

下水処理場のエネルギー自立に向けたとりくみ ～海外事例を踏まえて～

「コンサルタントにおける脱炭素の取り組み」講演会

下水道展'22東京 併催企画

2022年8月5日

株式会社NJS
東京総合事務所 環境マネジメント部
ムハンディキ ビクター

1. 背景・キーメッセージ
2. エネルギー自立化の状況（海外）
3. エネルギー自立化の技術・事例（海外）
4. 各国・地域の政策や基準化の動向
5. 国内の下水処理場のエネルギー自立化に向けた提案

1. 背景・キーメッセージ

概要版

下水処理場におけるエネルギー自立化の状況

～海外事例を中心として～

Status of Energy Self-Sufficiency at Wastewater Treatment Plants

令和4年3月

 株式会社NJS

www.njs.co.jp/pdf/ccr_report_digest.pdf



- 本発表は、NJSの2022年3月の技術レポート「下水処理場におけるエネルギー自立化の状況」に基づいている。
- 下水処理場の**エネルギー自立化**を達成している**海外の先進事例**の文献調査を行った。

―― 技術・政策制度・担い手など

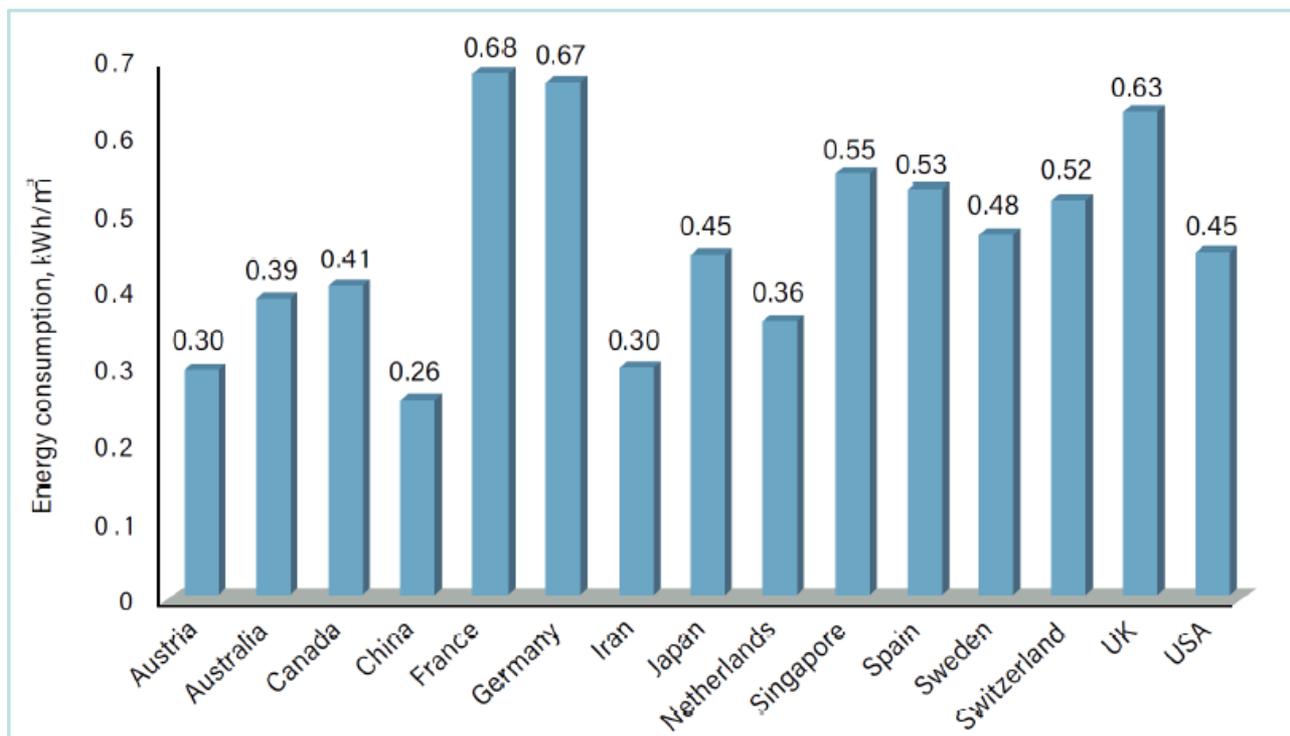
エネルギー自立化の定義：処理場生成エネルギーが総エネルギー消費量の100%以上

※対象とするエネルギー：電力、熱等の利用可能エネルギー全体

- カーボンニュートラルに向けた**国内下水道の取り組みに係る提案事項**を整理した。

※ 「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会」の2050目標に向けての提案である

⇒関係者と広く共有することにより、下水道の**エネルギー自立化**に向けた**検討や議論の素材**として参照いただくことを想定している。

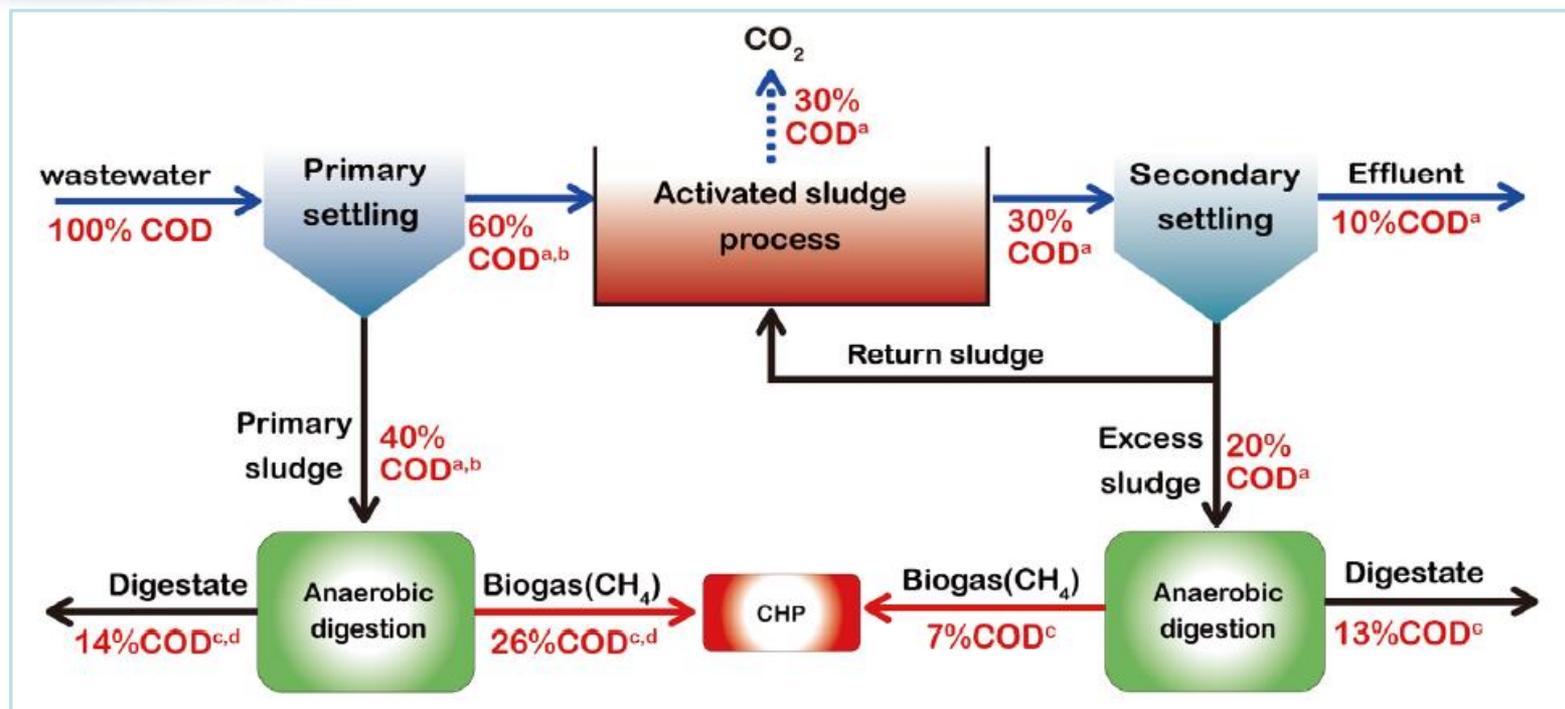


出典 : Liu et al., 2019

- 標準活性汚泥法における消費エネルギー量は平均0.47kWh/m³
- 流入下水 (COD_{Cr}500mg/Lの場合) が持つ化学エネルギーは理論上6,950kgJ/m³=1.93kWh/m³

⇒流入する化学エネルギーは、その処理に使われるエネルギー量の約4~5倍

⇒理論上、流入する化学エネルギーの20~25%を回収できればエネルギーの自立化が達成できる



出典 : Wan et al., 2016

- 標準活性汚泥法では、流入下水の化学エネルギーの約30%が生物処理によってCO₂として放出
- 消化タンクが有る場合で約27%、無い場合で約60%が汚泥として処理・処分
- 消化タンクが有る場合、約33%の化学エネルギーをバイオガスとして回収可能
- しかし、電気エネルギーへの変換効率は35%程度であることから、汚泥の嫌気性消化で回収可能な電気エネルギーは、

$$33 \times 0.35 = 11.6\% \rightarrow \text{流入化学エネルギー} 1.93 \times 0.116 = 0.22 \text{ kWh/m}^3$$

⇒消費エネルギー（電力使用量）の40~50%程度

1. 現在の下水道における「除去」の思想から「エネルギーや資源の回収」というステージに技術パラダイムを進化させていくこと
2. システムのイノベーションやマネジメントに官民の協調体制のもとに民間のリソースを活用すること

2. エネルギー自立化の状況（海外）

エネルギー自立化を達成している 下水処理場の事例（海外）

番号 No.	国 Country	下水処理場 WWTP Name	処理能力 Capacity		取り組み Measures					エネルギー自立 Energy Independence (%)	
			m ³ /d	人口当量 PE	熱電併給 CHP	バイオマス等 の導入 External	太陽光 Solar	風力 Wind	水力 Hydro		火力・ヒートポンプ Thermal/ Heat Pump
1	オーストリア Austria	Plobb-Seefeld							○		100
2		Strass	23,000	145,000	○	○					109
3		Vienna (ebswien kläranlage)	520,000	3,120,000	○		○	○			>100
4		Wolfgangsee-Ischl	19,000		○	○					>100
5	ブルガリア Bulgaria	Sofia Kubratovo	500,000	1,300,000	○						123
6	デンマーク Denmark	Avedøre, Damhusåen & Lynetten	315,000	1,750,000	○		○				173
7		Egaa	20,000	100,000	○						>100
8		Ejby Mølle	51,000	410,000	○					○	180
9		Marselisborg	30,000	220,000	○						153
10	フランス France	Aéris (Cagnes-sur-Mer)		160,000	○		○				>100
11		Aquaviva	86,000	300,000	○		○			○	100
12	ドイツ Germany	Balingen		250,000	○		○		○		>100
13		Köhlbrandhöft/Dradenau	410,000	2,000,000	○	○	○	○			>100
14		Grevesmuhlen	15,000	65,000	○	○					>100
15		Steinhof	60,000	385,000	○	○					>100
16	オランダ Netherlands	Amersfoort		315,000	○	○					>100
17		Tiel	18,000	88,000	○						100
18	ポーランド Poland	Gubin-Guben	12,000	90,000	○		○			○	100
19	スイス Switzerland	Engelberg	12,000		○		○		○		>100
20		Morgental	7,000	35,000	○	○	○	○	○	○	>100
21		Zürich Werdhölzli	254,000		○	○				○	>100
22	イギリス UK	Esholt	280,000	700,000	○				○		>100
23		Seafield	300,000	850,000	○						100
24	米国 USA	Downers Grove Sanitary District	41,600	60,000	○	○				○	
25		EBMUD	636,000		○	○					>100
26		Gloversville-Johnstown	42,000		○	○					100
27		Gresham	49,000		○	○	○	○			100
28		Point Loma	662,000		○	○			○	○	>100
29		Sheboygan Regional	42,000		○	○					100
30		Watosonville	45,000		○	○					>100
31	パレスチナ Palestine	Central Gaza		1,000,000	○		○				100

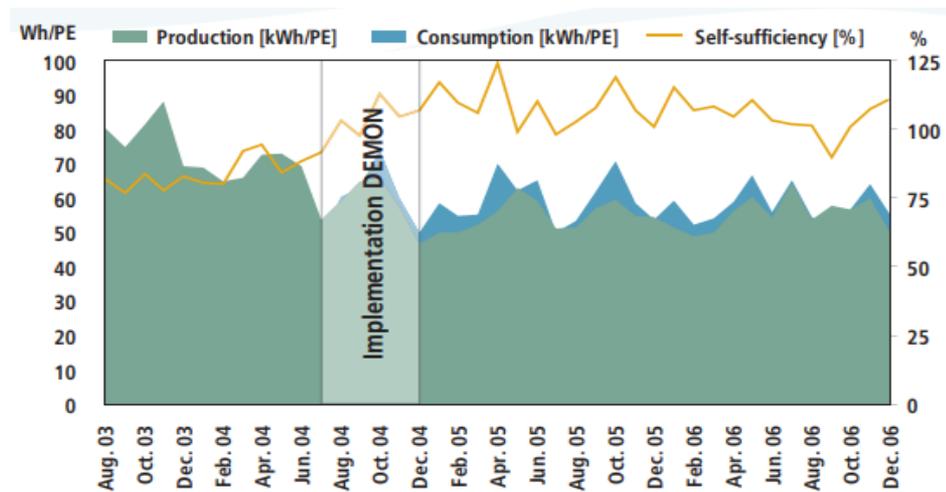
文献調査を行い把握した74箇所の下水処理場のうちエネルギー自立化を達成していた31箇所を掲載

Strass下水処理場（オーストリア）の事例

- 施設運営：Abwasserverband Achenal Inntal-Zillertal
- 処理能力：約45,000m³/d (人口 約25万人相当)
- 水処理の特徴：ABプロセス処理、アナモックス細菌による脱窒処理 (DEMON®)
- エネルギー自立化への取組み：CHP(熱電併給)
- 自立化の状況：2004年DEMON®導入以降に100%達成
- コスト・資源の削減例
 - ⇒汚泥濃縮用薬剤費：50%削減
 - ⇒窒素除去に要するエネルギー費：55%削減 (DO制御、散気効率化)
 - ⇒返流水処理に要するエネルギー消費量：44%削減 (DEMON®の導入)
 - ⇒発電効率：33%⇒40%



出典：WERF



出典：WERF

3. エネルギー自立化の技術・事例 (海外)

エネルギー自立化に向けた技術・事例 (海外事例調査結果) 1/2

2.2 消費エネルギーの削減

2.2.1 省エネ設備への更新

ポンプ設備：モーターの更新、回転制御装置（VFDs）の導入

送風機設備：回転制御装置、省エネ型送風機（Ex. 磁気浮上単段ブロア）導入

攪拌機設備：低速、流入負荷用に応じたON/OFF制御、省エネ型攪拌機
(multiple impellers)

散気装置：超効率散気装置の導入

汚泥脱水設備：省エネ型脱水機への更新

CHP：エネルギー変換効率の高い最新型のCHP設備に更新

2.2.2 運転の最適化による省エネ

設備規模の最適化による省エネ

エアレーション自動制御システムの導入

2.2.3 水処理方法の更新による省エネ

Nitrite shunt 亜硝酸（NO₂）からの脱窒

アナモックス細菌による脱窒処理（脱アンモニア）

膜曝気型生物膜法（Membrane aerated biofilm reactor：MABR）

嫌気型生物膜法（Anaerobic membrane bioreactors：AnMBR）

好気性グラニュール汚泥処理法（Aerobic granular sludge）

エネルギー自立化に向けた技術・事例 (海外事例調査結果) 2/2

2.3 エネルギー回収・効率化	2.3.1 小水力発電 (運動エネルギーの回収)
	2.3.2 ヒートポンプ (熱エネルギーの回収)
	2.3.3 最初沈殿池の高度化 (化学エネルギーの回収)
	2.3.4 ABプロセス処理
	2.3.5 嫌気性消化によるエネルギー回収・高効率化
	最初沈殿池の高度化
	混合消化
	投入汚泥の前処理
	槽内汚泥の凝縮 (Recuperative Thickening)
	その他
	2.3.6 消化ガスの利用方法
2.3.6 消化ガスの利用方法	熱電供給システム Combined heat and power (CHP)
	バイオメタンとして販売
	水素として利用
2.3.7 汚泥焼却発電	
2.3.8 汚泥ガス化	
2.4 その他最新技術による 省エネ・エネルギー回収	2.4.1 生物電気化学システム (Bio-electrochemical systems)
	2.4.2 結合好気-無酸素亜硝酸分解操作 (CANDO)
	2.4.3 微細藻類 (Microalgae)
2.5 再生可能エネルギーの創出	2.5.1 太陽光発電
	2.5.2 風力発電

4. 各国・地域の政策や基準化の動向

欧州

a) EUレベルの政策

欧州委員会は、

- ・ 2050年までに**温室効果ガスの排出を80%以上削減**
- ・ 「**気候中立**」(climate neutral)の**長期戦略を発表**
=>各国で、**下水道セクターとして削減目標を明確にしている国もある**

EUにおいて**バイオガスの導入を促進**させた**政策等**の例

- 1)改正再生可能エネルギー指令(The Revised Renewable Energy Directive, RED II)
- 2)排出量取引指令(Emission Trading System Directive, ETS)
- 3)燃料品質指令(Fuel Quality Directive, FQD)
- 4) 共通農業政策(Common Agricultural Policy, CAP)
- 5) 欧州グリーンディール(The European Green Deal)
- 6)欧州気候法(The European Climate Law)
- 7)"Fit for 55"気候対策パッケージ、等

b) 国家レベルの対策と 支援スキーム

バイオガスによる発電は**FIT**制度や**FIP**制度などにより**支援**

スウェーデンでは、バイオガスの**エネルギー税**と**CO₂税**を**免除**(税制上の優遇措置)

c) 水セクターによる カーボンニュートラルへの コミットメント

Water UK(英国水道会社協会)は、**2030年までにカーボンニュートラル**を実現するという世界初のセクター全体の**コミットメント**を2020年に**発表**

デンマーク議会、同国の**水セクター**が**2030年までにエネルギーニュートラル**と気候中立を実現することを2020年に**決定**

アメリカ	
d)再生可能燃料基準 Renewable Fuel Standard	輸送用化石燃料への際瀬可能燃料の混合を義務付け、様々な燃料カテゴリーごとに義務量を定め、温室効果ガスの削減が図られるように規定されている。
e)農業法 The Farm Bill	バイオ燃料の生産者に補助金を支給するプログラムや、農業や地方の正規の事業者に、再生可能エネルギーの生産とエネルギー効率の改善を促進するための補助金や融資保証を提供するプログラムなどが位置づけられている。
f)州レベルのプログラム	<ul style="list-style-type: none">▶ マサチューセッツ州 Clean Energy Results Program：下水汚泥とその他のバイオマスの混合消化、再生可能エネルギー創出施設の設置等に対して支援している政策である。▶ イリノイ州 The Foundation's Net Zero Energy Wastewater Treatment Program by Clean Energy Community Foundation：下水処理場のエネルギー自立化に向けた設備投資に対し資金援助するものである。
アジア	
g)中国	中国では、2020年9月、温室効果ガス排出量の増加を2030年までに収束させ、2060年までにカーボンニュートラルを達成することを宣言している。 国として下水道セクターに関する具体的な目標は示されていないが、北京で11箇所処理場を持つBeijing Drainage Groupは、2050年までにカーボンニュートラルを達成する計画を発表した。

5. 国内の下水処理場の エネルギー自立化に向けた提案

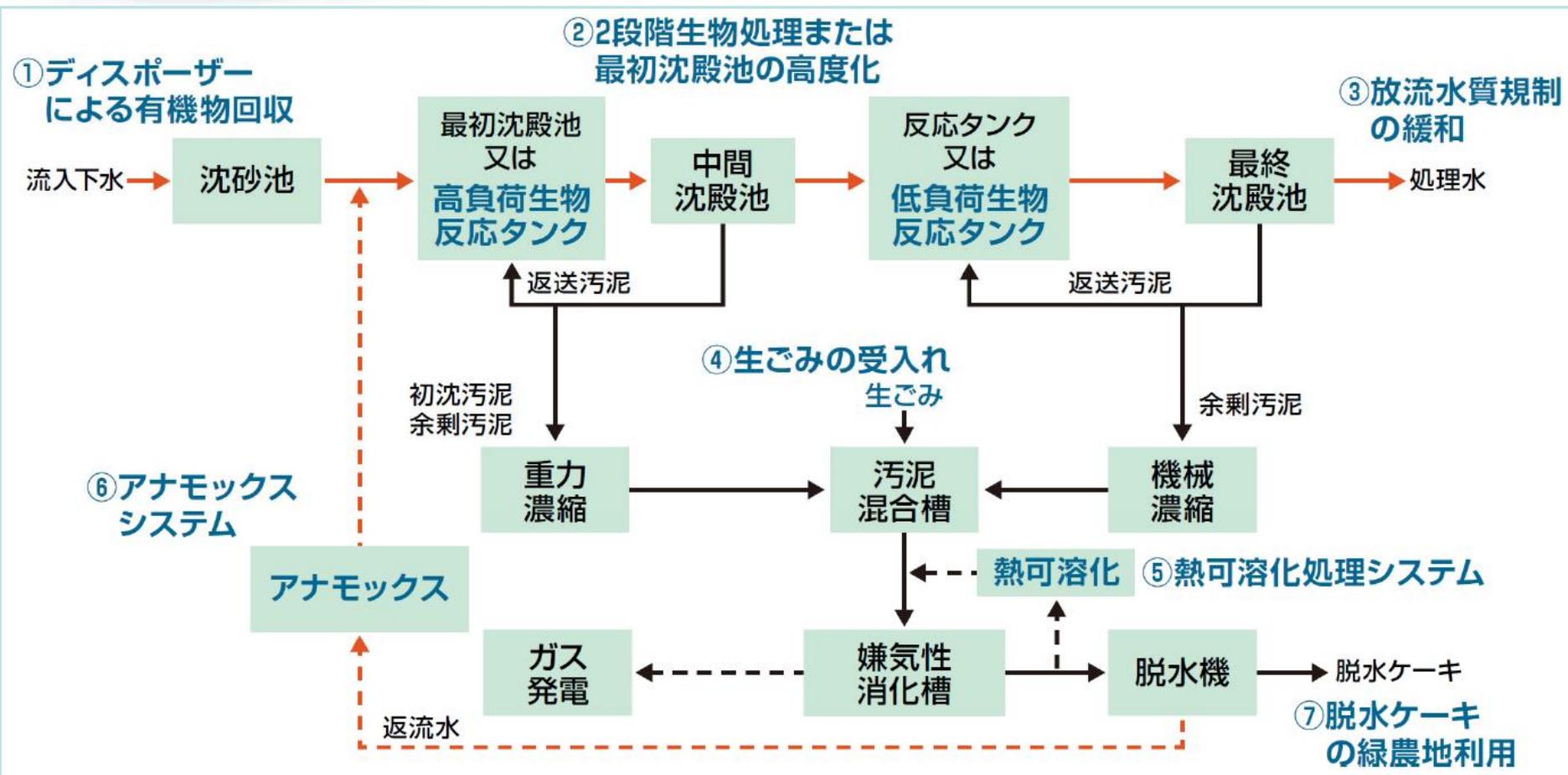
海外と国内の下水道の比較、 国内の下水道への提案 1/2

項目	状況比較		国内の下水道への提案
	海外	国内	
個々の技術	ABプロセス、効率的消化技術等	各メーカー・自治体において導入試験等実績有	特になし
流入水質	<ul style="list-style-type: none"> 規制あり 汚泥系へのバルブ排水受入等の事例有 	<ul style="list-style-type: none"> 排除基準等あり 比較的新鮮な有機物指標であるBOD600mg/L以下 薄めずにし尿受入の事例有 	<ul style="list-style-type: none"> 新鮮な有機物の受入 資源回収時に高濃度を許容するなど流入水質に対する基準（排除基準）の使い分け ⇒有機物を集約するインフラとして下水道の価値が高まる
放流水質	<ul style="list-style-type: none"> 規制有 日本より緩い事例有 例) BOD 米：30mg/L (30日平均) EU：25mg/L (C-BOD) 	<ul style="list-style-type: none"> 下水道法・下水道法施行令等の規制有 例) BOD 15mg/L (構造上の基準) 	<ul style="list-style-type: none"> 放流基準上限を狙った運営管理（センサーの利用等） 省エネと水質確保との二軸管理の充実 ⇒省エネも目的化
運転管理 (初沈)	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー自立化を目指す処理場では、新鮮な有機物を素早く回収する方針（凝集剤添加、ABプロセス） 	<ul style="list-style-type: none"> 初沈で有機物をなるべく除去しない方針（反応槽に有機物源を供給） 	<ul style="list-style-type: none"> 初沈で有機物を多く確保 OD法への初沈・嫌気性消化の導入 ⇒早めに新鮮な有機物を確保する

海外と国内の下水道の比較、 国内の下水道への提案 2/2

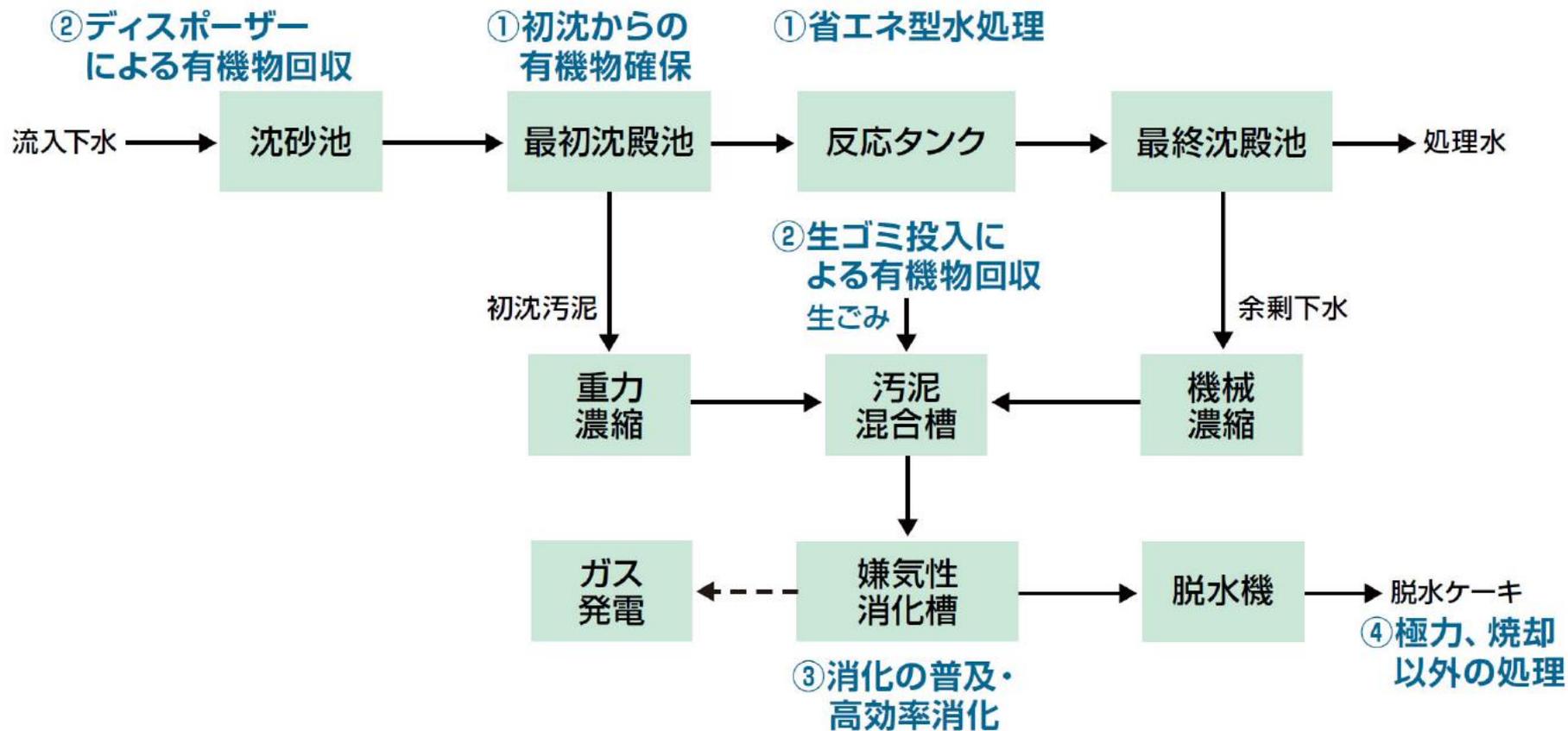
項目	状況比較		国内の下水道への提案
	海外	国内	
運転管理 (反応槽・ 放流水)	<ul style="list-style-type: none"> ・病原性細菌の除去のため、活性炭、UVの導入 ・塩素を使わない（トリハロメタン対策） 	<ul style="list-style-type: none"> ・閉鎖性水域におけるN,P,CODの総量規制などの放流基準を超過しないよう安全運転第一試験等実績有 	<ul style="list-style-type: none"> ・四次元流総：きめ細かい水域管理（帰省の多様化） ・高濃度処理と省エネ運転の組合せ、反応タンクSRTを短くする運転
汚泥処理	<ul style="list-style-type: none"> ・緑農地利用が多く、焼却処理の割合が小さい ⇒エネルギー消費量少 	<ul style="list-style-type: none"> ・減量化が第一であり、焼却処理が比較的多い ⇒エネルギー消費量大 	<ul style="list-style-type: none"> ・緑農地の推進 ⇒焼却を行わない処理場として省エネ化を進める
他バイオマス 受入	<ul style="list-style-type: none"> ・積極的受入 ・米：デイスポージャー普及率が高い ・EU：生ごみ受入 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃掃法により廃棄物の受け入れ時は廃棄物処理施設としての届出が必要 ・水処理安定運転を第一としており受入が進まない 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃掃法の柔軟化 ⇒生活環境影響評価を不要とする等、廃棄物行政と下水道行政の連携を強化

海外におけるエネルギー自立化への 取組パターン



日本への適用案

- (1) 省エネ型水処理を行う（標準活性汚泥法の見直し）
- (2) 有機物の回収と有機物からのエネルギー回収を行う



- 技術不足という課題以上に、現在の下水道における「除去」の思想から「エネルギーや資源の回収」というステージに技術パラダイムを進化させていくことが、最も大きな課題だと考えられる。

ご清聴どうもありがとうございました。

Thank you very much.