

下水道による資源・エネルギー の創出



国土交通省 国土技術政策総合研究所

下水道研究部

井上 茂治

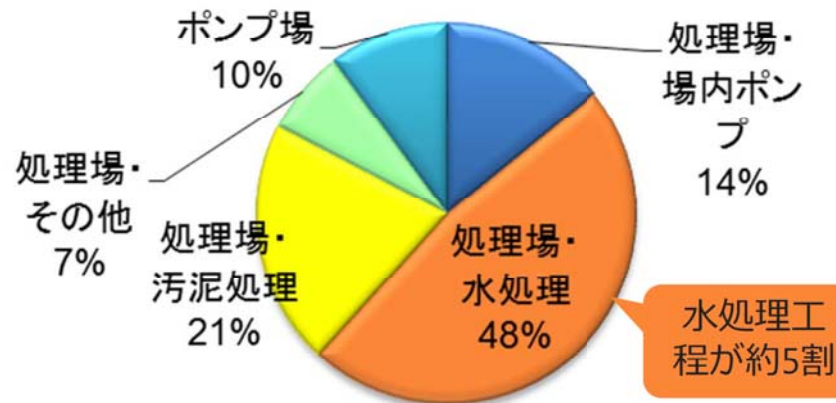
ポイント

- ◆ 調査研究から技術の実証・普及まで（政策の実現に向けて）
- ◆ 下水道の特徴を捉えた技術展開（3つの視点と $+\alpha$ ）
 - 【視点1 省エネ・効率化の取組み】
 - 【視点2 資源・エネルギーの創出】
 - 【視点3 人口減少社会への対応と社会還元】
 - 【 $+\alpha$ 下水道の印象革命】
- ◆ 関係機関等との連携（社会還元に向けて）

【視点1 省エネ・効率化の取組み】背景

- 下水道の年間の**電力使用量は全国の約0.7%、温室効果ガス排出量は約0.5%**（H26年度）
 - 公共事業のなかでも大きなエネルギーを使用する施設であり、省エネルギー対策を積極的に推進
- 下水道の電力使用量のうち水処理工程が約5割で、電力使用量原単位はH17年度以降横ばい
 - 地球温暖化対策計画(2016)では処理水量当り**エネルギー起源CO₂排出量を2030年度に約半減目標**

下水道における電力使用量の内訳

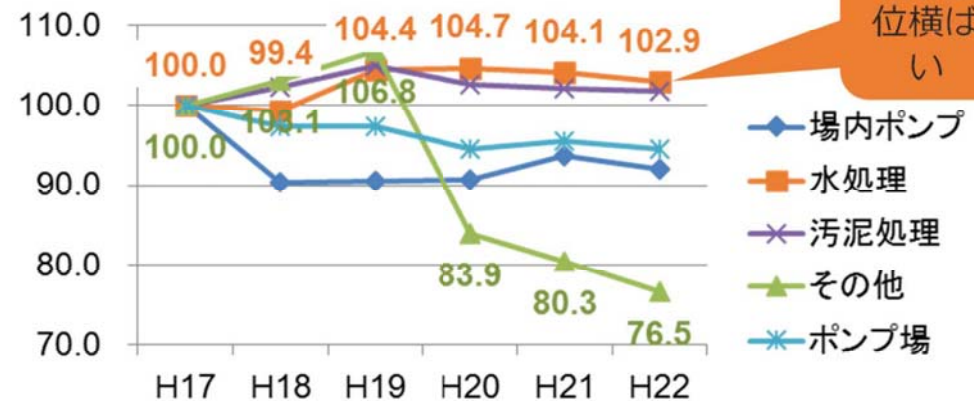


総電力消費量
約70億 kWh
(H26年度)

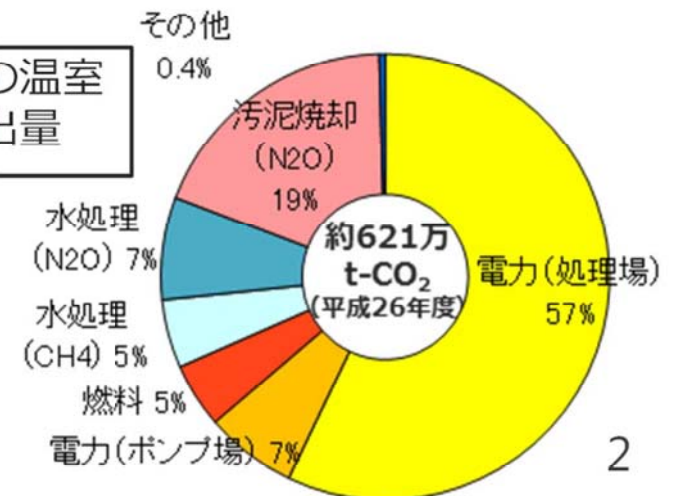
年間電力費
約1,100億円

⇒**省エネと放流水質基準の達成を両立**
させる技術の開発普及が必要

処理工程ごとの電力使用量原単位の推移



下水道からの温室効果ガス排出量



【視点1 省エネ・効率化の取組み】省エネ水処理の選定の考え方

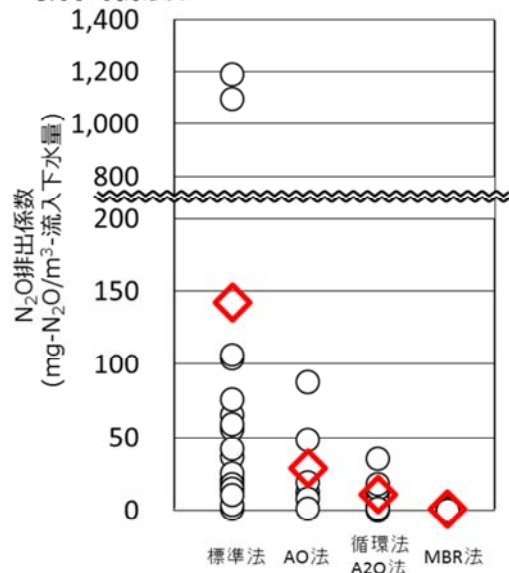
○水処理の現有処理法、技術導入目的、水質目標に応じて適切な省エネ水処理技術が選定可能

現有処理法	技術導入目的	主な水質目標(例)	あてはまる技術
標準法・高度処理	硝化安定化と省エネ化の両立	$\text{NH}_4\text{-N}$ (<1mg/L)	ICT省エネ水処理
標準法	有機物除去を省エネ化	BOD(<15mg/L)	標準法代替 (無曝気循環式)
標準法	同サイズで高度処理化	TN(<10mg/L), TP(<3mg/L)	高度処理代替 (固液分離と2点DO制御)
特に標準法	N_2O 発生抑制と省エネの両立	ガス態 N_2O (<<142mg N_2O / m^3)	N_2O 発生抑制・省エネ運転 (制限曝気運転)

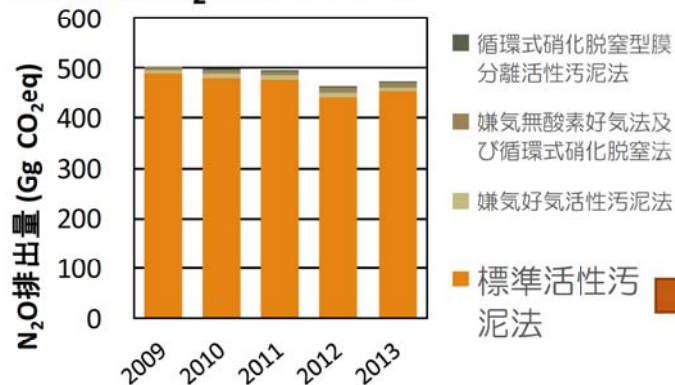
【視点1 省エネ・効率化の取組み】N₂O発生抑制・省エネ運転技術

- 下水処理プロセスから、二酸化炭素（CO₂）の310倍の温室効果の一酸化二窒素（N₂O）が発生、下水道全体の8.7%に相当 → N₂O発生抑制・省エネ運転必要（特に標準法）
- 標準法を制限曝気運転へ変更することで、ガス態N₂O排出量が約90%低減、送風量も削減

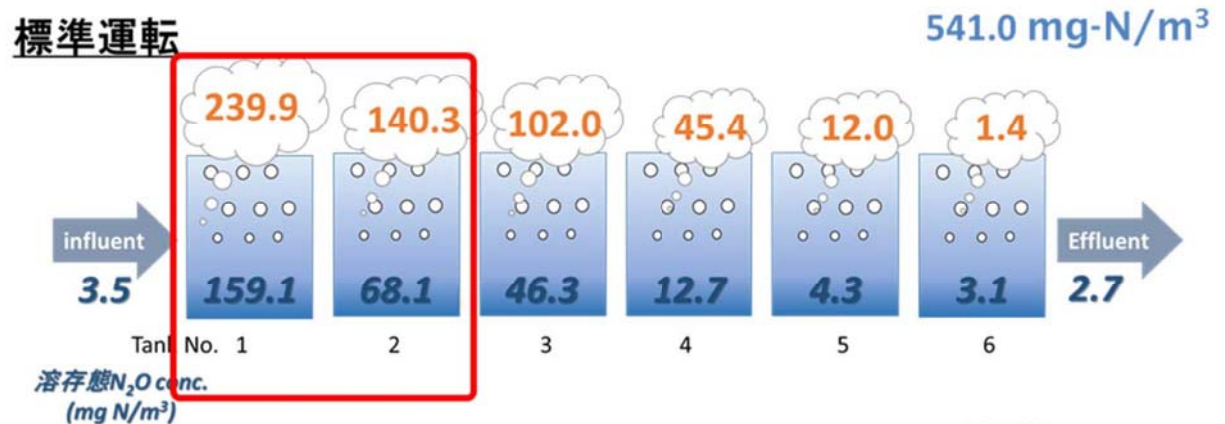
水処理プロセスにおけるN₂O排出係数



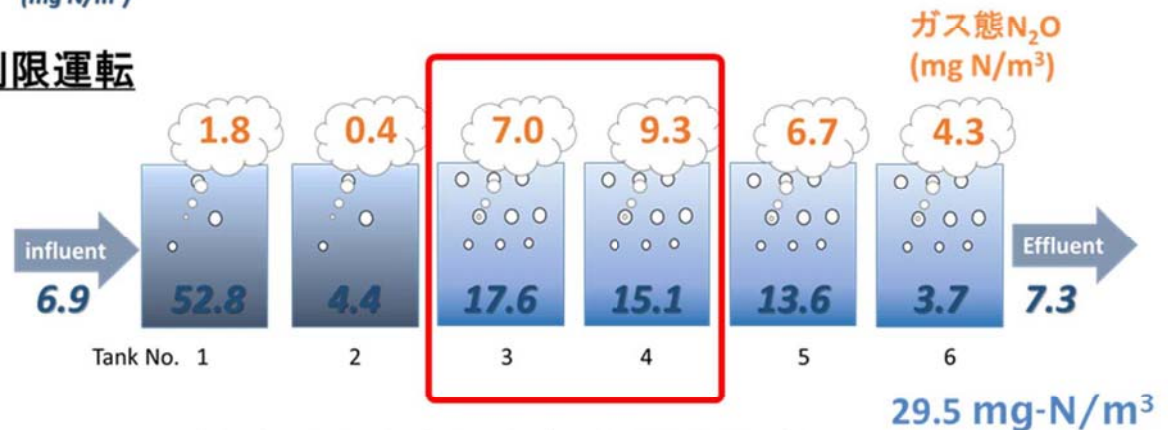
処理場のN₂O排出量推移



標準運転



制限運転



実処理場に設置したパイロットプラント連続運転の実験成果

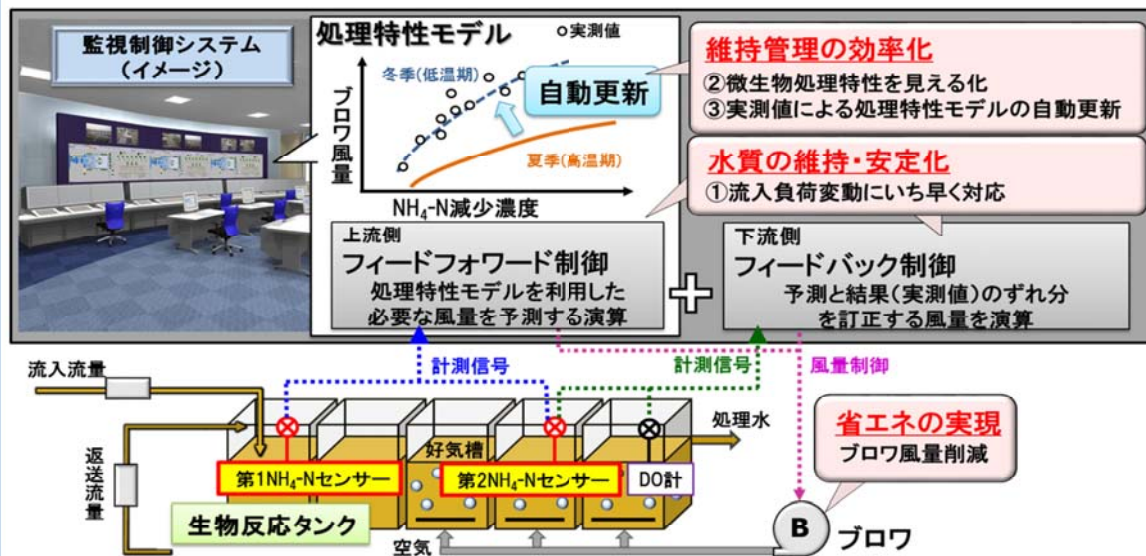
標準法から発生するN₂Oの抑制運転の検討が必要

【視点1 省エネ・効率化の取組み】ICT活用省エネ水処理技術

B-DASHプロジェクト「ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術」

- 既存施設にセンサーと制御技術からなるICTを導入し、処理に必要な送風量をリアルタイムに予測・制御する省エネ技術
- 水質を維持しながら、曝気風量を30%以上低減できることを実証
- 下水道事業の「持続」と「進化」を実践する「**i-Gesuido**」を支える技術として普及展開

技術の概要

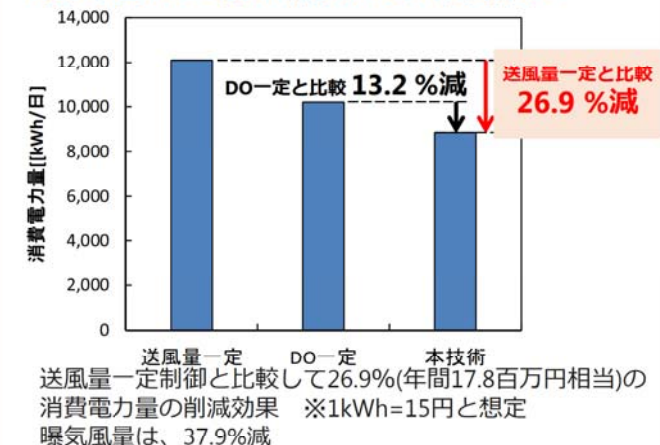


- **処理水水質維持・省エネルギー**
 - ・2台のNH₄-Nセンサーを用いた送風量制御機能により、流入負荷変動に対応することで、**処理の過不足を抑制、曝気風量の低減(省エネ)**
- **維持管理業務の軽減**
 - ・微生物(活性汚泥)の処理特性を“処理特性モデル”として見える化を図ることにより、**微生物の特性変化、処理異常の傾向を早期に把握可能**
 - ・処理特性モデルの自動更新機能により、最新の微生物の処理特性を自動で反映し、**予測制御の精度を自動的に保ち、維持管理性を向上**

導入効果(試算例)

本技術が標準活性汚泥法を採用する全国約630の下水処理場に適用された場合、15年間で**約1800億円の電力費削減**が期待

消費電力量削減効果の試算結果



【視点1 省エネ・効率化の取組み】エネルギー効率指標の提示

- 「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（国交省下水道事業課長通知、平成29年5月）を发出
- 「消化槽」、「消化ガス発電」、「消化ガス精製」等に加え、「焼却炉」等の施設について、エネルギー効率に優れた技術の導入を図るもの

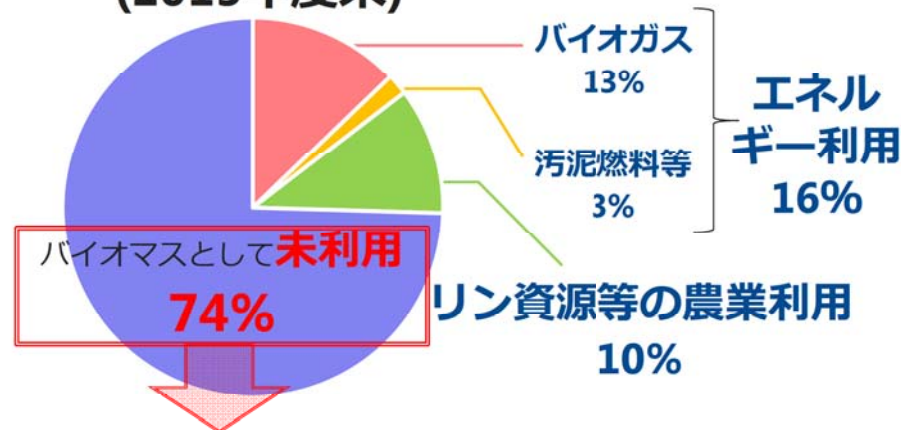
施設・設備	区 分	性能指標	規模別性能指標値		
			日最大汚水量 25,000m ³ /日規模	日最大汚水量 50,000m ³ /日規模	日最大汚水量 100,000m ³ /日規模
消化槽	中温消化 (消化日数20～30日)	消費電力量(分解VS量 当たり) [kWh/t-VS分解]	280以下	280 以下	270 以下
	担体充填高温消化 (消化日数5～10日)	同 上	① 370以下 ② 420以下	① 260以下 ② 410 以下	① 260以下 ② 400 以下
バイオガス発電	高効率発電	発電効率 [%]	40以上		
	コージェネレーション	発電効率 [%] 及び 排熱利用を含む総合効 率 [%]	発電効率20%以上かつ総合効率75%以上		
ガス精製（高機能脱硫）		消費電力量(精製ガス量 当たり) [kWh/m ³ N-gas]	1.7 以下	1.3 以下	1.0 以下
ヒートポンプ		COP（水温20℃）	2.7以上		
固液分離		—	水処理・汚泥処理のシステム全体としての評価の中で指標を示す予定		
他バイオマス受入・混合設備		—	同 上		
焼却炉		廃熱回収率[%] 及び 消費電力削減率[%]	廃熱回収率40%以上かつ消費電力量削減率が20%以上		

現状を確認し、指標達成のための技術を検証

【視点2 資源・エネルギーの創出】背景

- 下水道は、**資源・エネルギーの集まる施設**
 - 下水汚泥は**都市で安定的に発生**するバイオマス（年間約227万DS-t）
バイオガス化や固形燃料化によるエネルギー利用、リン等の資源利用が可能
- 約74%がバイオマスとして未利用**、エネルギー化率も16%程度（H27年度末）
 - 下水道法を2017年に改正、肥料化・燃料化を努力義務化

■ 日本の下水汚泥の利用状況 (2015年度末)



【2020年までの目標】

- 徹底的な活用で、下水汚泥のエネルギー・農業利用率を、約26%（現状）から**約40%**に向上
- 年間**約200億円**相当のエネルギーを、化石燃料に代わって下水汚泥から生産

■ 下水汚泥のポテンシャル

- ◎**約110万世帯分**（名古屋市の全世帯数※に相当）の電力を発電するエネルギーを保有
※全市区町村中第3位（H27総務省住民基本台帳に基づく）
- ◎下水処理場に流入するリン全量を農業利用すれば、海外から輸入するリンの**約10%（約120億円/年）相当の削減**に貢献
※化学肥料の原料になるリン鉱石は現在、全量を輸入に依存

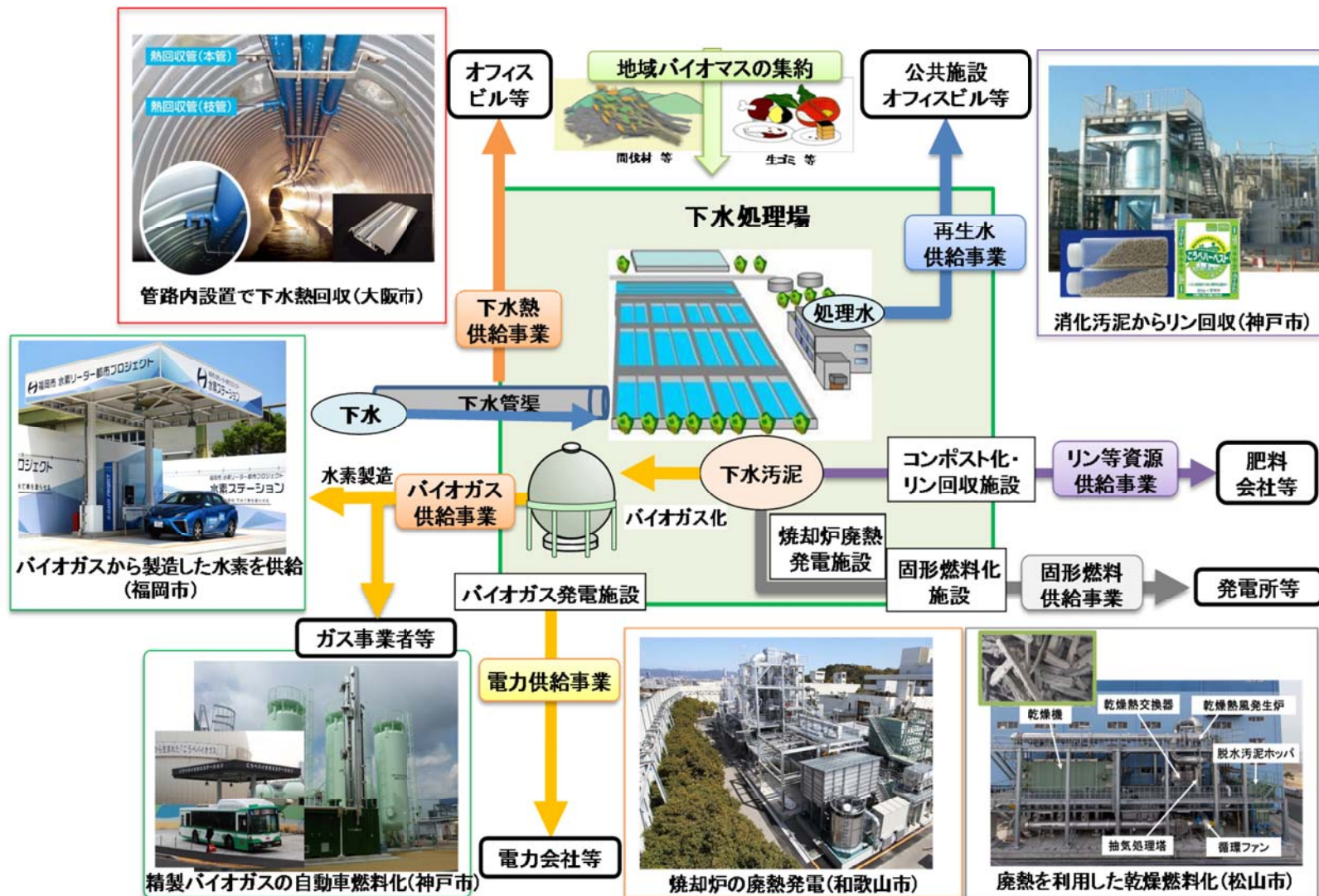
【バイオマスの集約利用イメージ】



⇒**その立ち位置を活用**して、積極的な資源・エネルギーの有効活用が必要

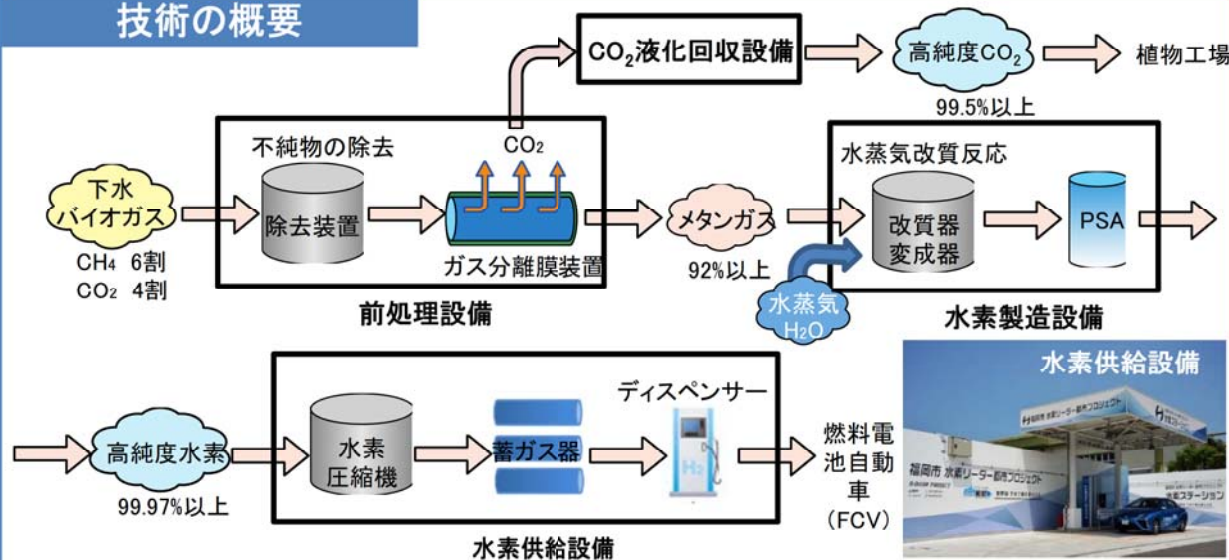
【視点2 資源・エネルギーの創出】活用技術の実証・普及

- バイオガス関連では、地域バイオマスでガス回収増、ガス精製・自動車燃料化、燃料電池発電、水素化FCV供給等
- 汚泥の乾燥燃料化、焼却炉廃熱発電、リン回収・肥料化
- 管路内設置の下水熱利用技術等→ **B-DASHプロジェクトで実証・ガイドライン化して普及展開**



- 「前処理技術」、「水素製造技術」、「水素供給技術」、「CO₂液化回収技術」により、再生可能エネルギーである**下水バイオガスから水素を製造し、燃料電池自動車（FCV）に供給**する技術
- 再生可能エネルギー由来の水素が燃料電池自動車（FCV）に供給されることで、**温室効果ガス排出量を大幅に削減**すると共に、**下水道事業が「水素社会」の実現に貢献**可能と実証

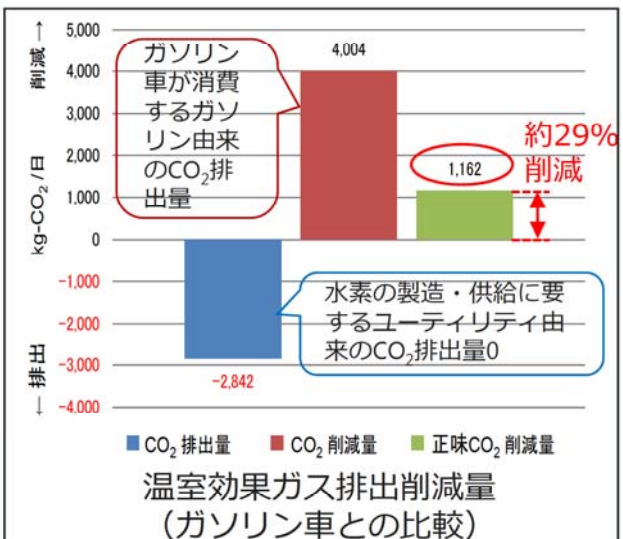
技術の概要



前処理技術	下水バイオガスに含まれる不純物（シロキサン）を除去し、膜分離によりCO ₂ を分離してメタンガスを精製（92%以上）
水素製造技術	メタンガスを高温下において水蒸気と反応させる水蒸気改質反応（ $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$ ）、加圧状態で吸着剤にCO ₂ 等を吸着させるPSA法（圧力変動吸着法）により、高純度の水素（99.97%以上）を製造
水素供給技術	水素を82MPaまで圧縮し、蓄ガス器に一次貯留した後に、ディスペンサーにより70MPa対応の燃料電池自動車（FCV）に供給
CO ₂ 液化回収技術	前処理設備で分離された高濃度のCO ₂ を含むガスを除湿、圧縮、凝縮し、CO ₂ を液化回収

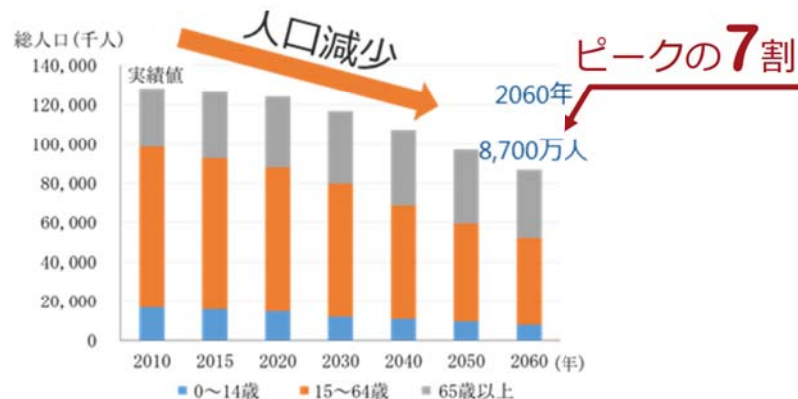
導入効果（試算例）

実証の結果、経費回収年は10.2年（設備の耐用年数は15年）、温室効果ガス排出削減量は1,162kg-CO₂/日（水素を燃料電池自動車（FCV）で使用するにより、ガソリン車が排出する温室効果ガス排出量と比べ約29%削減）と試算

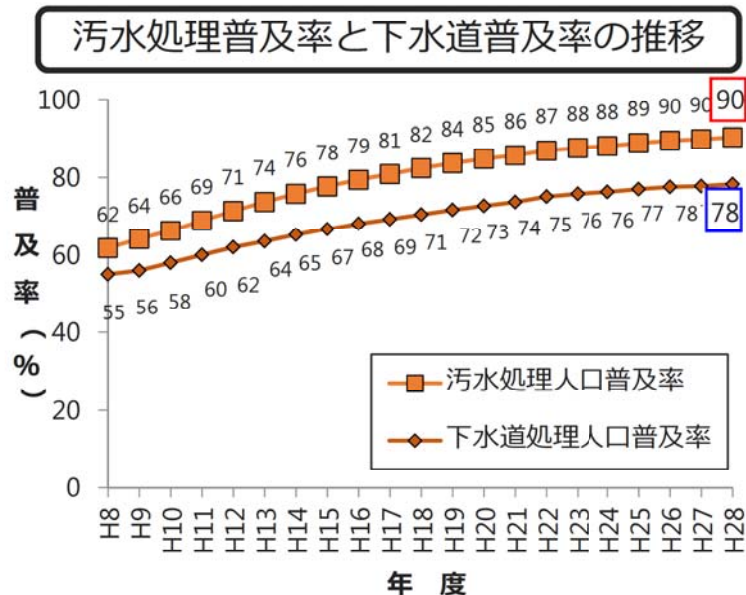
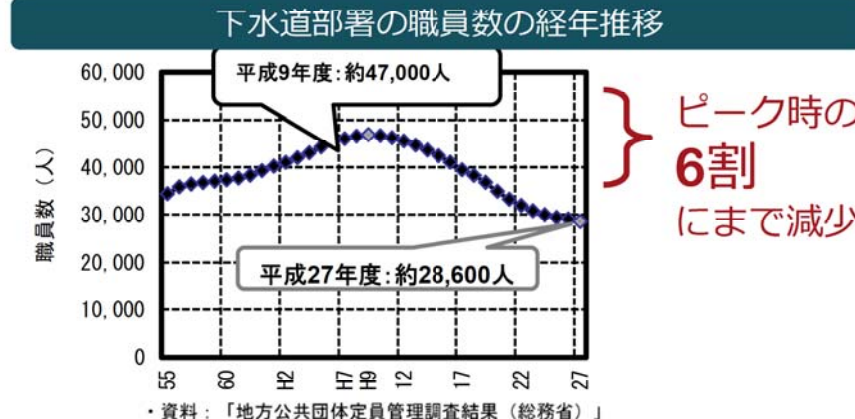


【視点3 人口減少社会への対応と社会還元】背景

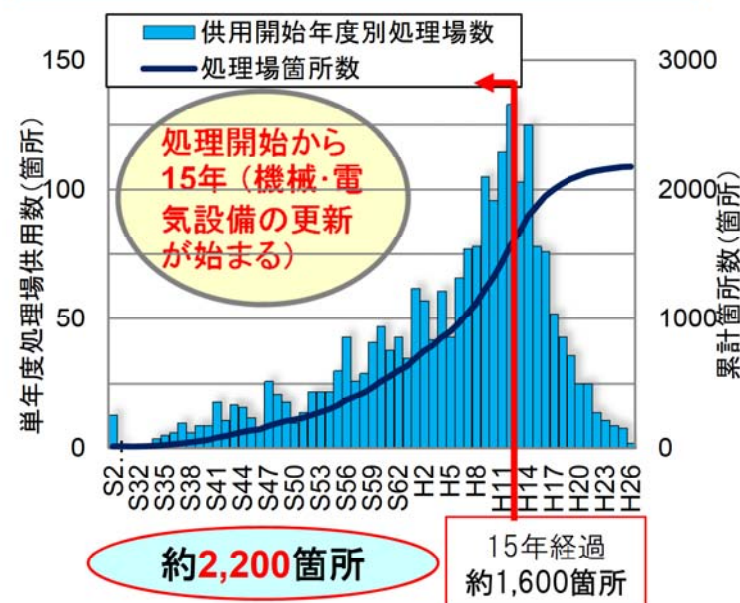
- 汚水処理水量の減少に伴い、汚水処理施設稼働率・運転効率（コスト、エネルギー）が低下
- 下水道使用料収入が減少する一方で、施設老朽化に伴う改築更新需要が増大するとともに、人口減少に伴う社会構造変化による労働力不足の状況



日本の将来推計人口（中位推計）
国立社会保障・人口問題研究所 平成24年1月推計より



処理場の年度別供用箇所数(H26末)



【視点3 人口減少社会への対応と社会還元】 汚水処理システムの最適化

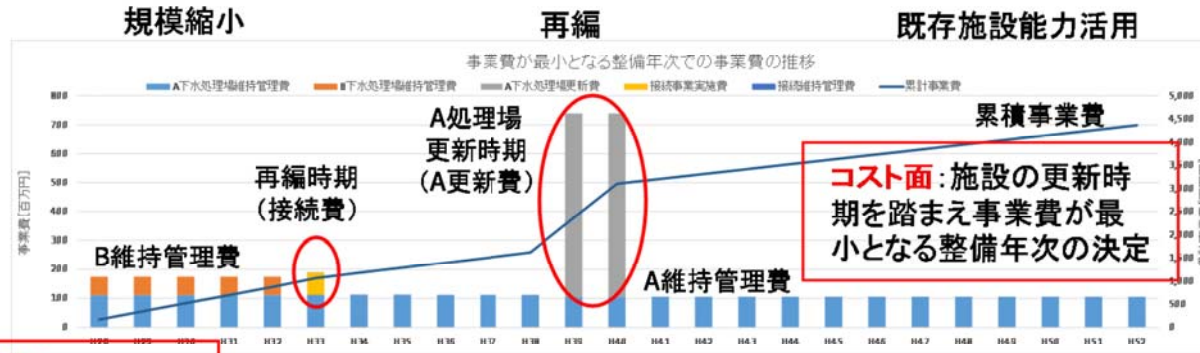
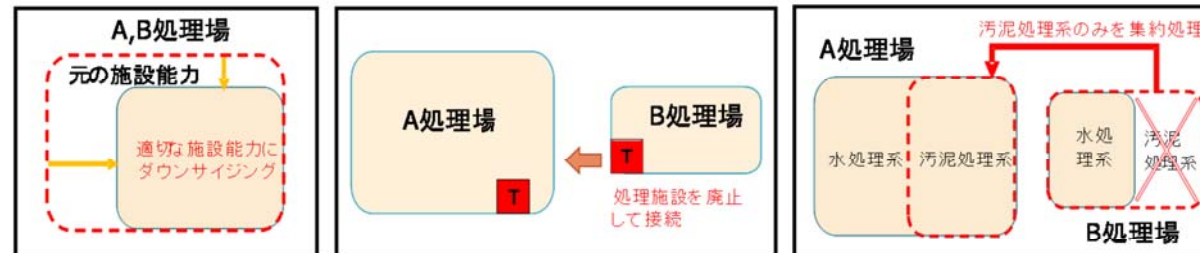
○人口減少等の今後の社会情勢を見据えて、より積極的にエネルギー拠点化等について取り組み、社会還元を進めていく

広域化の可否	効率化の手法	主な効率指標(例)	あてはまる技術・手法
広域化が可能	水処理区域統合	水処理単価(円/m ³)、 エネルギー効率(kWh/m ³)	汚水処理システムの最適化(統合)検討
〃	汚泥のみ集約処理	汚泥処理単価(円/汚泥t)、 エネルギー効率(kWh/汚泥t)	〃
単独の処理区域の方が効率的(区域が離れている等)	水処理をダウンサイジング	水処理単価(円/m ³)、 エネルギー効率(kWh/m ³)	ダウンサイジング可能水処理技術 (担体使用水処理等)
〃	汚泥処理に中小規模向け技術導入	汚泥処理単価(円/汚泥t)、 エネルギー効率(kWh/汚泥t)	肥料化・燃料化に適した脱水・乾燥技術(2液脱水・気流乾燥、自己熱再生ヒートポンプ乾燥)
流域全体での最適化(広域・単独含む)	広域化(統合)の適・不適を踏まえ、最適配置を検討	水処理単価(円/m ³)、 エネルギー効率(kWh/m ³) 資源利用	流域全体での最適化(統合・単独の組合せ)検討

【視点3 人口減少社会への対応と社会還元】 汚水処理システムの最適化

- **流域全体で資源・エネルギー利用も含めた最適化**の検討手法等を事業者提供予定
- 下水処理場の機器仕様や運転状況に基づき、**実態を踏まえ電力消費量試算・削減量検討手法**を提示
- 下水道事業者が**省エネ機器の導入等の対策効果**を定量的に検討可能

仮想都市における整備シナリオ例での試算による評価手法の確認

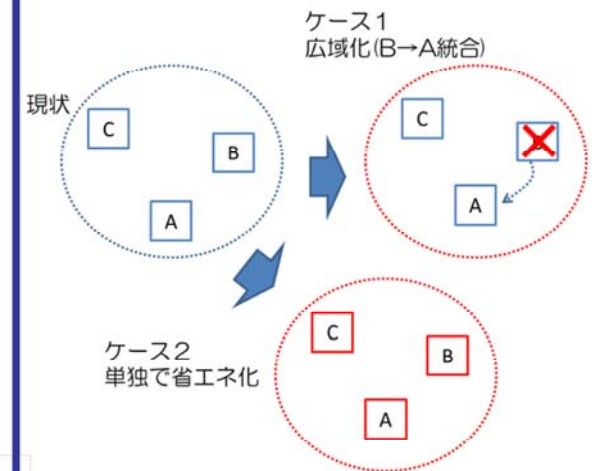


技術面：
課題と対応方策を
チェックリスト化

環境面：エネルギー、
GHG排出量で比較

	消費エネルギー量[千MJ]	温室効果ガスの排出量[t-CO2]
規模縮小	120,473	16,732
再編	108,833	15,116
既存施設能力活用	116,238	16,144

流域全体の最適化
下水処理場広域化における
電力消費最適化の検討

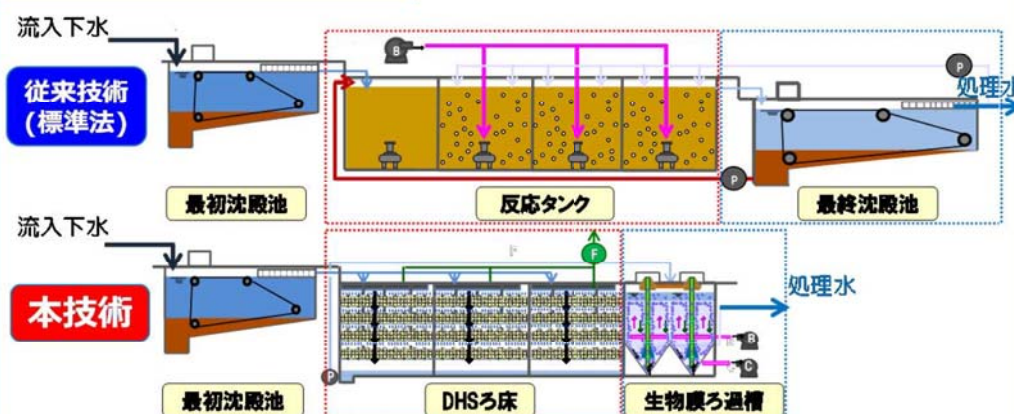


【視点3 人口減少社会への対応と社会還元】ダウンサイジング可能技術

B-DASHプロジェクト「DHSシステムを用いた水量変動追従型水処理技術」(実証中)

- 人口減少等による流入水量減少にあわせて、**改築更新時に水処理規模を縮小が可能**
- 流入水量減少に追従して、**使用電力量が減少**して、**ライフサイクルコストが縮減**

技術の概要



DHSろ床

- ・無曝気で有機分の除去や硝化
- ・流入水量に応じた処理規模の縮減が可能

使用前の
DHS担体



使用中の
DHS担体



生物膜ろ過槽

- ・残留する有機分の除去や硝化、SS除去
- ・流入水量に応じた処理規模の縮減が可能

システムとして
処理水質安定化

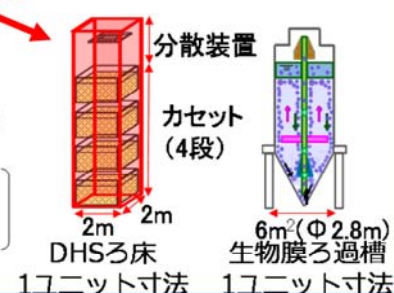


ユニット単位で処理規模 をダウンサイジング可能

処理規模

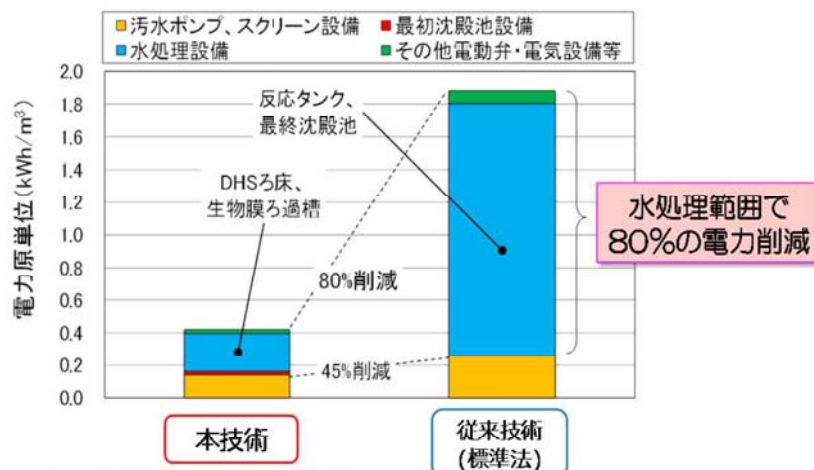
日平均流入汚水量：400 m³/日
(日最大流入汚水量：500 m³/日)

DHSろ床 50 m³/日×10ユニット
生物膜ろ過槽 250 m³/日×2ユニット



導入効果(試算例)

電力削減の試算結果



電力削減の試算内訳



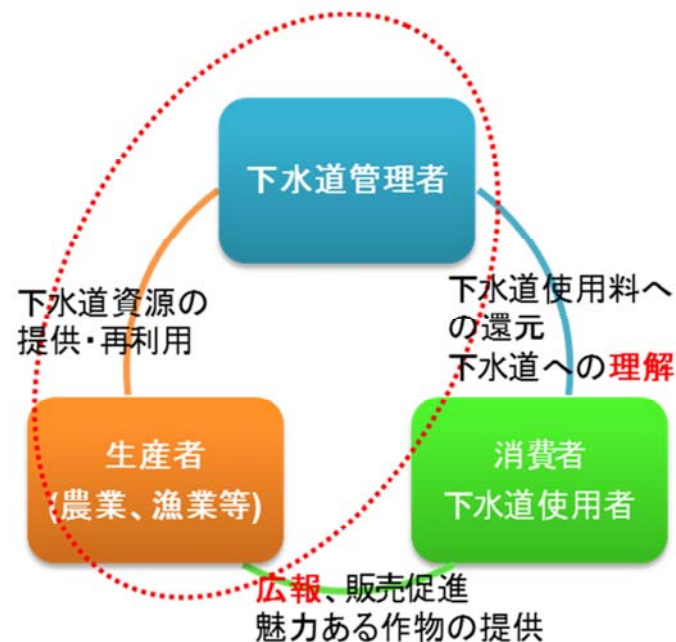
【+α 下水道の印象革命】BISTRO下水道

○下水道の印象革命を推進

BISTRO下水道 食と下水道の連携	戦略の柱・キーワード	
	B	Brand ブランド強化
	I	Innovation イノベーション
	S	Science サイエンス
	T	Theory セオリー
	R	Recipe レシピ
	O	Overseas 海外展開

■BISTRO下水道の考える普及戦略＜種まき理論＞

リーダーが地域のニーズを見極めて「種」をまき、住民と共同で「芽」を育て、美しく咲かせた「花」を皆に見てもらい、地域の財産として「収穫」し、収穫物を全国へと「流通」させていくもの



■ BISTRO下水道推進戦略チーム会合（平成28年12月）

秋田県内の下水汚泥を主原料に製造した汚泥発酵肥料を活用し、県内の稲作農家さんが育てたコシヒカリを使ったきりたんぽでPR



■平成29年4月、下水道広報プラットフォームと連携し、下水汚泥を発酵した肥料で育てた農作物などの「下水道発食材」の愛称を「じゅんかん育ち」に決定



ジャガイモ（八戸市）



アスパラ（佐賀市）



サトウキビ（奄美市）