、地域分散型の小規模簡易型のメタン発酵システムの普及を進めることも重要であると考えられます。

御清聴感謝申し上げます