

下水道政策研究委員会
脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会

下水処理場における資源回収による 脱炭素社会構築への貢献

大阪大学大学院 工学研究科
環境エネルギー工学専攻

池 道彦

下水処理場におけるエネルギー収 支からみた脱炭素の可能性

大阪市津守下水処理場

大阪市津守下水処理場HPより



下水処理場の持つエネルギーポテンシャル

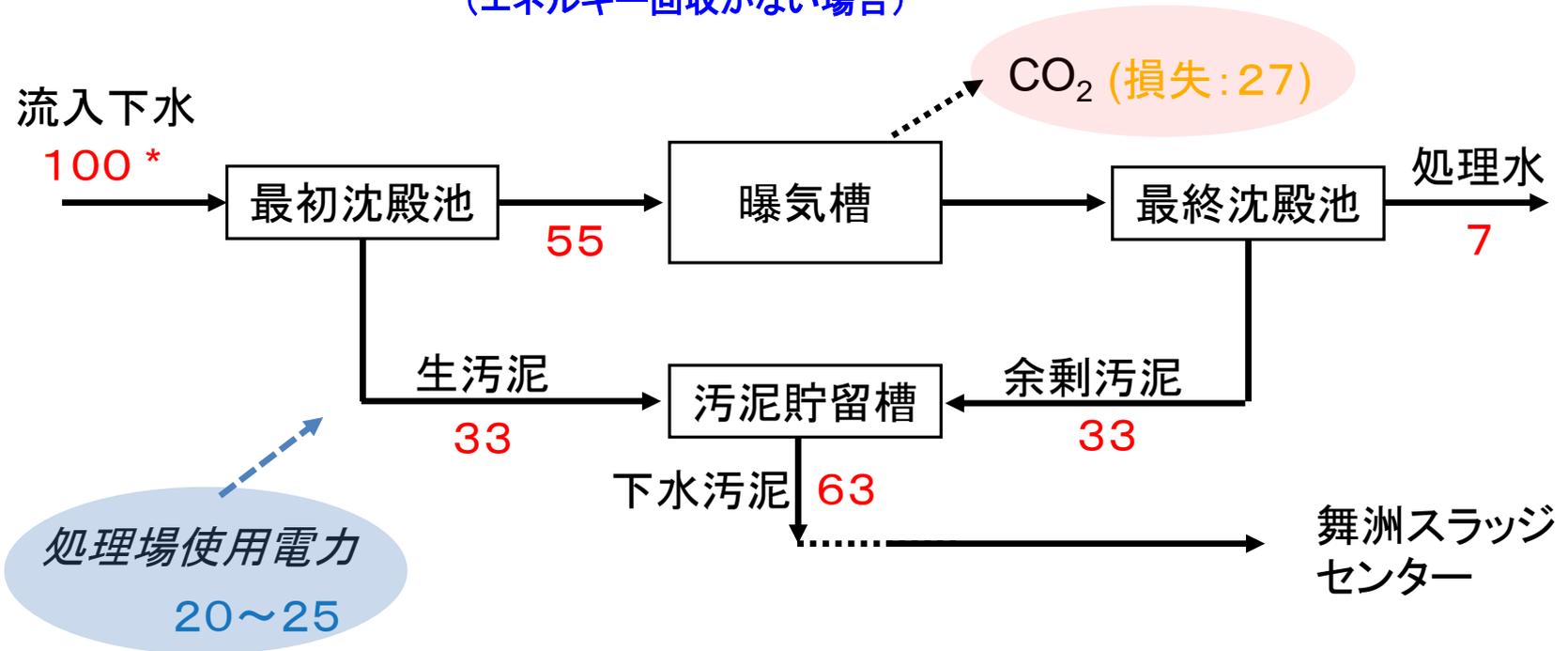
大阪市・津守下水処理場を例に

計画	処理面積	1,962 ha (合流式)		
	水処理能力	363,000 m ³ /日		
	水処理方式	嫌気好気活性汚泥法		
	汚泥処理能力	562,000 m ³ /日(下水量換算)		
		市岡・千島下水処理場の汚泥も処理		
	汚泥処理方式	濃縮→消化→舞洲へ送泥		
	濃縮方式	重力濃縮と遠心濃縮の分離濃縮		
	消化方式	高温高濃度消化		
通水年月日	昭和15年4月			
実績 H20	2次処理水量 (H20年度)m ³ /日	津守	264,000	68%
		市岡	82,000	21%
		千島	44,000	11%
		計	390,000	
	流入水質 BOD mg/L	津守	150	
		市岡	86	
		千島	79	
	流入BOD負荷量 BOD kg/日	津守	39,600	79%
		市岡	7,052	14%
		千島	3,476	7%

季節ごと(H21)に下水・汚泥等の低位発熱量を実測し
エネルギーバランスを計算

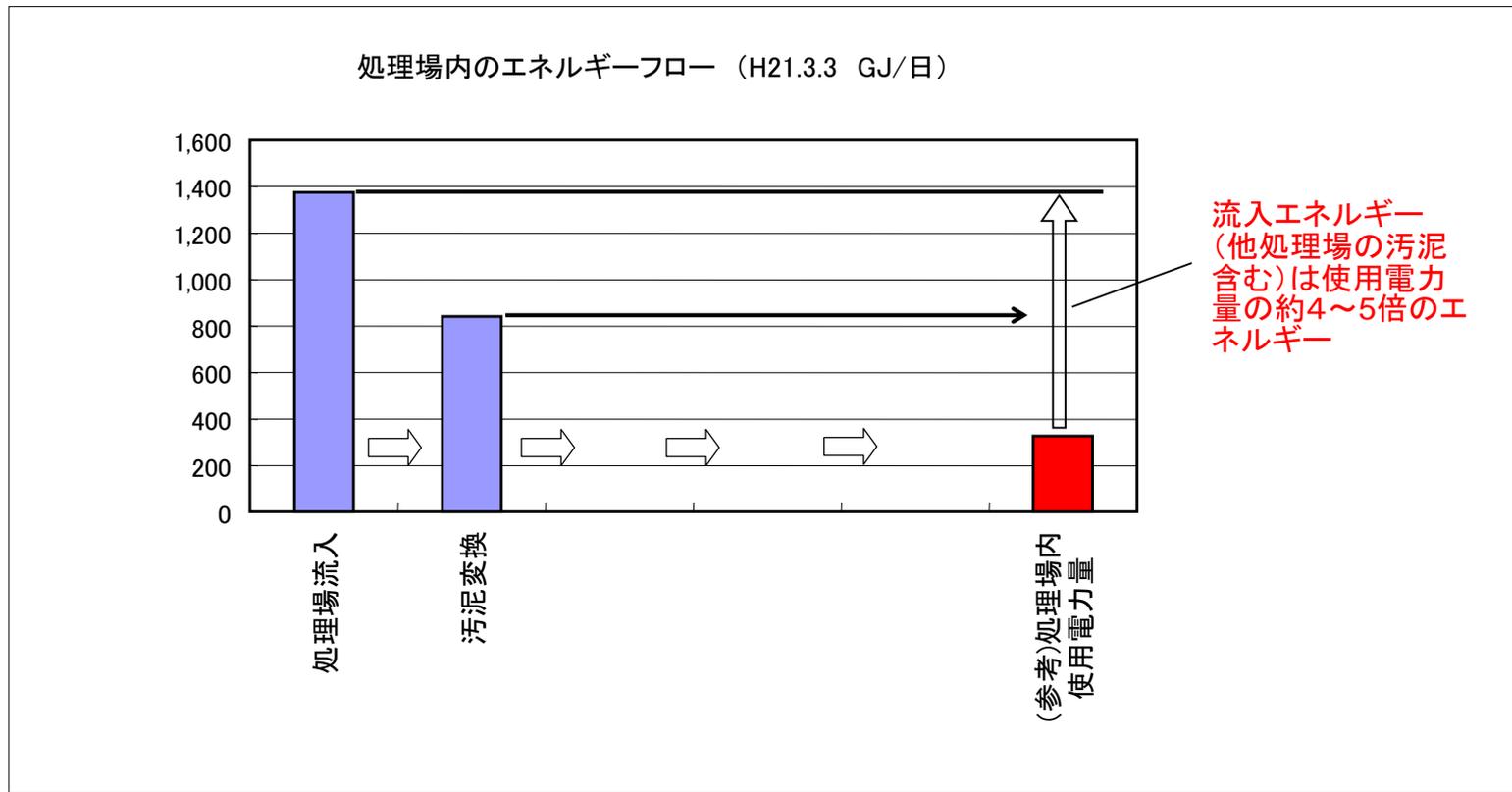
津守下水処理場のエネルギーバランス(1)

* 下水に含まれて下水処理場に流入する**化学エネルギー量** (約 9.8×10^8 kJ/d) を100 (%)として、各工程間のエネルギーの流れを相対値として表記している。
(エネルギー回収がない場合)



下水として回収された**化学エネルギー**の3分の2が**汚泥**に変換。
処理に要する電気エネルギーは下水**化学エネルギー**の4~5分の1程度。

津守下水処理場のエネルギーバランス(1)

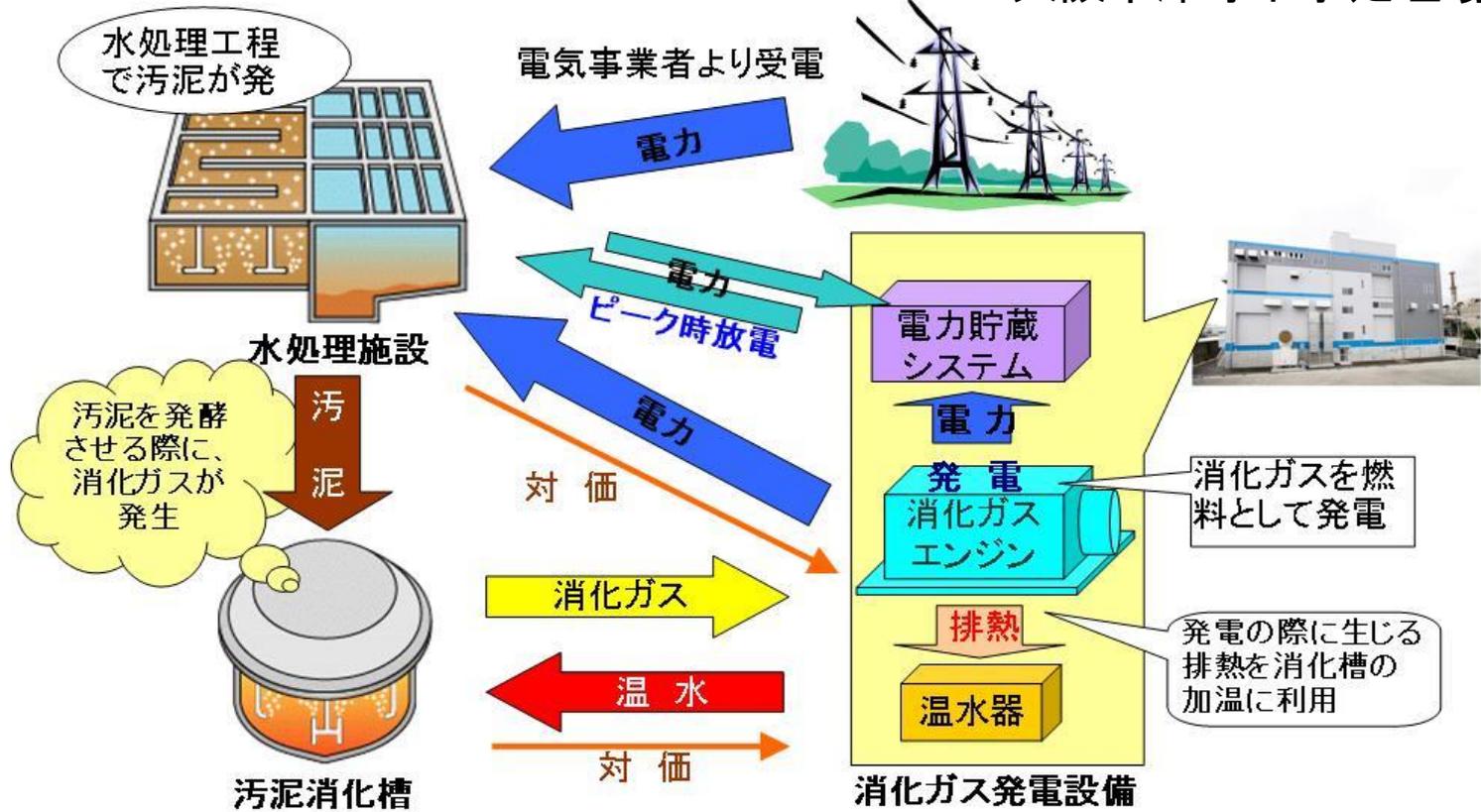


下水の持つエネルギーは処理に必要なエネルギーを十分に超えている。
回収できる汚泥のエネルギーでも2倍程度。

津守下水処理場のチャレンジ

消化ガス発電設備イメージ図

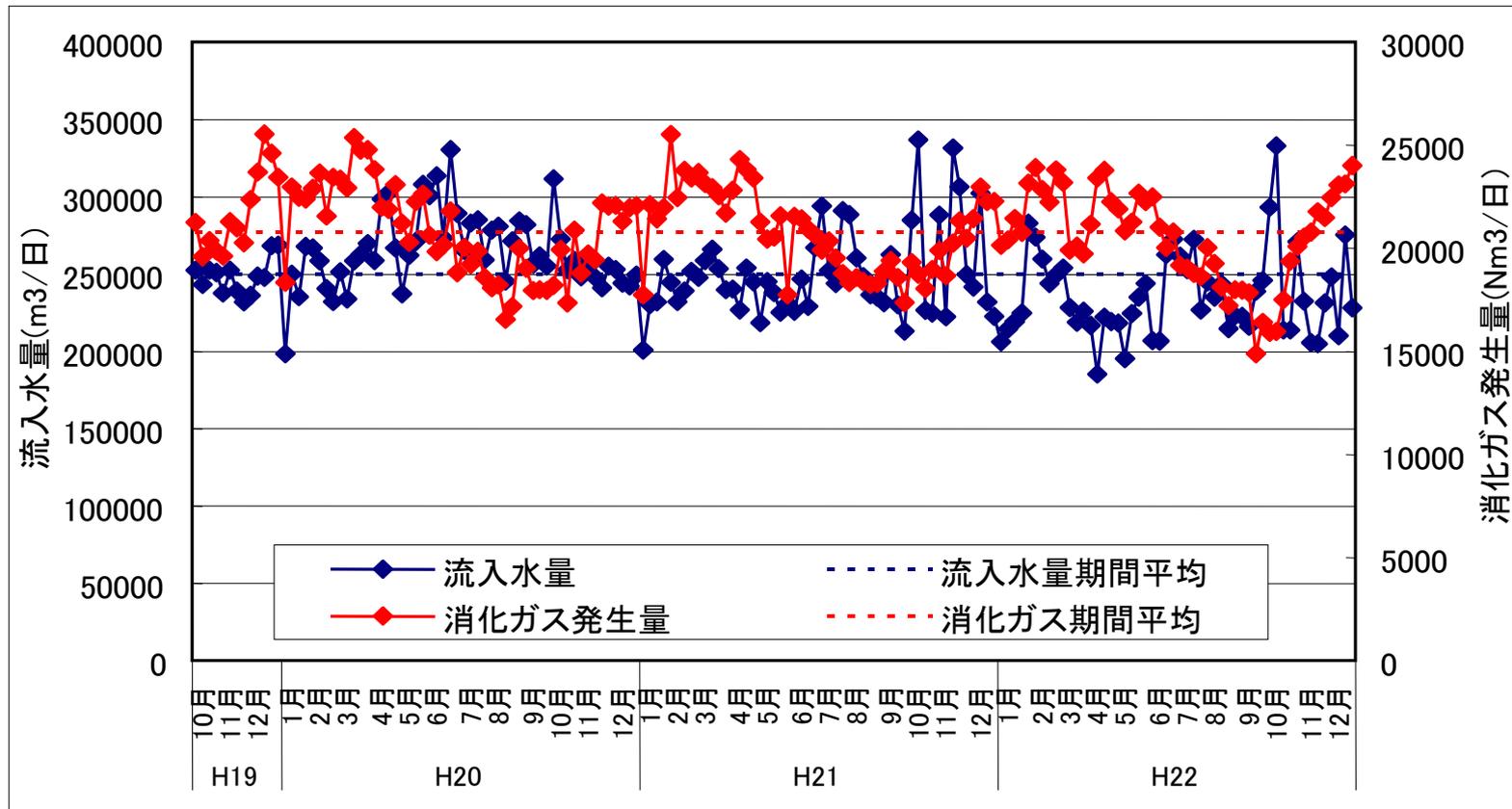
大阪市津守下水処理場HPより



津守処理場では実際に汚泥をメタン発酵して、ガスエンジンで発電と熱回収を実施(関西電力/大阪バイオエナジーとのPFI事業)

下水汚泥からのメタン回収

赤線：下水汚泥からのメタンガス発生量

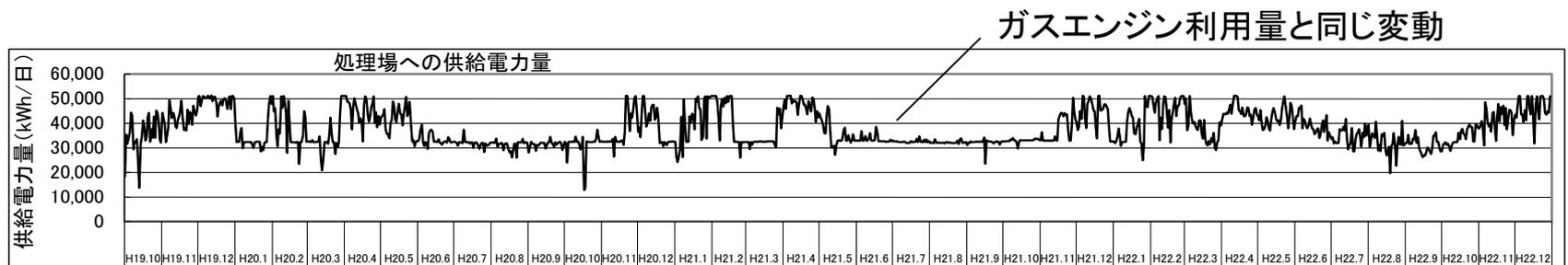
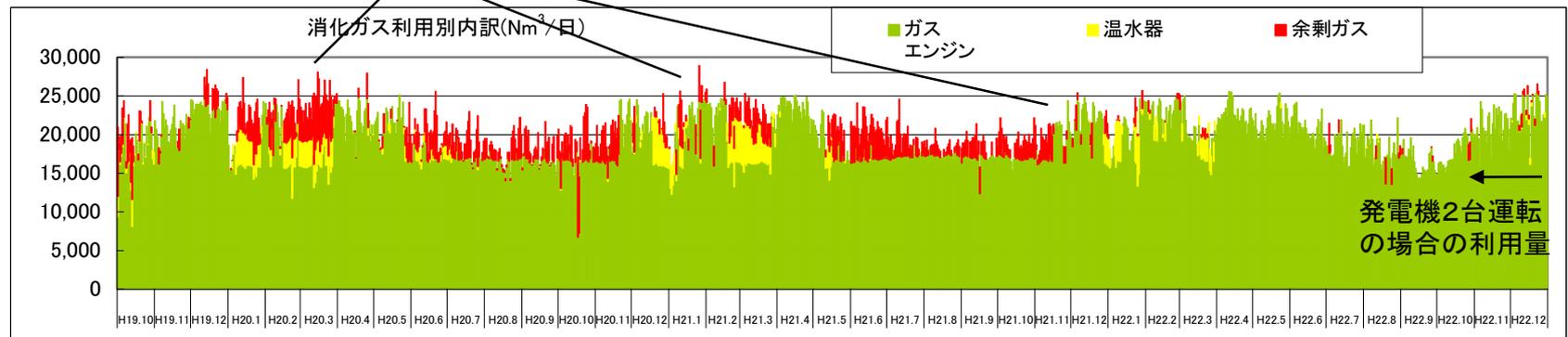


ガス貯留の適正制御のためには季節変動予測が重要

消化ガス利用の実績：発電と熱供給

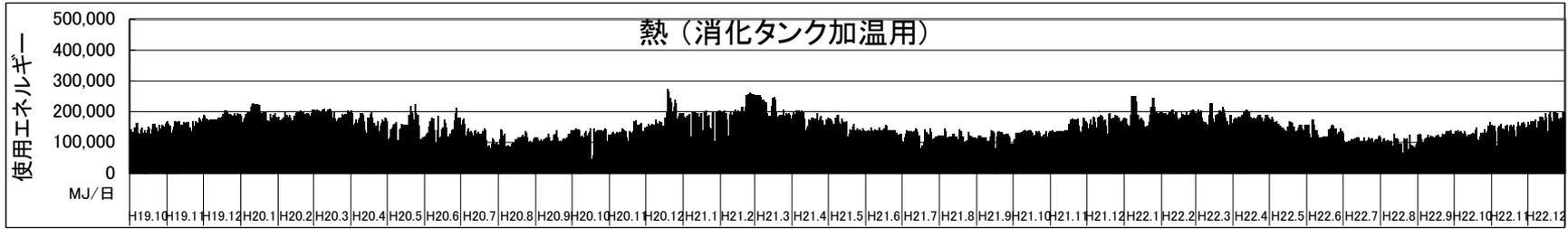
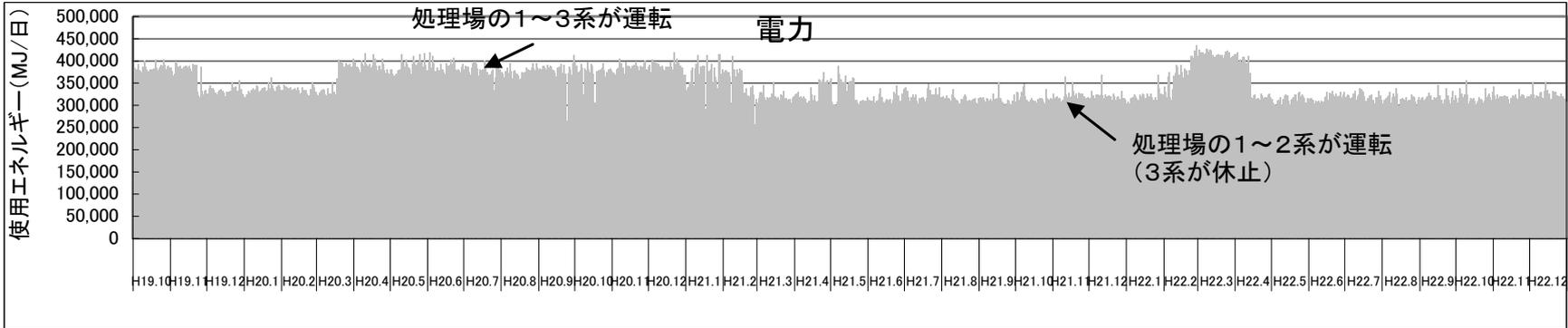
冬は必要熱量が増えるため
消化ガスを温水器で燃焼し、熱供給

→ 運転方法を変更し
余剰ガスはほとんどなし



消化ガスの利用量内訳(上図)及び消化ガス発電量(下図)

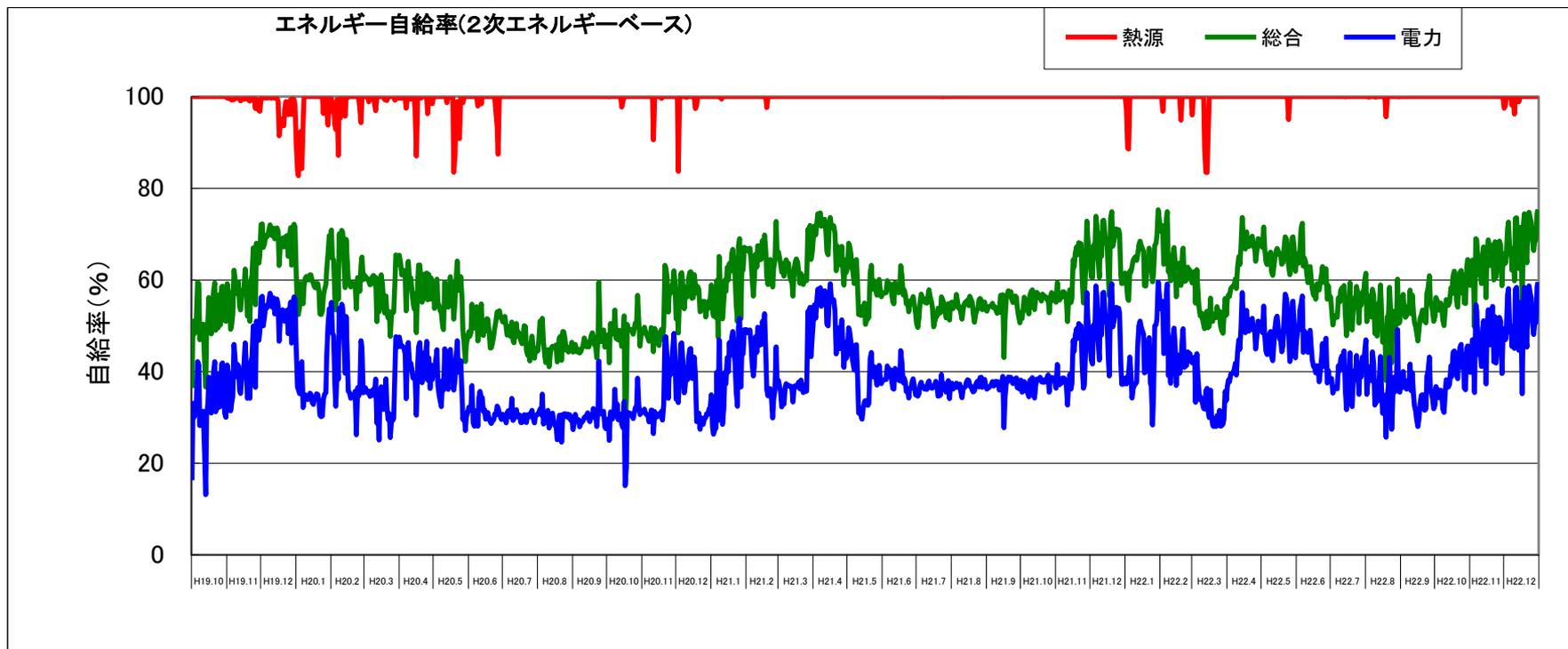
下水処理場におけるエネルギー消費量



処理場での使用電力量 (上図) 及び消化タンク加温用熱量 (下図)

下水処理場におけるエネルギー自給率

回収したメタンガスのコジェネによるエネルギー自給率

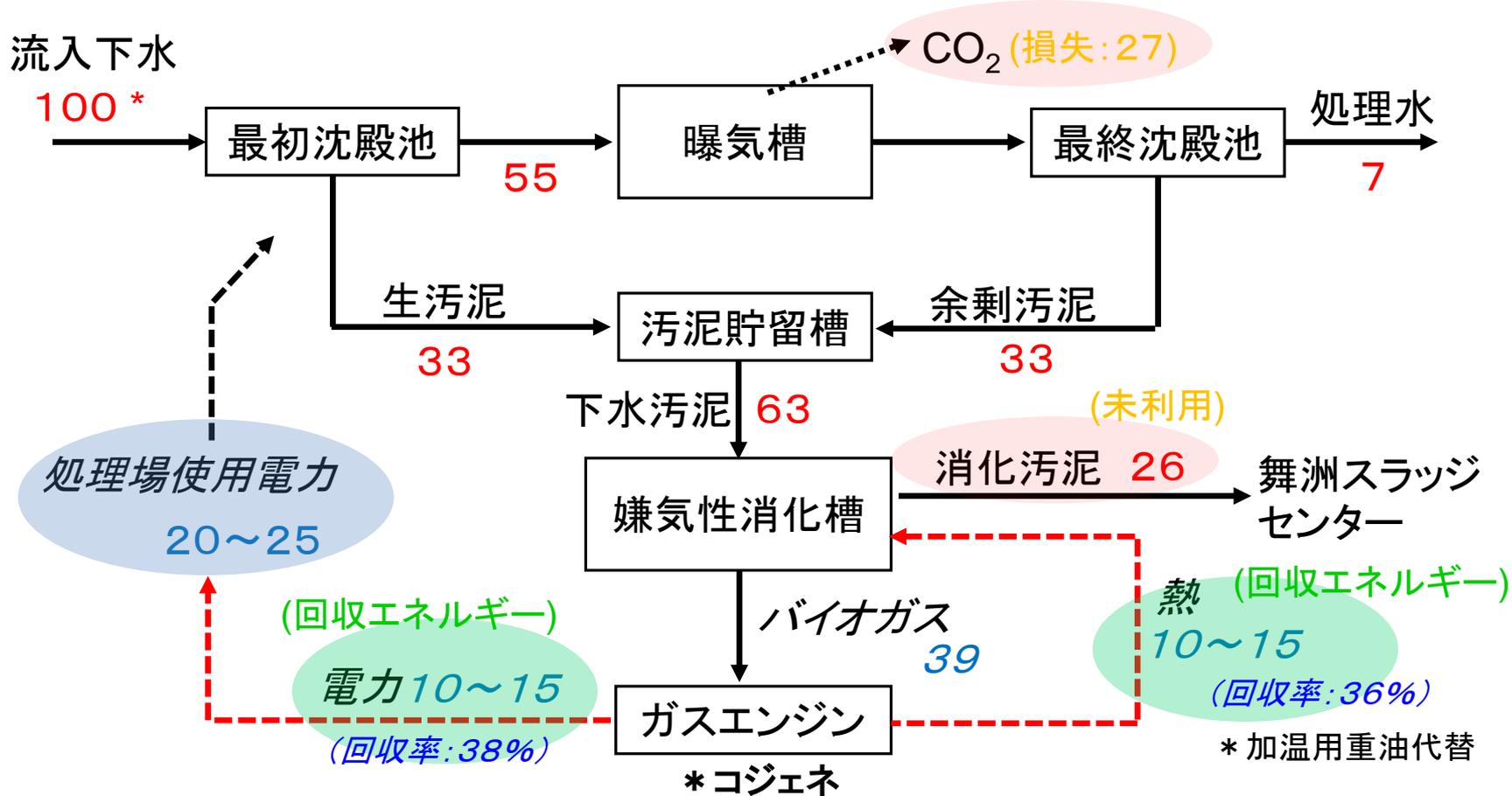


電気の自給率 — (最適時: 冬~春) 50%を超える

熱の自給率 — 年間通じてほぼ100%

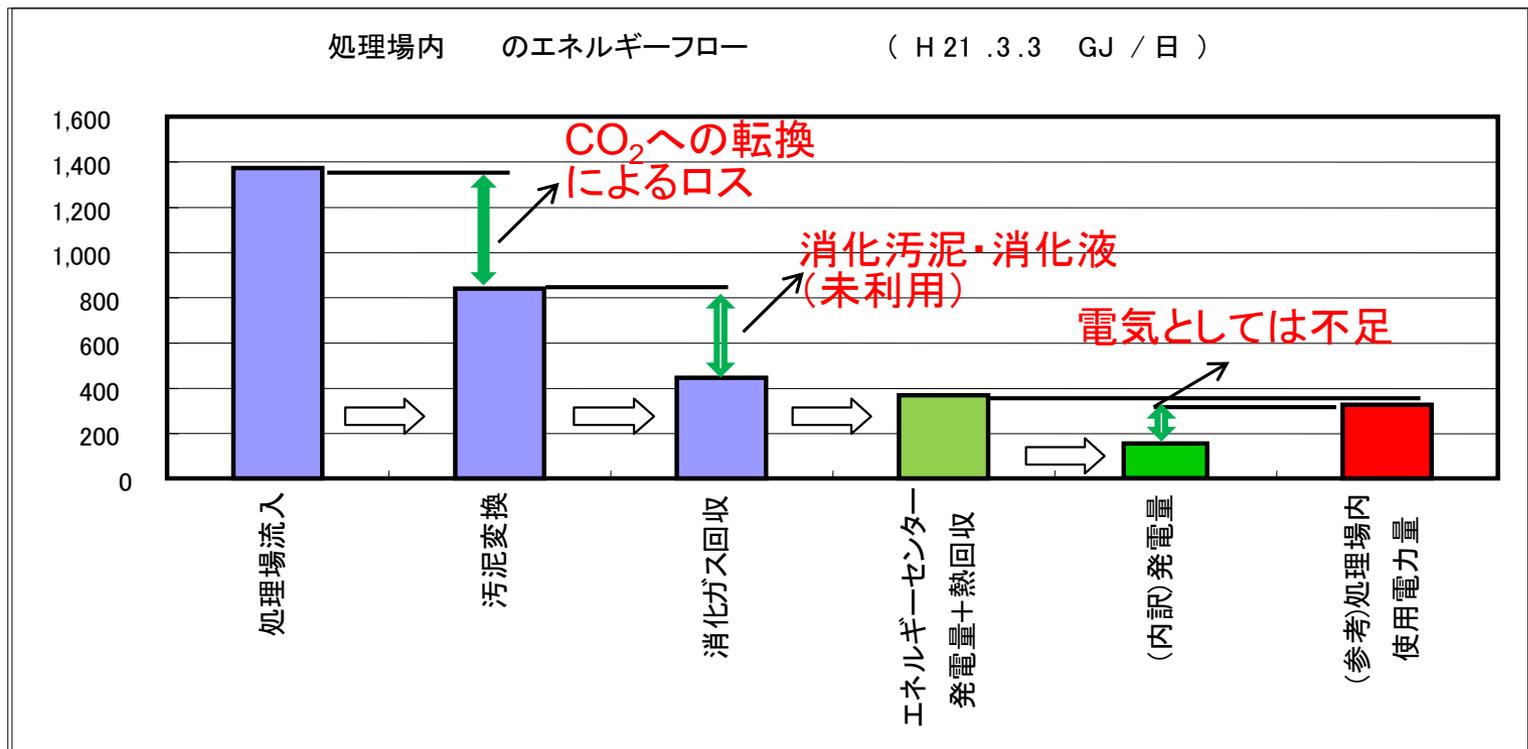
津守下水処理場のエネルギーバランス(2)

* 下水に含まれて下水処理場に流入する**化学エネルギー量** (約 9.8×10^8 kJ/d) を100 (%)として、各工程間のエネルギーの流れを相対値として表記している。
 (下水汚泥の嫌気性消化とコジェネによる電気・熱生産)



メタン発酵によって、下水化学エネルギーの一部を電力と熱として回収

津守下水処理場のエネルギーバランス(2)



下水汚泥のメタン発酵とコジェネでは未だ処理に必要なエネルギー(電気)は賅えていない。

省エネ化と熱を利用した消化促進により“自立”を目指す

下水処理場内のエネルギー自立の可能性

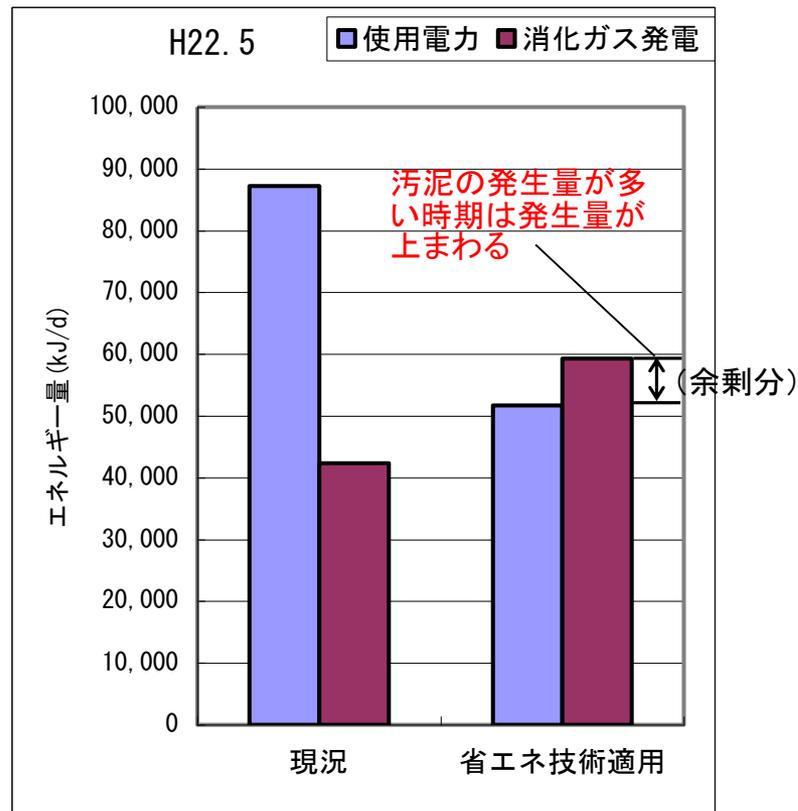
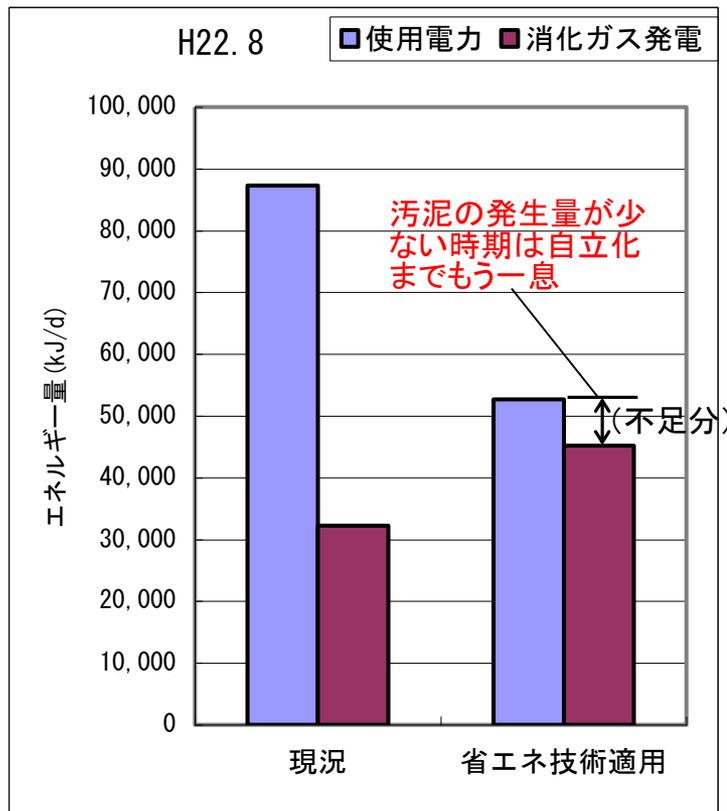
下水処理機器類の省エネ(トッランナー)化
 消化効率の向上(熱利用による汚泥の前処理を想定)

項目	内容	消費電力削減率
ポンプ	ポンプの自動制御	約5%
	高効率電動機	約5%
ばっ気	エアレーション装置の改善・制御	約10%
	高効率送風機の導入	約20%
	超微細散気装置の導入	約40%
遠心濃縮	高効率汚泥濃縮機の導入	約50%

項目	内容	エネルギー増加率
メタン発酵	汚泥可溶化システム	1.4倍

津守下水処理場は発電所になるか？

いろいろな会社や研究者が開発した**技術**を結集すると...



単純な汚泥の消化ーコジェネモデル実績からでも、現状の省エネ・創エネ(消化)向上技術の適用だけでほぼエネルギー自立する可能性！！

→ さらなる技術やプロセスのイノベーションによりエネルギー生産施設化へ

津守PJTに欲しい技術：省エネサイド

- ・省エネ型曝気（メンブレン・ディヒューザーを含めた微細気泡化、ブローアの台数制御／バルブ開度制御、適正風量／DO制御のための高感度センサー etc.）
- ・省エネ型の汚泥濃縮（浮上分離、低エネルギー消費の膜濃縮 etc.）
- ・熱損失の低減・未利用熱の利用（消化槽の保温材／構造、効率のよい熱交換器 etc.）
- ・省エネ型機器の導入／トップランナー化（省エネ型ブロウ／ポンプ／脱水機 etc.）

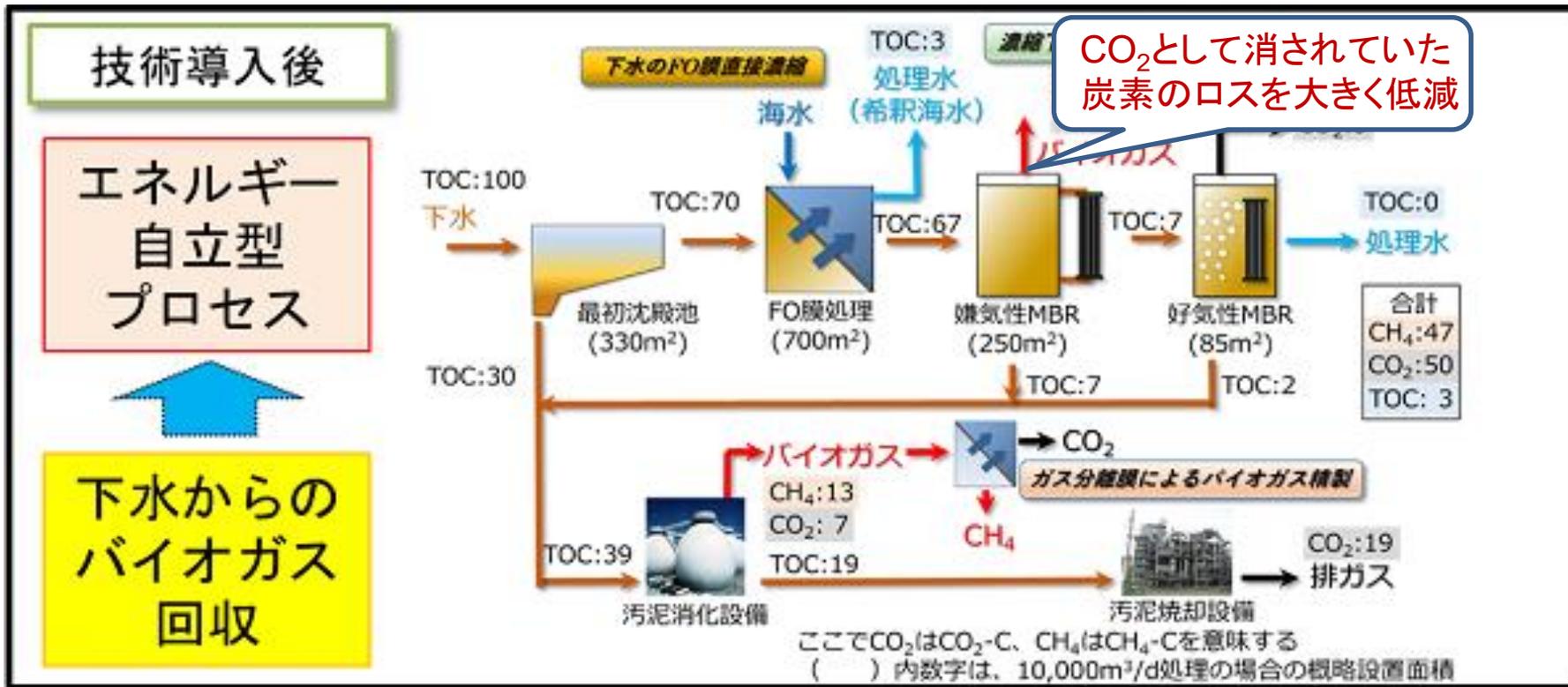
.....

津守PJTに欲しい技術：創エネサイド

- 沈殿池における徹底した汚泥回収（晴天時傾斜板、（省エネ型）汚泥脱水機 etc.）
- 汚泥最大化生物処理（汚泥を減らしたいという活性汚泥法の理念を180度変える→SRTの短縮？ etc.）
- 嫌気性消化しやすい汚泥への改質（生物処理過程での細胞内貯蔵物質蓄積、コジェネ余剰熱による汚泥の熱処理 etc.）
- 消化汚泥のエネルギー化（炭化／固形燃料化 etc.）
- 汚泥への変換を経ない下水成分のエネルギー化（低濃度BOD向き消化、微生物電池 etc.）
- 嫌気性消化の効率化（超嫌気性消化）
-

FO膜濃縮による下水の直接消化

浄水処理や下水処理における分離膜技術の開発 | 国立大学法人 神戸大学

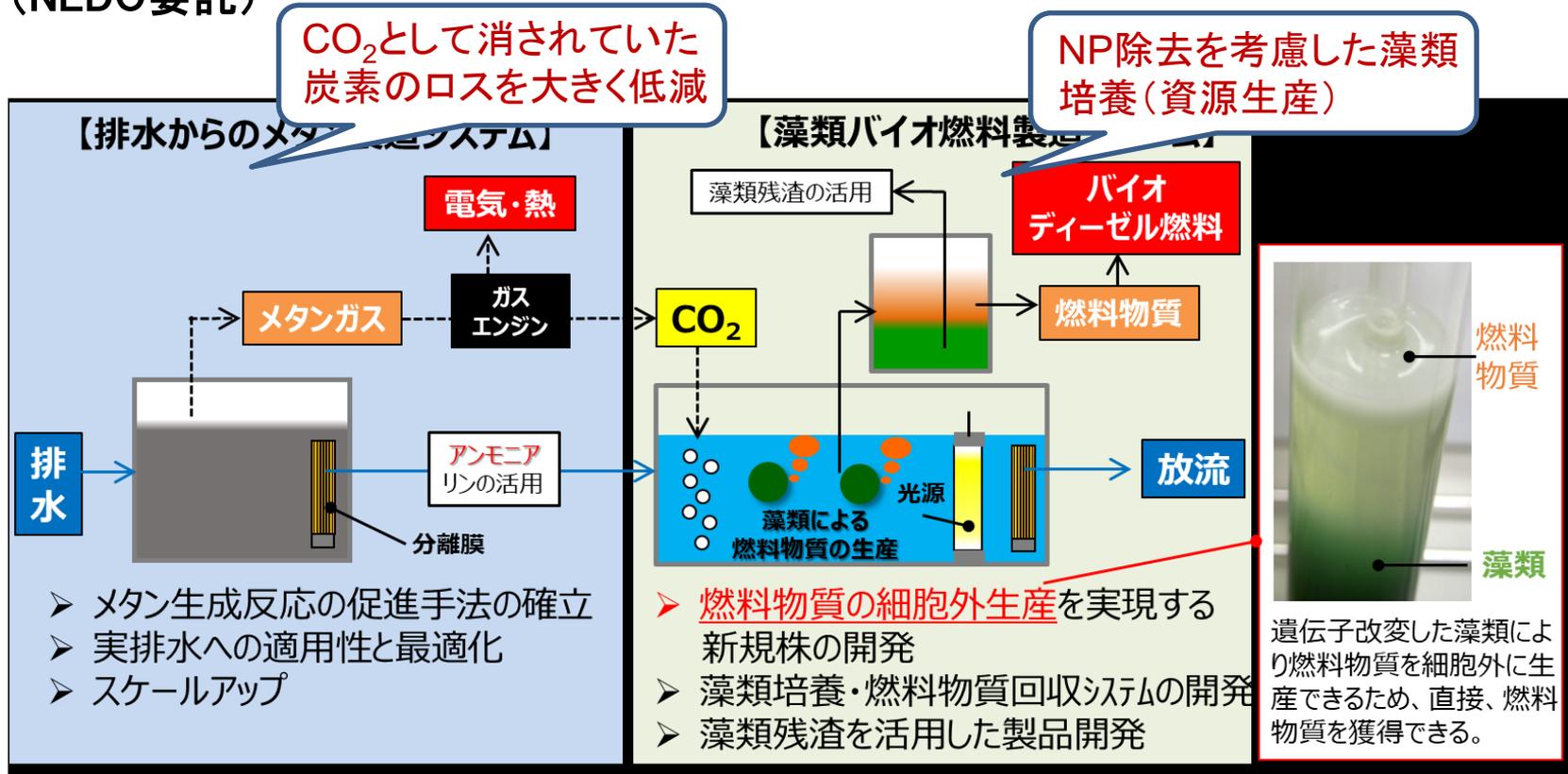


https://www.kobe-u.ac.jp/info/project/SDGs/water_and_sanitation/2018_11_29_01.html

エネルギー価値のある炭素を全く無効消費しない挑戦
= 水質浄化にかかるエネルギー・資源投入の最小化

嫌気性MBRによる低濃度下水の直接消化

生物メタネーションとバイオ燃料製造を可能とする新排水処理プロセス | 大成建設等 (NEDO委託)



エネルギー価値のある炭素を全く無効消費しない挑戦
+ 消化残渣中の栄養塩類の資源利用

* 三菱化工機等による環境省 技術開発・実証事業でも下水直接消化の開発がある。

さらなる資源の回収・利用による
脱炭素社会への貢献

下水からの資源回収：実用技術

有機物(エネルギー)の回収

汚泥の嫌気性消化によるメタン・水素回収

汚泥の固形燃料化・炭化・油化

栄養塩類の回収

消化液・消化汚泥の直接利用(肥料等)

汚泥のコンポスト化

アンモニアストリッピングからの硫酸肥料回収

MAP、HAP等としてのリン回収

無機物の回収

焼却灰の建築材料としての利用

栄養塩類回収による脱炭素への貢献

窒素(アンモニア態)の回収・利用

ハーバー・ボッシュ法での窒素固定*に要する
エネルギーの削減 (* 世界のエネルギー利用の2%)

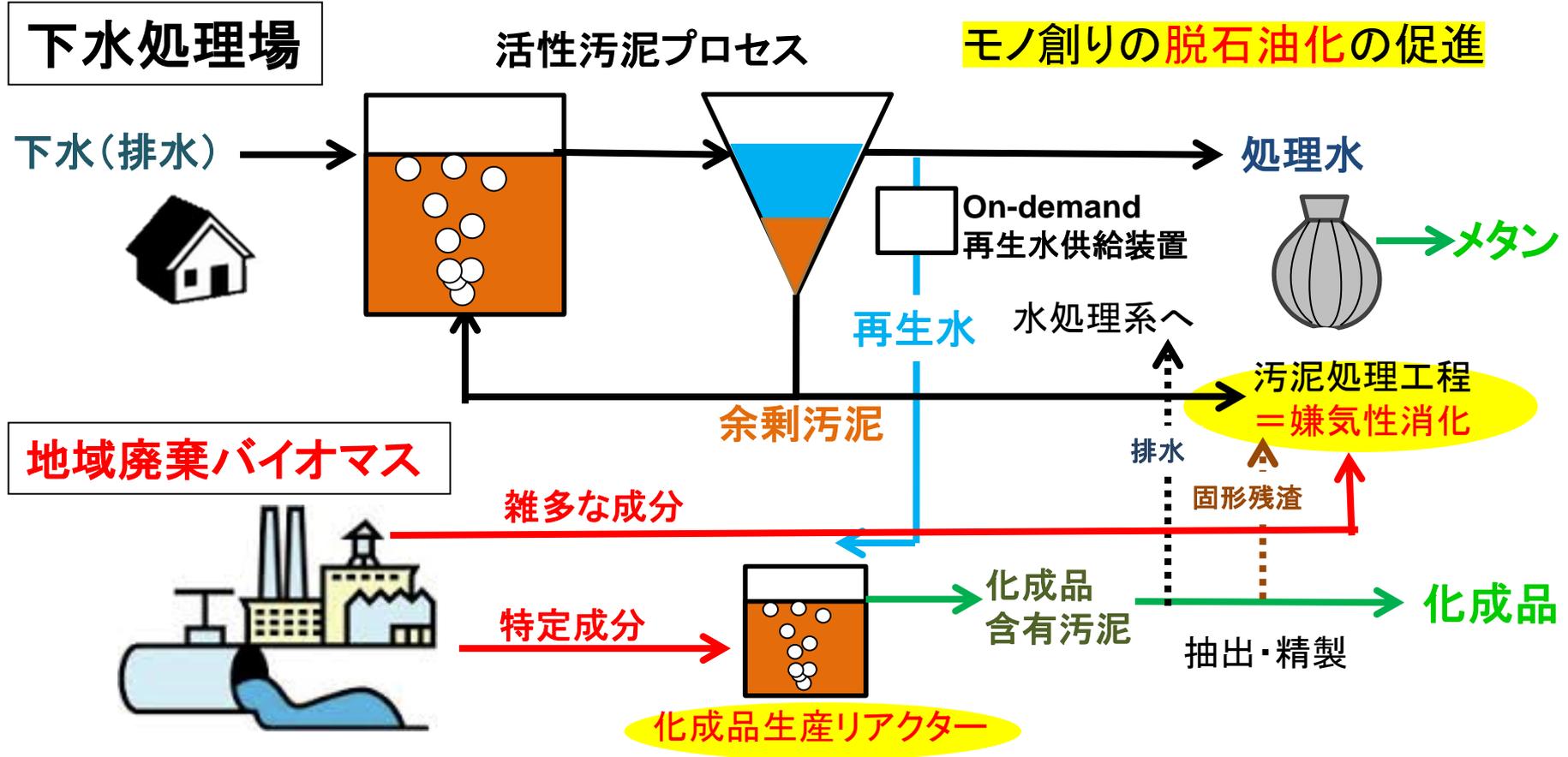
消化液等からの窒素除去に要する高度処理の追加的
エネルギーの削減・硝化－脱窒に伴って生じる N_2O 発生
の低減

リンの回収・利用

リン鉱石の輸入等に要するエネルギーの削減？

* 無機物の回収(焼却灰の建築材料としての利用)は？

下水処理場での地域バイオマスからのモノ創り



* 産業排水等特定成分を含む地域バイオマスを受入れ、これらを原料に化成品を生産：下水処理場をバイオリファインリーへ転換

【メリット】* Down stream 加工までを行い、排水・残渣は水・汚泥の処理系にて受入

* 必要に応じて各種グレードの再生水を生産等に利用

* 嫌気性消化があれば、燃料(場合によっては電力)も供給可

まとめ

- 下水処理場に流入している化学エネルギーを全て回収し、利用することができれば、エネルギー自立(脱炭素)は既存技術の適用で達成できる。さらなる技術開発によって創エネ施設にも転換できる。
 - 省エネ・創エネへの先行的投資が必要(～2030年)
 - 省エネ・創エネの先端技術開発の重要性(～2050年)
- さらに栄養塩類やミネラルの回収でCircular Economy構築に寄与し、特にハーバーボッシュによる窒素固定に要する膨大なエネルギーの削減にも貢献できる。
 - 下水からの栄養塩循環の価値評価と社会的認知(～2030年)
 - 窒素(アンモニア)を消さず回収する技術開発(～2050年)
- 下水処理場を多様なバイオマスの回収・資源化拠点に転換する構想はモノ創りの脱石油化を促進する多くのメリットを有する。“静脈—静脈連携”から“静脈—動脈一体化”に進化させることで、産業構想自体の脱炭素化を進展させる一つの契機となる可能性を秘めている。
 - 静脈—静脈、静脈—動脈連携を阻む制度の見直し(～2030年)
 - 廃棄バイオマスからのモノ創り技術群の開発と下水処理場を舞台とした実験(失敗を許す)の積み重ね(～2050年)

Appendix

下水処理場を評価する新たな視点 水質保全 vs 脱炭素

下水処理の評価軸

富栄養化影響EP ($\text{g-PO}_4^{3-}/\text{m}^3$)

下水 1m^3 を処理するために必要な電力消費に伴う NO_x 排出量、処理水質(BOD, N, P)から算定した。**Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modelling (LIME)**

地球温暖化影響GWP ($\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$)

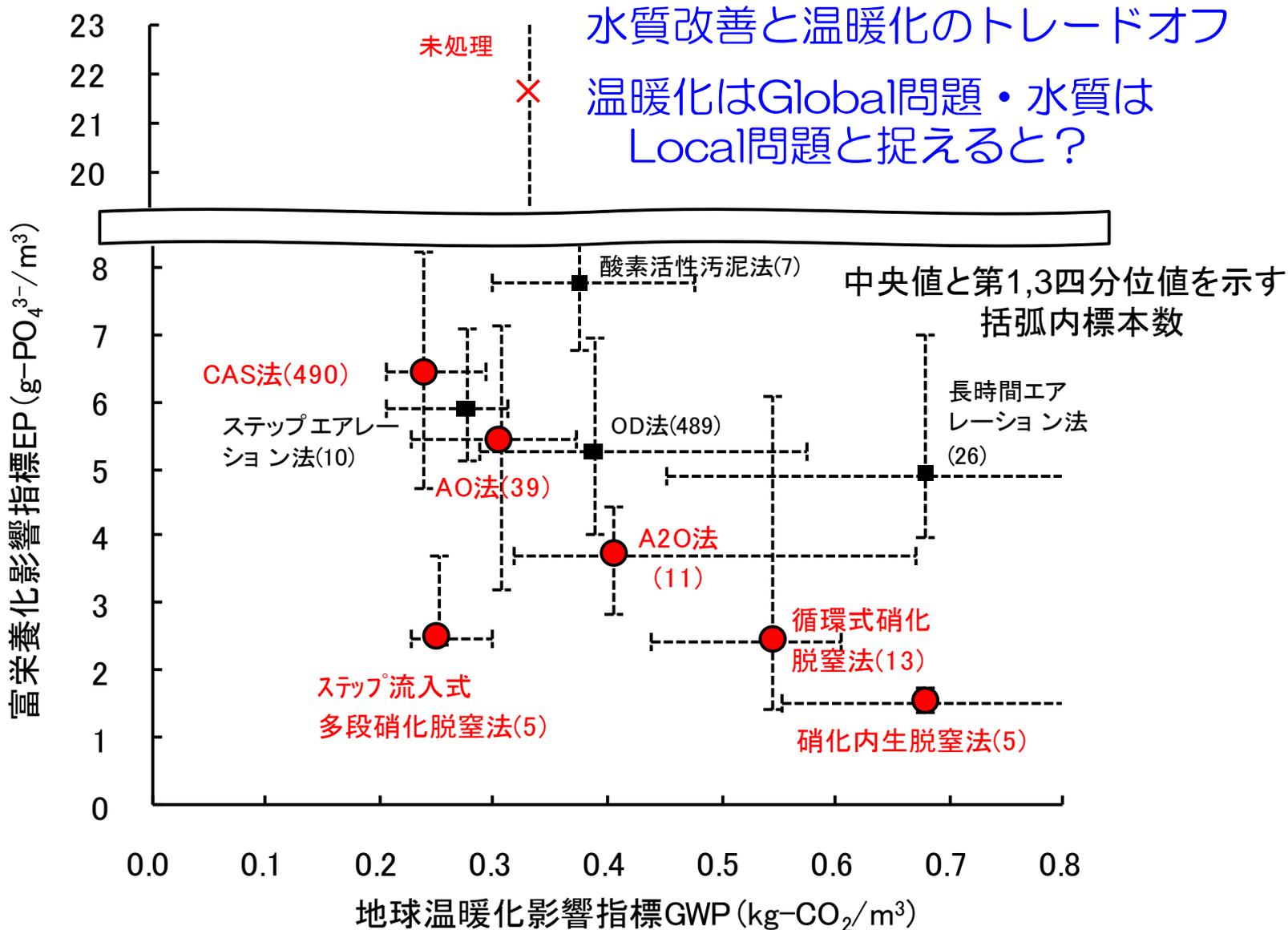
下水 1m^3 を処理するために必要な電力消費に伴う CO_2 発生量、水処理プロセスで発生する N_2O 、 CH_4 の排出量、下水放流先における N_2O 、 CH_4 の排出量から算定した。調査報告のあるAO法とA2O法以外は、IPCCの発生原単位を用いた。**LIME**

下水汚泥発生量 (m^3/m^3)

下水 1m^3 を処理することで最初沈殿池および最終沈殿池で発生する汚泥発生量を算定した。

* 平成16年度下水道統計データ(日本下水道協会)から解析

水質保全機能 vs. 温室効果ガス発生



汚泥発生量 vs. 温室効果ガス発生

