

1. 国内における公共下水道の変遷

世界の主要大都市では古くから生活や生産で使い終わった水を、排水路を通じて流す下水道が整備されてきた。産業革命以降、都市人口の増加に伴って増えたし尿（排泄物）を処理しきれず、衛生状態悪化の原因として問題視され始めた。そのため 19 世紀中頃にはコレラ対策として遮断下水道を始めたロンドンを皮切りに、欧米において下水への取り組みが本格的に行われるようになった。

当初は排水をそのまま河川に放流することが一般的だったが、その後、20 世紀に入ってから排水中の汚染物質である有機物除去を目的として、微生物を用いた下水処理技術（活性汚泥法）が考案され、河川を汚さずに排水を放流することが可能となった。

わが国においてし尿は、農業利用（肥料化）が広く行われてきたが、明治時代以降は欧米と同じく都市人口の増加により、処理されていない汚水（し尿を含む排水）が原因で水環境が悪化するようになった。国内でも明治時代半ば（1884 年）に初めて近代的な下水道が作られて以降、産業の発展に伴う都市人口の拡大を背景として、下水道整備が進められてきた。そして現在の下水道普及率は約 8 割に及ぶ（国交省データ平成 28 年度末）。また、大正時代（1922 年）に日本初の下水処理場が完成した後、全国各地に下水処理施設が作られており、現在は約 2,200 カ所が供用されている（国交省データ平成 27 年度末）。

このように日本における下水処理技術は有機物の除去から始まったが、昭和 30 年（1955 年）頃から高度経済成長の陰で工場排水などの増大による水質悪化が顕著となり、河川、湖沼、海域の水質汚濁防止も求められるようになった。更に窒素、リンなどの栄養塩類による富栄養化によって閉鎖性水域の水質汚濁が問題となり、通常の下水処理に比べ浄化能力が高い高度処理が求められるようになった。高度処理された水は公園の修景水、トイレ用水などの中水道等として有効利用が図られている。

下水処理工程では、送水に必要なポンプや排水中の有機物を処理するため微生物に酸素を供給する散気装置など様々な機器を使用しており、多大な電力消費を伴う。わが国において下水処理で消費する電力量は約 70 億 kWh/年（国内消費の約 0.7%）に上り、温室効果ガスの排出量に換算すると約 662 万 t-CO₂/年（国内における排出量の約 0.5%）を占めており（国交省データ平成 23 年）、業界全体として消費電力量低減に取り組んでいる。具体的には高効率なモータを搭載したポンプや送風機等の採用による省エネルギー化のほか、下水処理で発生する汚泥（下水汚泥）には生物資源が多量に含まれていることからバイオマスエネルギーの有効利用として汚泥消化ガス発電、汚泥燃料化等が行われている。

また近年、地球温暖化対策に加えてマイクロプラスチック（粒径 5mm 以下）による海洋汚染が環境課題として深刻視されており、洗濯排水中の合成繊維くずや化粧品等に含まれ

るマイクロビーズなどが家庭排水から下水道に集約される。そして、下水処理施設においてその9割が除去されるとされている。しかし下水処理過程で排出される汚泥には捕集されたマイクロプラスチックが含まれ、海洋投棄や安易な埋立てでは最終的に海洋へ流出してしまう。そこで、下水処理全体での最適処理方法の構築が求められている。一方、捕集しきれない処理水中に含まれるマイクロプラスチックは微小且つ極めて軽く、環境中で分解されにくいいため、河川・海洋に放出されてしまっている。今後はさらに微細なマイクロプラスチックまで捕集可能な新たな技術開発が求められる可能性がある。

一方、日本国内では下水処理施設が充実し水質浄化が進みすぎて、ノリの養殖に必要な窒素分が不足するなど、沿岸環境が汚染以前の生態系に戻らない現象が起きている。単に浄化技術の高度化を求めることなく生態系との調和が求められている時代となっている。

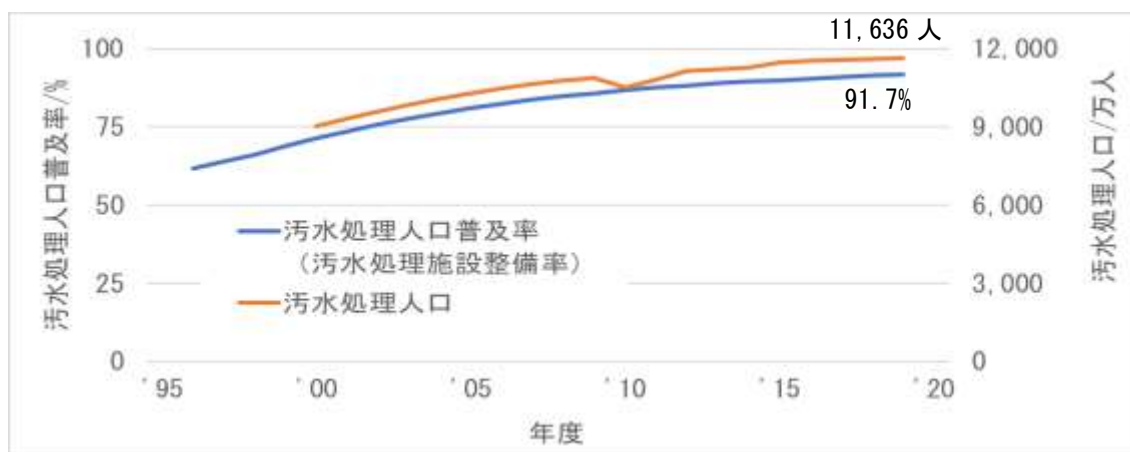


図1. 汚水処理人口普及率の推移 (出典：国土交通省)

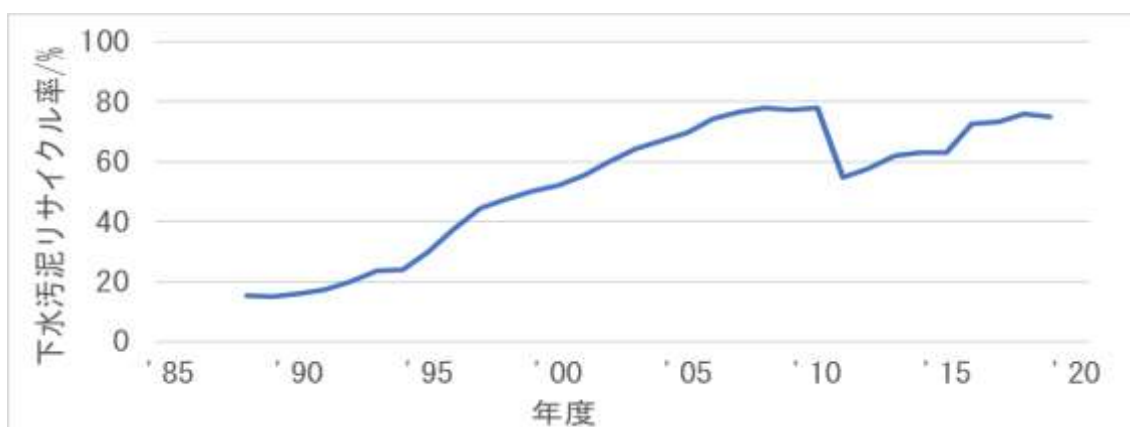


図2. 下水汚泥リサイクル率[※]の推移 (出典：国土交通省)

※緑農地利用や建設資材利用など、下水汚泥をリサイクル（資源化）する割合

下水汚泥リサイクル率 = 下水汚泥有効利用量 / 下水汚泥総発生量 × 100% (乾燥重量)

有機分：エネルギー利用（バイオガス、固形燃料利用等）、緑農地利用（肥料、土壌改良剤等）

2. 国内下水道技術による環境負荷低減効果

発展途上国においては、下水処理施設が未整備の地域も多く、現在もラグーンと呼ばれる「ため池」や「腐敗槽」と呼ばれる簡易的な二層式のタンクに生活排水を流し、自然分解させる手法が広く取られている。腐敗槽においては土壌浸透による病原菌汚染が指摘されているほか、生活排水中に含まれる有機分は微生物の力により次第に分解し、温室効果ガスの一つであるメタンガス（CH₄）を大気に排出する。さらに排水中には窒素分が含まれるためメタンよりも温暖化係数の高い亜酸化窒素（N₂O）が発生するため、衛生的な観点だけでなく環境面でも適切な処理が求められている。前述のマイクロプラスチックもそのまま放流されてしまう。

そこで有機分や窒素分などの低減を目的に下水処理の普及が進められている。その一つとして、わが国で広く行われている標準活性汚泥法を例に取り、水質浄化と温室効果ガス削減技術について、以下にその貢献度の試算を示す。また、人口増加が世界的潮流にある中で水資源の確保が世界的な課題となっており、水質浄化と再生水の利用を軸とした水資源の有効利用についても併せて算出する。

例として、人口 20 万人で下水道普及率 5%の地域をモデルに、日本の高度処理付加の省エネ型活性汚泥法や汚泥消化ガス発電を導入し、さらに食品残さ等の地域のバイオマス資源を受け入れる設備を稼働させた場合に削減出来る温室効果ガス及び水の使用量の削減について算出する（算出根拠は巻末）。

なお、下水道普及率とは対象とする地域の全人口のうち下水道に下水を流すことが出来る区域の人口の割合を示すものである。ここで、下水はトイレ排水（し尿）と台所・風呂等の生活排水（雑排水）に大別される。下水処理施設においては下水全般を処理するのに対し、下水処理施設が整備されていない区域では、し尿のみを対象とする（単独）浄化槽や腐敗槽が広く使用されており、雑排水は無処理のまま河川等に放流されることも多い。また、下水道管が敷設されている区域でも下水処理を経ずに、そのまま河川等に放流されている場合もあり、下水道処理人口普及率が高くても下水処理率が低い地域も存在する。この試算においては現況ケースでは下水道普及地域では生活排水をラグーンに流して自然分解させる処理が行われることを想定する。下水道未普及地域ではし尿のみを腐敗槽に流すものとし、し尿以外の雑排水は河川にそのまま放流されるものとする。腐敗槽ではし尿等をタンクに集め上澄みのみを河川に放流する仕組みとなっているため、汚濁物質は半分程度除去される。

まず、現況ケースでは人口 20 万人のうち、下水道普及率が 5%とすると、1 万人は下水をラグーンへ流し自然分解される。一方で残りの 95%にあたる 19 万人はし尿を腐敗槽に流す。環境省「浄化槽管理者への設置と維持管理に関する指導・助言マニュアル」によると、下水は一人あたり 200L/日発生し、そのうち、し尿は 50L/日である。したがって、現況ケースでは下水とし尿、その他の生活排水（雑排水）が次のとおり発生する。

①現況ケースでの下水の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 200 \text{ [L/日・人]} \times 10,000 \text{ [人]} (=200,000 \text{ [人]} \times 5\%) \times 10^{-3} = 2,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \end{aligned}$$

②現況ケースでのし尿の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 50 \text{ [L/日・人]} \times 190,000 \text{ [人]} (=200,000 \text{ [人]} \times 95\%) \times 10^{-3} = 9,500 \text{ [m}^3\text{/日]} \end{aligned}$$

③現況ケースでの雑排水の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 150 \text{ [L/日・人]} \times 190,000 \text{ [人]} (=200,000 \text{ [人]} \times 95\%) \times 10^{-3} = 28,500 \text{ [m}^3\text{/日]} \end{aligned}$$

ラグーンは大きなため池で下水中の汚濁物質等を自然分解し浄化するため、その際にメタン（CH₄）や亜酸化窒素等（N₂O）の温室効果ガスが発生する。また、腐敗槽においても汚濁物質が50%は除去されるが、排出される残りの50%は自然分解されるため、同様に温室効果ガスが発生する。また、その他の生活排水は未処理のまま河川に流出するため、温室効果ガスが発生する。温室効果ガス発生量を算出するにあたり、環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第4部 廃棄物分科会報告書」を基に排出汚水中の有機物及び窒素量を求める。汚水中の汚濁物質（有機物）の量はBODで表し、一人当たりでは下水全体で40g/日、し尿のみでは13g/日とする。窒素量は下水全体で10g/日、し尿のみで8g/日とする。

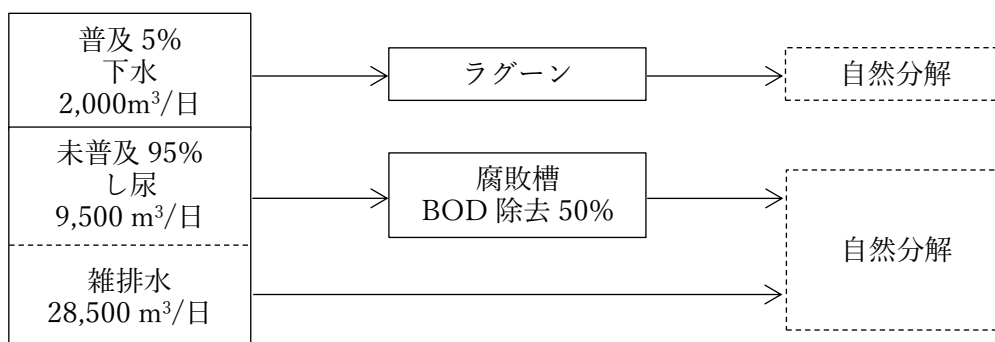


図3. 現況ケースの下水・し尿処理状況

④現況ケースで下水・し尿・雑排水が自然分解する時に発生する CH₄

$$\begin{aligned} & \text{有機物量} \times \text{排出係数} \times \text{地球温暖化係数} \\ & = (40 \text{【g/人・日】} \times 10,000 \text{【人】} + 13 \text{【g/人・日】} \times 190,000 \text{【人】} \times 1/2 \\ & \quad + 27 \text{【g/人・日】} \times 190,000 \text{【人】}) \times 0.06 \text{【kgCH}_4\text{/BOD】} \times 28 \text{【tCO}_2\text{/tCH}_4\text{】} \\ & = 11.365 \text{【tCO}_2\text{/日】} \end{aligned}$$

⑤現況ケースで下水・し尿・雑排水が自然分解する時に発生する N₂O

$$\begin{aligned} & \text{窒素量} \times \text{排出係数} \times \text{地球温暖化係数} \\ & = (10 \text{【gN/人・日】} \times 10,000 \text{【人】} + 8 \text{【gN/人・日】} \times 190,000 \text{【人】} \\ & \quad + 2 \text{【gN/人・日】} \times 190,000 \text{【人】}) \times 0.0079 \text{【kgN}_2\text{O/kgN】} \times 265 \text{【tCO}_2\text{/tN}_2\text{O】} \\ & = 4.187 \text{【tCO}_2\text{/日】} \end{aligned}$$

⑥現況ケースで下水・し尿・雑排水から発生する温室効果ガス

$$\begin{aligned} & \text{メタンガス} + \text{亜酸化窒素} \\ & = \text{④}11.365 \text{【tCO}_2\text{/日】} + \text{⑤}4.187 \text{【tCO}_2\text{/日】} = 15.552 \text{【tCO}_2\text{/日】} \\ & 15.552 \text{【tCO}_2\text{/日】} \times 365 \text{【日/年】} = 5,677 \text{【tCO}_2\text{/年】} \end{aligned}$$

したがって、年間で5,000トン以上の温室効果ガスが発生すると見積られる。

これに対し、日本の高度処理付加の省エネ型活性汚泥法と汚泥消化ガス発電を導入し、さらに食品残さ等の地域のバイオマス資源を受け入れる設備を稼働させた場合の温室効果ガス発生量を算出する。人口20万人のうち、下水道普及率が50%とすると、10万人は下水を下水道管へ流し、下水処理施設で処理させる。一方で残りの50%にあたる10万人は現況ケースと同様にし尿のみを腐敗槽に流す。したがって、モデルケースでは下水とし、雑排水・し尿が次のとおり発生する。

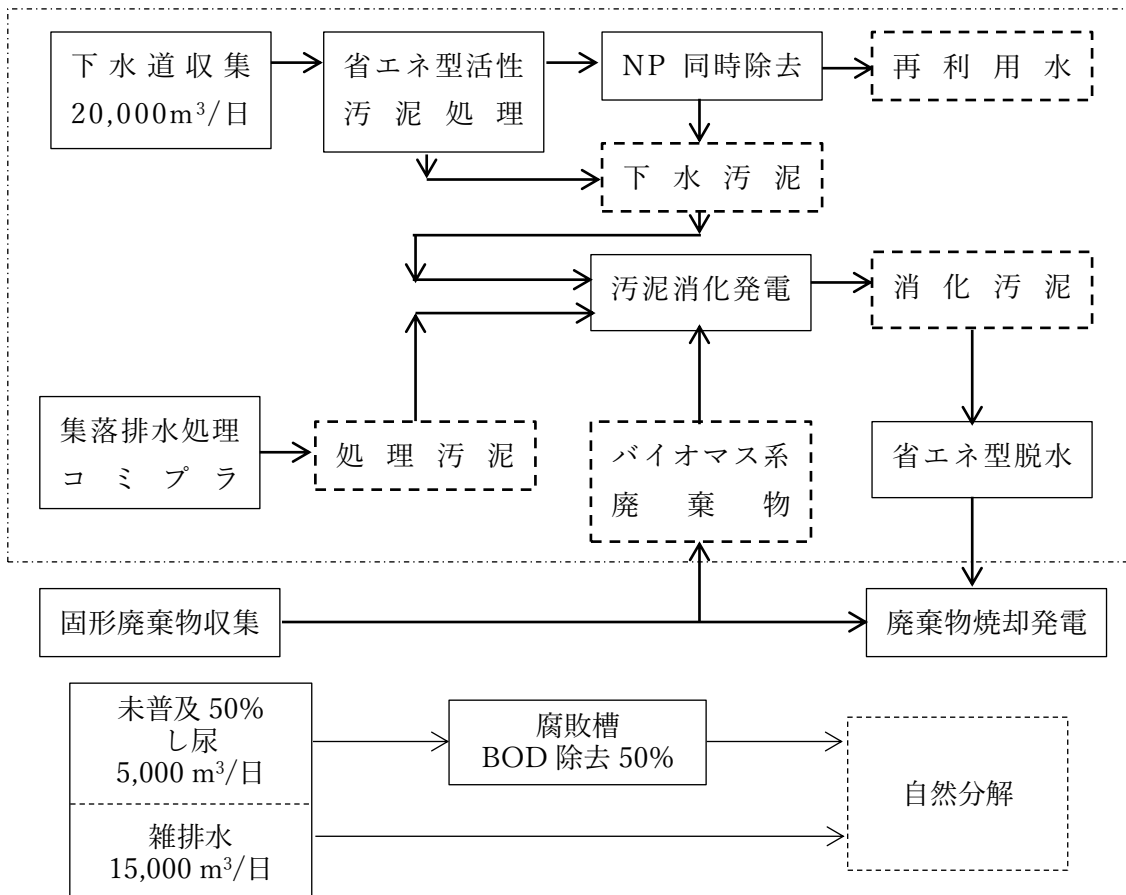


図4. モデルケースの下水・し尿処理状況

⑦モデルケースでの下水の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 200 \text{【L/日・人】} \times 100,000 \text{【人】} (=200,000 \text{【人】} \times 50\%) = 20,000 \text{【m}^3\text{/日】} \end{aligned}$$

⑧モデルケースでのし尿の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 50 \text{【L/日・人】} \times 100,000 \text{【人】} (=200,000 \text{【人】} \times 50\%) = 5,000 \text{【m}^3\text{/日】} \end{aligned}$$

⑨モデルケースでの雑排水の発生量

$$\begin{aligned} & \text{生活排水の原単位} \times \text{人口} \\ & = 150 \text{【L/日・人】} \times 100,000 \text{【人】} (=200,000 \text{【人】} \times 50\%) = 15,000 \text{【m}^3\text{/日】} \end{aligned}$$

腐敗槽での温室効果ガス発生のほか、下水処理場でも処理の過程でメタンや亜酸化窒素は発生し、その発生量は処理水量に比例するとする。

⑩モデルケースで下水・し尿・雑排水から発生する CH₄

$$\begin{aligned}
 & (\text{下水処理量} \times \text{排出係数} + \text{し尿の有機物量} \times \text{排出係数} \\
 & + \text{雑排水の有機物量} \times \text{排出係数} + \text{処理水中の有機物量} \times \text{排出係数}) \\
 & \times \text{地球温暖化係数} \\
 = & (20,000 \text{ [m}^3/\text{日}] \times 0.00088 \text{ [kgCH}_4/\text{m}^3] \\
 & + 13 \text{ [g/人} \cdot \text{日]} \times 100,000 \text{ [人]} \times 1/2 \times 0.06 \text{ [kgCH}_4/\text{BOD]} \\
 & + 27 \text{ [g/人} \cdot \text{日]} \times 100,000 \text{ [人]} \times 0.06 \text{ [kgCH}_4/\text{BOD]} + 20,000 \text{ [m}^3/\text{日}] \\
 & \times 15 \text{ [mg/L]} \times 0.06 \text{ [kgCH}_4/\text{BOD]}) \times 28 \text{ [tCO}_2/\text{tCH}_4] \\
 = & 6.625 \text{ [tCO}_2/\text{日}]
 \end{aligned}$$

⑪モデルケースで下水・し尿・雑排水から発生する N₂O

$$\begin{aligned}
 & (\text{下水処理量} \times \text{排出係数} + \text{し尿の窒素量} \times \text{排出係数} \\
 & + \text{雑排水の窒素分} \times \text{排出係数} \\
 & + \text{処理水中の窒素量} \times \text{排出係数}) \times \text{地球温暖化係数} \\
 = & (20,000 \text{ [m}^3/\text{日}] \times 0.00016 \text{ [kgN}_2\text{O/m}^3] \\
 & + 8 \text{ [gN/人} \cdot \text{日]} \times 100,000 \text{ [人]} \times 0.0079 \text{ [kgN}_2\text{O/kgN]} \\
 & + 2 \text{ [gN/人} \cdot \text{日]} \times 100,000 \text{ [人]} \times 0.0079 \text{ [kgN}_2\text{O/kgN]} \\
 & + 20,000 \text{ [m}^3/\text{日}] \times 12 \text{ [mg/L]} \times 0.0079 \text{ [kgN}_2\text{O/kgN]}) \times 265 \text{ [tCO}_2/\text{tN}_2\text{O}] \\
 = & 3.444 \text{ [tCO}_2/\text{日}]
 \end{aligned}$$

⑫モデルケースで下水・し尿・雑排水から発生する温室効果ガス

$$\begin{aligned}
 & \text{メタンガス} + \text{亜酸化窒素} \\
 = & \text{⑩}6.625 \text{ [tCO}_2/\text{日}] + \text{⑪}3.444 \text{ [tCO}_2/\text{日}] = 10.069 \text{ [tCO}_2/\text{日}] \\
 & 10.069 \text{ [tCO}_2/\text{日}] \times 365 \text{ [日/年]} = 3,675 \text{ [tCO}_2/\text{年}]
 \end{aligned}$$

したがって、年間で4,000トン弱の温室効果ガスが発生すると見積もられる。

次に、下水処理で発生する汚泥と合わせて食品残さ・浄化槽汚泥等の地域バイオマスを受け入れて消化ガス化発電を行うことで得られる電気量を算出する。下水汚泥は下水を水処理施設で処理する際に発生する有機物の塊であり、その発生量は下水水量に比例する。ここでは国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—平成29年度版—」を基に下水から発生する下水汚泥量を算出し、併せて地域バイオマスを受け入れて消化ガス化発電を行うことで得られる電力量を求める。

発生する汚泥は処理工程により最初沈殿池汚泥（生汚泥）と余剰汚泥と2種類に分けられ、それぞれの発生量は下水水量20,000m³/日では次のとおりとなる。

⑬モデルケースで下水から発生する生污泥

- 生污泥(乾燥重量) : (流入 SS (SS : 懸濁物質) - 反応槽流入 SS) × 下水量
= (180【mg/L】 - 90【mg/L】) × 20,000【m³/日】 × 10⁻³
= 1,800【kgds/日】
- 生污泥(湿重量) : 生污泥(乾燥重量) ÷ (100 - 濃縮生污泥含水率) / 100
= 1,800【kgds/日】 ÷ (100 - 97)/100
= 60,000【kgwt/日】

⑭モデルケースで下水から発生する余剰污泥

- 余剰污泥(乾燥重量) :
(a × 反応槽流入 S-BOD + b × 反応槽流入 SS - c × HRT/24 × MLSS) × 下水量
= (0.5 × 93【mg/L】 + 0.95 × 90【mg/L】 - 0.04 × 8/24 × 1,500【mg/L】)
× 20,000【m³/日】 × 10⁻³
= 2,240【kgds/日】
 - 余剰污泥(湿重量) : 余剰污泥(乾燥重量) ÷ (100 - 濃縮余剰污泥含水率) / 100
= 2,240【kgds/日】 ÷ (100 - 96) / 100
= 56,000【kgwt/日】
- a : S-BOD(溶解性 BOD)の污泥転換率 (=0.5)、b : SS の污泥転換率 (=0.95)、
c : 自己分解率 (=0.04)、HRT : 滞留時間 (=8)、MLSS : 活性污泥浮遊物質 (=1,500)

⑮モデルケースで下水から発生する污泥量

生污泥 + 余剰污泥
発生污泥量(乾燥重量) : 1,800【kgds/日】 + 2,240【kgds/日】 = 4,040【kgds/日】
発生污泥量(湿重量) : 60,000【kgwt/日】 + 56,000【kgwt/日】 = 116,000【kgwt/日】

したがって、下水污泥発生量は乾燥重量で4t、水分を含んだ湿重量で116tとなる。
発生した下水污泥を消化発酵させバイオガスを発生させると、次のとおり約1,800(Nm³/日)が得られる。なお、消化発酵した後の污泥を消化污泥と言い、脱水処理後の脱水污泥量は13t弱となる。

⑯モデルケースで下水污泥を消化ガス化することで得られるバイオガス量

発生污泥量(湿重量) × 固形物濃度 × 有機物濃度 × ガス転化量
= 116,000【kgwt/日】 × 3.5% × 80% × 0.550【Nm³/kgVS】
= 1,786【Nm³/日】 ※バイオガス濃度 : 60%

⑰モデルケースで下水汚泥を消化ガス化した際に発生する消化汚泥量

$$\begin{aligned} & \text{発生汚泥量(乾燥重量)} \times (1 - \text{有機物濃度}/100 \times \text{消化率}/100) / (1 - \text{含水率}/100) \\ & = 4,040 \text{【kgds/日】} \times (1 - 80/100 \times 50/100) / (1 - 81/100) \\ & = 12,758 \text{【kgwt/日】} \end{aligned}$$

同様に地域バイオマスを受け入れて消化ガス化をした際に得られるバイオガス及び発生する消化汚泥の脱水汚泥量を算出する。今回生ごみ相当の地域バイオマスを下水汚泥の10%投入すると仮定すると、次のとおりとなる。

⑱モデルケースで地域バイオマスを消化ガス化することで得られるバイオガス量

$$\begin{aligned} & \text{投入汚泥量(湿基準受入れ量} \times (100 - \text{異物割合})) \times \text{固形物濃度} \times \text{有機物濃度} \times \text{ガス転化量} \\ & = 116,000 \text{【kgwt/日】} \times 10\% \times (100 - 10)/100 \times 22\% \times 94\% \times 0.74 \\ & \quad \text{【Nm}^3\text{/kgVS】} \\ & = 1,598 \text{【Nm}^3\text{/日】} \quad \text{※バイオガス濃度：60\%} \end{aligned}$$

⑲モデルケースで地域バイオマスを消化ガス化した際に発生する消化汚泥量

$$\begin{aligned} & \text{投入汚泥量(乾燥基準受入れ量} \times (100 - \text{異物割合})/100) \\ & \times (1 - \text{有機物濃度}/100 \times \text{消化率}/100) \div (1 - (100 - \text{固形物濃度})/100) \\ & = 116,000 \text{【kgwt/日】} \times 10\% \times 22\% \times (100 - 10)/100 \\ & \quad \times (1 - 94/100 \times 80/100) \div (1 - (100 - 81)/100) \\ & = 2,998 \text{【kgwt/日】} \end{aligned}$$

また、下水処理施設ではポンプのほか、有機物を分解するために使用する空気を送る送風機、攪拌機、発生した汚泥を脱水する脱水機等で電気を使用する。電気を消費する際は発電所由来の二酸化炭素排出を考慮する必要がある。ここでは(公財)日本下水道新技術機構「活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料」を基に下水処理量 20,000 m³/日での消費電力量を近似式により内挿で求め、温室効果ガス排出量を算出した。なお、下水処理施設は水処理施設と汚泥処理施設、ポンプ場に大きく分かれており、水処理施設では消費電力量の約 60%を占める送風設備の省エネ化をもって算出した。また、汚泥処理施設は省エネ化により 4%の消費電力量が低減されるとして算出した。なお、消化ガス化発電に伴う消費電力量は水処理施設及び汚泥処理施設、ポンプ場での消費電力量の合計と比べて無視出来るため、算出対象としていない。

表 1. 活性汚泥法における省エネルギー化技術導入前後の消費電力量（水処理施設）

処理水量	m ³ /日	10,000	40,000	100,000	20,000 (モデル)
消費電力量（従来型） (うち、送風設備)	kWh/年	771,082 (467,434)	2,538,252 (1,754,180)	6,123,698 (4,420,296)	-
消費電力量（省エネ型） (うち、送風設備)	kWh/年	645,288 (341,640)	1,708,252 (924,180)	4,016,042 (2,312,640)	991,398

表 2. 活性汚泥法における省エネルギー化技術導入前後の消費電力量（汚泥処理施設）

処理水量	m ³ /日	10,000	40,000	100,000	20,000 (モデル)
脱水汚泥量※	kgwt/日	9,182	36,727	91,818	15,756
消費電力量（従来型）	kWh/年	136,963	455,016	907,451	-
消費電力量（省エネ型）	kWh/年	131,484	436,815	871,153	209,379

※汚泥消化を行わない場合、活性汚泥法での脱水処理対象は、最初沈殿汚泥と余剰汚泥である。発生汚泥量は処理水量に比例するものとして、⑮発生汚泥量(乾燥重量)から比例計算で算出した(含水率78%)。

ただし、本算出のモデルケースでは消化汚泥量(⑰及び⑲の合計)とした。

⑳モデルケースにおけるポンプ場での消費電力量

$$\begin{aligned}
 & 0.163 \times \text{水量} \times \text{揚程} / \text{ポンプ効率} \\
 & = 0.163 \times 20,000 / 1,440 \text{ [m}^3/\text{min}] \times 10 \text{ [m]} / 0.75 \times 24 \text{ [hr/日]} \times 365 \text{ [日/年]} \\
 & = 264.4 \text{ [MWh/年]}
 \end{aligned}$$

㉑モデルケースで消費する電力量

$$\begin{aligned}
 & \text{水処理施設での消費分} + \text{汚泥処理施設での消費分} + \text{ポンプ場での消費分} \\
 & = 991.4 \text{ [MWh/年]} + 209.4 \text{ [MWh/年]} + \text{㉑}264.4 \text{ [MWh/年]} = 1,465 \text{ [MWh/年]}
 \end{aligned}$$

以上により、消費電力量は1,465MWh/年と算出した。

モデルケースでは発生したバイオガスを用いて消化ガス発電を行うこととし、発電効率39%のガスエンジンで発電出来る。その電力量が石炭火力発電の代替となったとして計算する。330日稼働させたと想定して年間の発電量を算出する。

㉒下水汚泥由来・地域バイオマス由来の各バイオガス発熱量の合計

$$\begin{aligned}
 & \text{バイオガス低位発熱量} \times \text{メタン濃度} \text{ [%]} \\
 & \times \text{ガス発生量 (下水汚泥由来} + \text{地域バイオマス由来)} \\
 & = 35.739 \text{ [MJ/Nm}^3\text{]} \times 60/100 \times (\text{⑰}1,786 \text{ [Nm}^3/\text{日}] + \text{⑱}1,598 \text{ [Nm}^3/\text{日}]) \\
 & = 72,566 \text{ [MJ/日]}
 \end{aligned}$$

㉓モデルケースで発電する電力量

$$\begin{aligned} & \text{下水汚泥由来・地域バイオマス由来の各バイオガス発熱量の合計} \times \text{発電効率} [\%] \\ & \div 3,600 \text{【MJ/MWh】} \\ & = ㉒72,566 \text{【MJ/日】} \times 39/100 \div 3,600 \text{【MJ/MWh】} = 7,861 \text{【MWh/日】} \\ & \Rightarrow \text{年間} : 7,861 \text{【MWh/日】} \times 330 \text{【日/年】} = 2,594 \text{【MWh/年】} \end{aligned}$$

以上計算の結果、施設内発電量は2,594MWh/年となる。

㉔発電電力量余剰分

$$\begin{aligned} & \text{モデルケースで発電する電力量} - \text{モデルケースで消費する電力量} \\ & = ㉓2,594 \text{【MWh/年】} - ㉑1,465 \text{【MWh/年】} = 1,129 \text{【MWh/年】} \end{aligned}$$

つまり、消費電力分をすべてカバーし、余剰分として1,129MWh/年が得られる結果となった。そして、消化ガス発電で得られる電力が石炭火力発電の代替となったことで、二酸化炭素の削減が期待できる。

㉕モデルケースで余剰電力が石炭火力発電を代替して削減できる二酸化炭素量

$$\begin{aligned} & \text{発電電力量余剰分} \times \text{系統電力の排出係数} = \text{CO}_2 \text{削減量} \\ & = ㉔1,129 \text{【MWh/年】} \times 0.6377 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/MWh】} = 720 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} \end{aligned}$$

期待される削減温室効果ガスは720トンと算出された。

㉖モデルケースにて正味で発生する温室効果ガス量

$$\begin{aligned} & \text{下水・し尿・雑排水から発生する温室効果ガス} - \text{石炭火力発電を代替して削減出来る二酸化炭素量} \\ & = ㉒3,675 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} - ㉕720 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} = 2,955 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} \end{aligned}$$

したがって、下水・し尿の処理及び自然分解から発生する温室効果ガスから石炭火力発電の代替で削減される二酸化炭素量を引いた、モデルケースでの正味の温室効果ガス発生量は年間で3,000トン余りとなる。

㉗モデルケースを導入した場合の温室効果ガス削減効果

$$\begin{aligned} & \text{現況ケースで発生する温室効果ガス} - \text{モデルケースで発生する温室効果ガス} \\ & = ㉑5,677 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} - ㉖2,955 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} = 2,711 \text{【t}_{\text{CO}_2}\text{/年】} \end{aligned}$$

これにより、現況ケースにおいて高度処理付加の省エネ型活性汚泥法や汚泥の消化ガス化発電を導入し、生ごみ等の地域のバイオマス資源を受け入れる設備を稼働させた場合に温室効果ガスを年間で2,700トン程度を削減出来ると見積もられた(図5)。

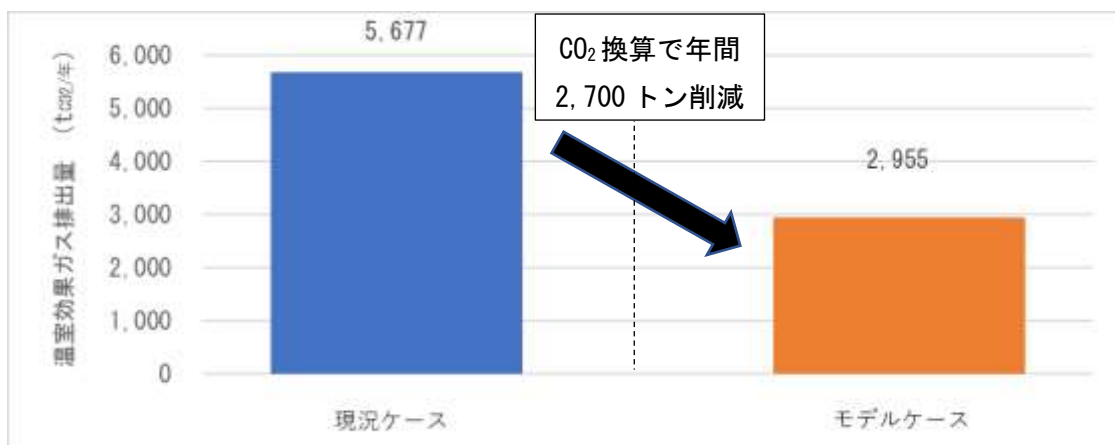


図5. 下水・し尿の腐敗槽やラグーンでの処理から下水の高度処理・消化ガス化発電への代替による温室効果ガス削減効果（人口20万人、下水道普及率5%→50%）

また、ラグーンや腐敗槽など浄化処理が充分に行われていない排水を環境基準に適合するレベルまで希釈するためにはきれいな水が大量に必要となる。それは水資源利活用の観点からも削減して正規の利用が必望まれる。一方、下水処理によって得られる処理水は有機物が除去されているため、環境基準に達するまでには少量の希釈水で済む。

㊸現況ケースで排水の清澄化に必要な希釈水

$$\begin{aligned} & \{ \text{有機物量 (ラグーン由来+腐敗槽排水由来+未処理雑排水由来)} \div \text{環境基準値} \} - \text{排水量} \\ & = \{ (40 \text{ [g/人・日]} \times 10,000 \text{ [人]} + 13 \text{ [g/人・日]} \times 190,000 \text{ [人]} \times 1/2 \\ & \quad + 27 \text{ [g/人・日]} \times 190,000 \text{ [人]} \} \div 5 \text{ [mg/L]} - 40,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \\ & = 1,313,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \end{aligned}$$

㊹モデルケースで排水の清澄化に必要な希釈水

$$\begin{aligned} & \{ \text{有機物量 (腐敗槽排水由来+未処理雑排水由来+処理水由来)} \div \text{環境基準値} \} - \text{排水量} \\ & = \{ (13 \text{ [g/人・日]} \times 100,000 \text{ [人]} \times 1/2 + 27 \text{ [g/人・日]} \times 100,000 \text{ [人]} \\ & \quad + 20,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \times 15 \text{ [mg/L]} \} \div 5 \text{ [mg/L]} - 40,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \\ & = 690,000 \text{ [m}^3\text{/日]} \end{aligned}$$

㊺モデルケースと現況ケースで必要な清澄水の差

$$\text{㊸} 1,313,000 \text{ [m}^3\text{/日]} - \text{㊹} 690,000 \text{ [m}^3\text{/日]} = 623,000 \text{ [m}^3\text{/日]}$$

現況ケースではラグーンと腐敗槽からの排水を標準的な環境基準を満たすように希釈するには清澄水が130万m³以上必要となる。日本の下水処理技術を採用し衛生的に処理がなされるようになった場合には70万m³未満に抑制出来る。したがって、日本の下水処理技術の導入により半分近くの節水効果が見込める（図6）。

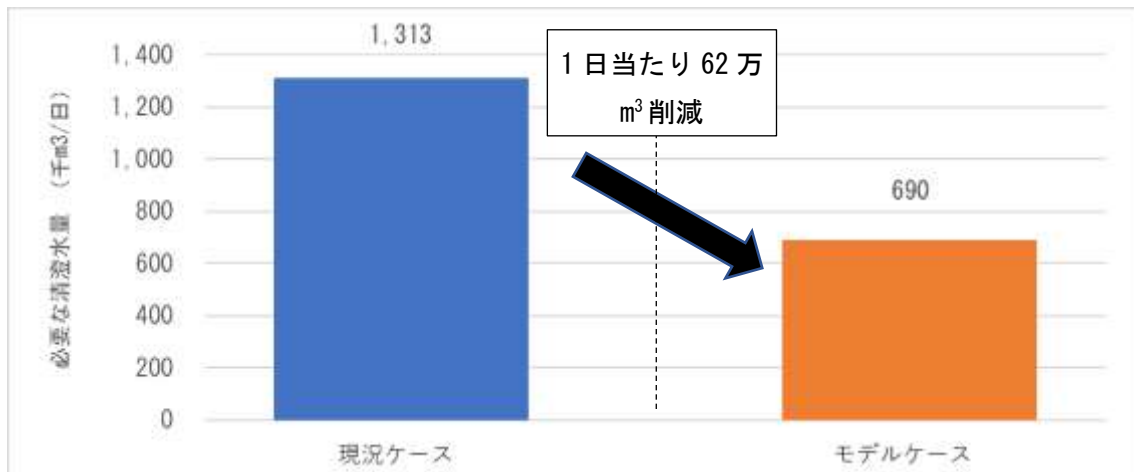


図 6. 下水・し尿の腐敗槽やラグーンでの処理から下水の高度処理・消化ガス化発電への代替による清澄水の削減効果（人口 20 万人、下水道普及率 5%→50%）

3. 先端技術を適用した場合のASEAN諸国首都圏での環境負荷低減効果の算出

日本の下水処理技術を、現在も下水道の普及が途上にある（タイやインドネシア）或いは旧来技術に基づく下水処理を行っている（マレーシア、ベトナム）東南アジア諸国連合（ASEAN）各国の主要都市圏で適用した場合に、このモデルケースに基づいてどの程度温室効果ガス削減効果や清澄水使用量削減効果が期待されるかを試算すると表4のとおりとなる。なお、ジャカルタを例にとると年間で植林15,800ha分弱の温室効果ガス吸収効果、東京ドーム3万倍分弱の清澄水の削減が見込まれる。

表4. ASEAN 諸国の人口100万人を超える主要都市圏における日本の下水処理技術の導入による温室効果ガス削減量及び清澄水使用削減量

国名	都市圏	人口※1 (万人)	下水道普及率※2 (%、現況)	下水道普及率※3 (%、モデル)	温室効果ガス削減量 (千トンCO ₂ /年)	清澄水使用削減量 (百万m ³ /年)
インドネシア	ジャカルタ	3,176	5	50	463	36,110
	バンドン	586	5	50	92	6,663
	スラバヤ	498	5	50	78	5,656
	メダン	405	5	50	63	4,599
	ジョグジャカルタ	185	5	50	29	2,098
	スマラン	167	5	50	26	1,899
	マカッサル	156	5	50	24	1,774
	パレンバン	145	5	50	23	1,649
	スラカルタ	134	5	50	21	1,524
	デンパサール	133	5	50	21	1,512
	バタム島	132	5	50	21	1,501
	プカンバル	119	5	50	19	1,353
	チルボン	117	5	50	18	1,330
	マラン	114	5	50	18	1,296
フィリピン	マニラ	2,425	5	50	334	27,566
	セブ	263	5	50	38	2,985
	ダバオ	230	5	50	33	2,615
	ジェネラル・サントス	166	5	50	24	1,887
タイ	バンコク	1,565	23	60	266	22,608
ベトナム	ホーチミン	1,038	5	50	148	11,802
	ハノイ	779	5	50	112	8,851
	ハイフォン	115	5	50	17	1,308
	ダナン	101	5	50	15	1,148
マレーシア	クアラルンプール	759	66	80	189	15,896
	ジョホールバル	177	66	80	45	3,707
	ペナン	142	66	80	36	2,974
ミャンマー	ヤンゴン	543	5	50	69	6,174
	マンダレー	143	5	50	18	1,626
カンボジア	プノンペン	192	5	50	28	2,177

※1 人口出典：Demographia World Urban Areas 13th Annual Edition: 2017:04

<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>

※2 下水道普及率（現況）：アジア水環境パートナーシップ [WEPA] アジア水環境管理アウトLOOK 2015（ただし、5%に満たない場合は5%としている）

※3 下水道普及率（モデル）：SDGs（持続可能な開発目標）「6.3 2030年までに、汚染の減少、投棄の廃絶と有害な化学物・物質の放出の最小化、未処理の排水の割合半減及び再生利用と安全な再利用の世界的規模で大幅に増加させることにより、水質を改善する。」

より概算

4. 国内技術の海外進出実例と累積実績の調査

日本の下水処理技術は海外にも既に数多く進出している。古くは1970年代から近年まで国内の下水処理施設メーカーは延べ20ヶ国以上の下水処理関連施設のプロジェクトに参加してきた。海外の下水処理関連施設は地域の実情に合わせて、ラグーンや膜処理、汚泥の焼却など様々な水処理方式に対応した設備を納めており、現在もメーカー各社が関わった件数は増加の一途にある。

日本の下水処理関連施設に携わっているメーカーの海外における下水処理関連施設のプロジェクトの推移を図7に示す。また、このほかにも洪水対策としての雨水排除を目的とした雨水ポンプの整備等で400万m³/日程度の実績がある。

日本において下水処理施設を建設する際は概ね発注者側が基本設計を行い、図面発注する形態が取られているが、海外では図面発注のほかに、DB方式と呼ばれる基本設計を除く設計と施工をメーカー側に発注するケースがある。この場合コンサルタント企業が代表となり、エンジニアリング会社や設備メーカーが下請けとなり施工・設備納入などの分業体制となっている。

次に図8に日本企業が主に進出しているアジア地域（東アジアや東南アジア）での下水処理関連施設の実績を示す。

現地での下水浄化のみならず、汚泥の焼却や乾燥消化ガス化発電等によって、汚泥の埋立て処分場から発生するメタンガスの抑制や石炭火力発電所の代替効果ももたらす温室効果ガス削減に貢献している。

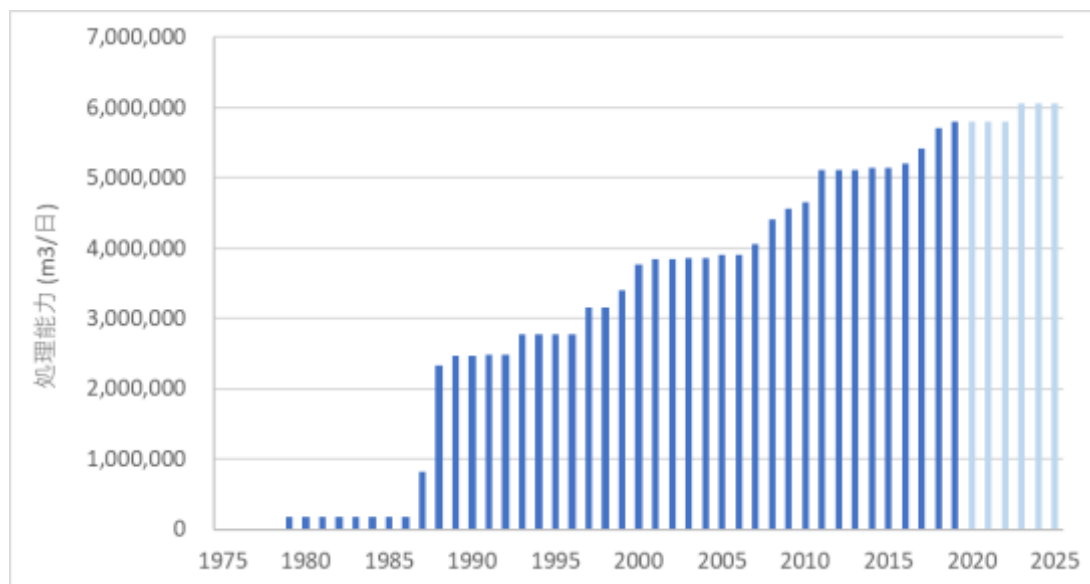


図7. 日本企業による海外で携わった下水処理関連施設・設備の推移(累計)
(2019年2月時点、2020年以降は現状見込み、環境負荷低減効果調査委員会 海外下水処理施設実績調査より)

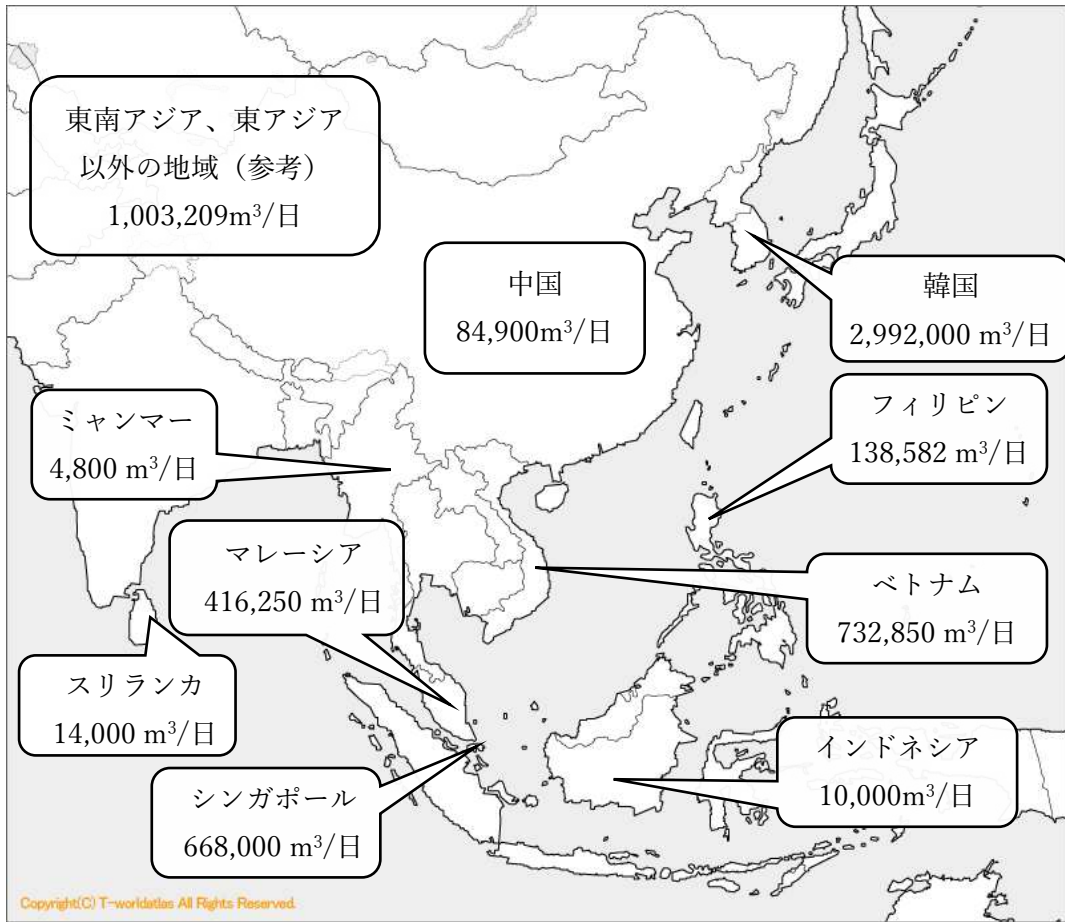


図 8. 日本企業による東南アジア、東アジアでの下水処理施設の実績 (累計)
 (2019年2月時点、環境負荷低減効果調査委員会 海外下水処理施設実績調査より)

5. 【補足資料】

2019 から 2020 年度で検討した産業排水処理分野の試算において、嫌気性排水処理の後段処理に B-DASH 事業で性能が確認された「循環型散水ろ床処理」技術を検討に加えた。その省エネルギー性に注目し、2018 年度に検討した下水処理にも適用を検討した結果を以下に示す。

5-1 2018 年度試算結果の概要

(条件)

- ・人口 20 万人で下水道普及率 5%の地域を現況として設定
 - ・モデルケースとして下水道普及率を 50%に向上したうえで日本の省エネ型下水処理技術（あわせて NP 同時除去）を導入すると設定
 - ・下水処理で発生する汚泥を地域バイオマス（生ゴミ等を下水汚泥の 10%で混合）と合わせて汚泥消化発電を実施し試算
- ⇒ 従来、河川等に流出していた生活排水の汚濁分（有機物）由来の温室効果ガスの削減、発電による石炭火力発電等の代替効果により温室効果ガス削減量を算出した

(現況ケース処理フロー)

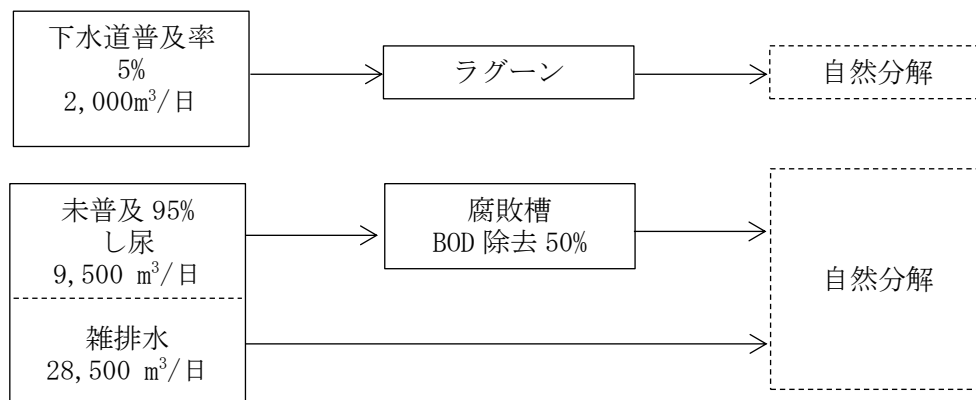


図 9. 現況ケースの下水・し尿処理状況

(モデルケース処理フロー)

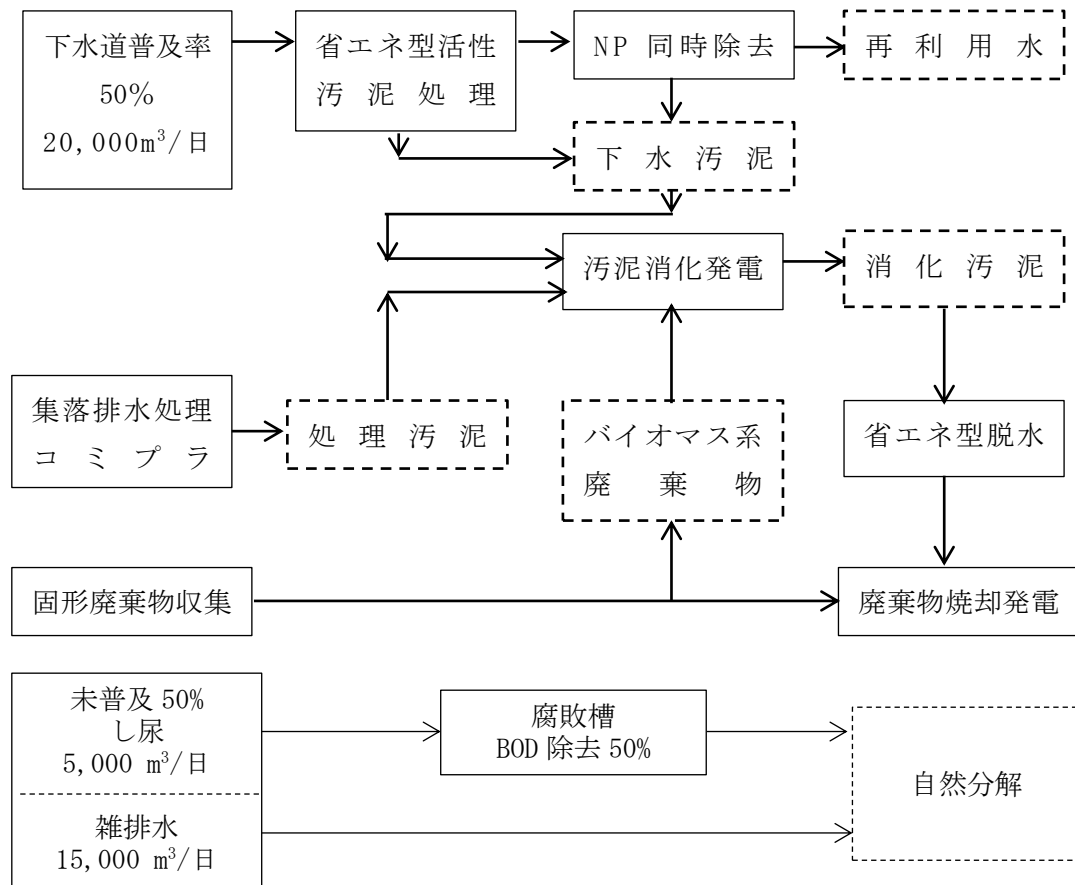


図 10. モデルケースの下水・し尿処理状況

(試算結果)

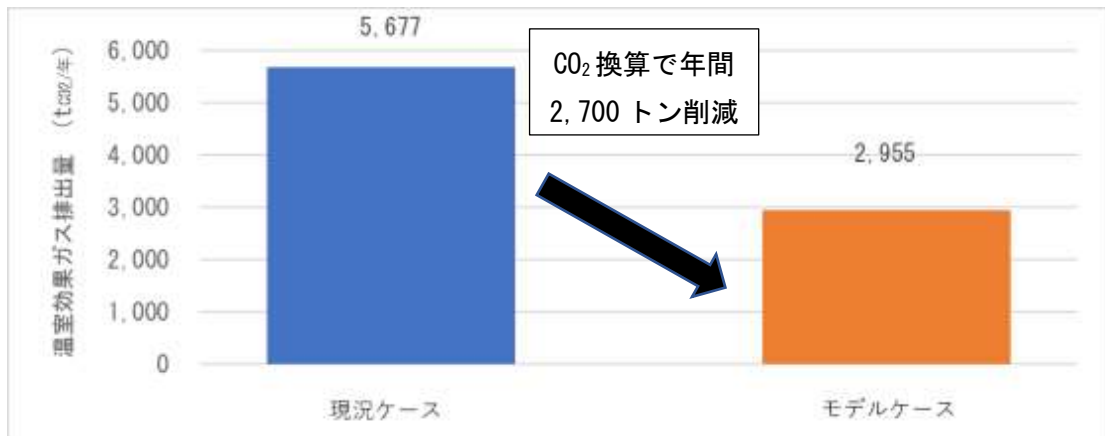


図 11. 下水・し尿の腐敗槽やラグーンでの処理から下水の高度処理・消化ガス化発電への代替による温室効果ガス削減効果 (人口 20 万人、下水道普及率 5%→50%)

5-2 2020 年度追加検討

(条件)

- ・人口 20 万人で下水道普及率 5%の地域を現況ケースとして設定
- ・モデルケースとして下水道普及率を 50%に向上したうえで日本の省エネ型下水処理技術（循環型散水ろ床技術）を導入すると設定
- ・下水処理で発生する汚泥を地域バイオマス（生ごみ等を消化阻害が起こらないと確認されている下水汚泥の 13%で混合）と合わせて汚泥消化発電を実施し試算
⇒・従来、河川等に流出していた生活排水の汚濁分（有機物）由来の温室効果ガスの削減、発電による石炭火力発電等の代替効果により温室効果ガス削減量を算出

(現況ケース処理フロー)

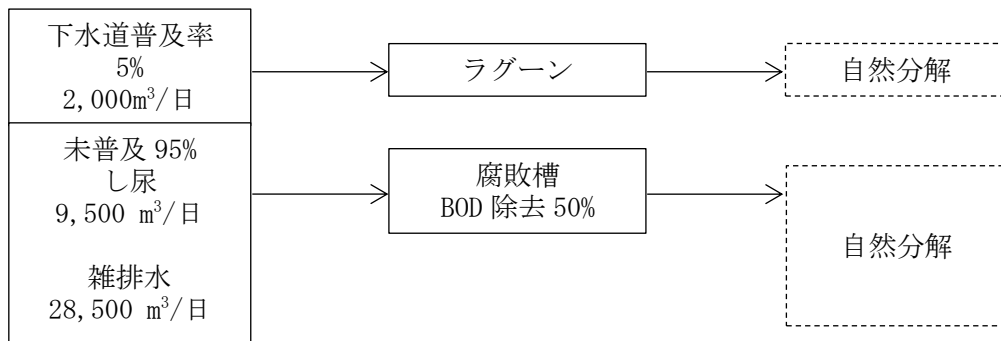


図 12. 現況ケースの下水・し尿処理状況（再掲）

(モデルケース処理フロー)

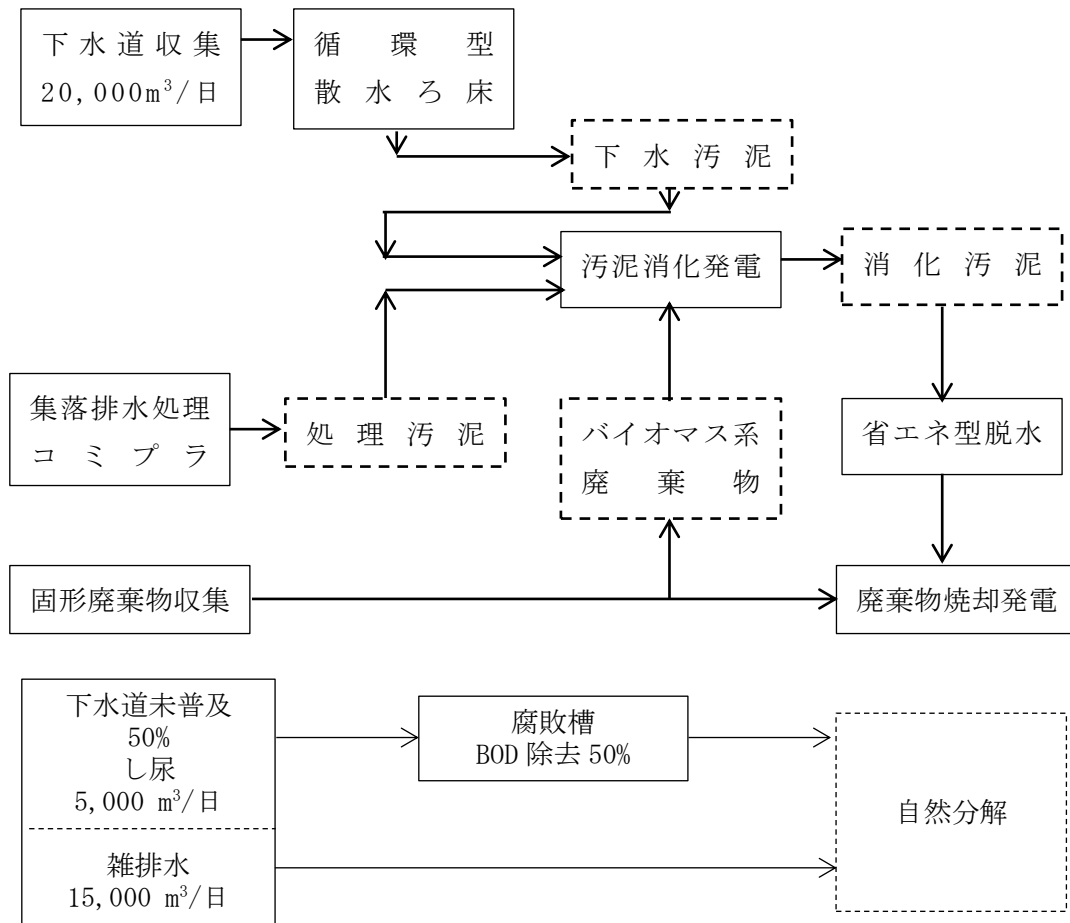


図 13. モデルケースの下水・し尿処理状況

(試算結果)

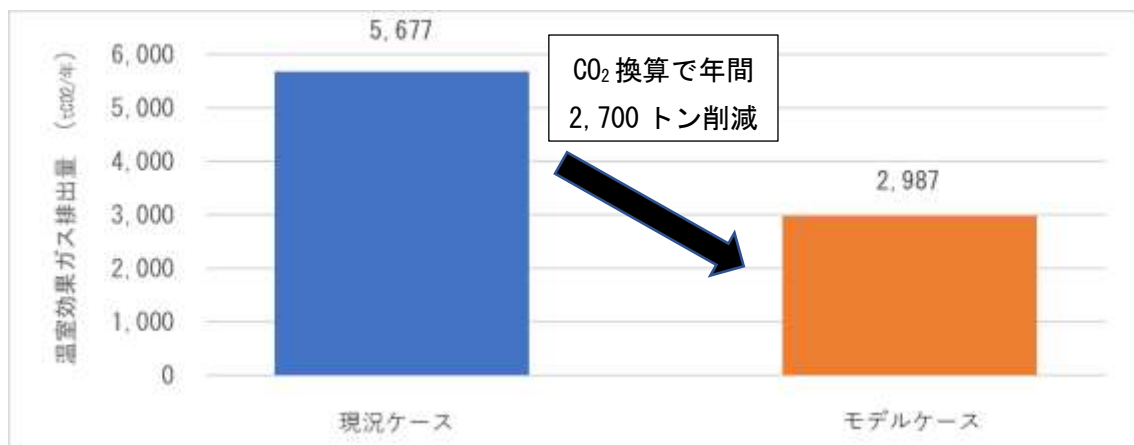


図 14. 新条件での下水・し尿の腐敗槽やラグーンでの処理から下水の循環型散水ろ床処理・消化ガス化発電への代替による温室効果ガス削減効果 (人口 20 万人、下水道普及率 5%→50%)

5-3 2020 年度追加試算の考察

試算結果として削減効果は同程度と算出された。循環型散水ろ床技術は標準活性汚泥法に比べ、水処理においては省エネ性が2割程度高く発生汚泥量もより少ない。そのため、汚泥消化ガス発電における汚泥寄与分は少なくなる。しかし、バイオマス混合の効果が大きいため消費電力も合わせた温室効果ガス削減効果はほぼ同程度となった。

循環型散水ろ床技術は、省エネ性だけでなく簡易な操作性、容易な保守性、拡張性に優れており、広範囲なバイオマスを導入する消化ガス発電を組み合わせれば温室効果ガス削減に大きな効果が得られる。このことを考えれば、これから下水道技術を普及させていく諸国には最適なシステムと思われる。

<温室効果ガス等の計算根拠>

参考資料：

- ・ 環境省「浄化槽管理者への設置と維持管理に関する指導・助言マニュアル」
(以下、環境省マニュアル)
https://www.env.go.jp/recycle/jokaso/data/manual/pdf_kanri_sya/chpt2.pdf
- ・ 環境省 温室効果ガス排出量算定方法検討会
「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第4部 廃棄物分科会報告書」
(以下、環境省報告書)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1808/40waste.pdf>
- ・ 国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインー平成29年度版ー」
(以下、国交省ガイドライン)
<http://www.mlit.go.jp/common/001217263.pdf>
- ・ 国土交通省「下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアル」
(以下、国交省マニュアル)
<http://www.mlit.go.jp/common/001271003.pdf>
- ・ 日本下水道新技術機構「活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料」
(以下、技術資料)
<https://www.jiwet.or.jp/wp/wp-content/uploads/2016/12/5ed7a5d796d94b31ef192acd4a71829b.pdf>
- ・ (公財)地球環境戦略研究機関(IGES)
「グリッド排出係数一覧表(IGES List of Grid Emission Factors)」
(以下、グリッド排出係数一覧表)
<https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors>
- ・ 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(以下、AR5)
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- ・ 国土交通省下水道革新的技術実証事業 国土技術政策総合研究所委託研究「無曝気循環式水処理技術実証研究」パンフレット
- ・ 下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)
「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト」(LOTUS Project)
グリーン・スラッジ・エネルギー技術 低ランニングコスト型混合消化ガス発電システムに係る技術評価書
https://www.jiwet.or.jp/spirit21/LOTUS/pdf/LOTUS_assessment5.pdf

1) 現況ケースにおける温室効果ガス発生量

環境省報告書及び環境省マニュアルにより次のとおり計算式を使用した。

(1) メタン (CH₄) の発生量

現況ケースにおいて、未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、生活排水（以下、下水）中の有機分が自然分解する時に発生する CH₄（環境省報告書 P. 119～128）

$$E_{CH_4(現況)} = EF \times (A_{BODし尿(現況)} + A_{BOD雑排水(現況)} + A_{BOD下水(現況)}) \times GWP_{CH_4} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
<i>EF</i>	排出係数	kgCH ₄ /kgBOD	0.06	環境省報告書 P. 120
<i>A_{BODし尿(現況)}</i>	未処理のまま公共用水域に 排出されたし尿や雑排水、 下水中の有機物量	kgBOD/日	1,235	次の計算による
<i>A_{BOD雑排水(現況)}</i>			5,130	
<i>A_{BOD下水(現況)}</i>			400	
<i>GWP_{CH₄}</i>	CH ₄ の温暖化係数	t _{CO2} /t _{CH₄}	28	AR5

$$A_{BODし尿(現況)} = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}) \times \text{汚濁負荷量(BOD)} \times 1/2 \times 10^{-3} \ast$$

$$A_{BOD雑排水(現況)} = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}) \times \text{汚濁負荷量(BOD)} \times 10^{-3}$$

$$A_{BOD下水(現況)} = \text{人口} \times \text{下水道普及率} \times \text{汚濁負荷量(BOD)} \times 10^{-3}$$

※腐敗槽に流入するし尿中の汚濁物質については、50%が土壌への浸透により除去されると設定した

項目		単位	数値	根拠
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	現況ケース	%	5	設定値
汚濁負荷量 (BOD)	し尿（便所）	g/人・日	13	環境省マニュアル P. 6
	雑排水	g/人・日	27	環境省マニュアル P. 6
	下水（し尿+生活雑排水）	g/人・日	40	環境省マニュアル P. 6

したがって、現況ケースにおいて未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の有機分の自然界における分解に伴う CH₄ 排出量 $E_{CH_4(現況)}$ は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{CH_4(現況)}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の有機分の自然界における分解に伴う CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	11.365
		t _{CO2} /年	4,148.3

(2) 亜酸化窒素 (N₂O) の発生量

現況ケースにおいて、未処理のまま公共用水域に排出されたし尿、雑排水や下水中の窒素分が自然分解する時に発生する N₂O (環境省報告書 P. 129~135)

$$E_{N2O(現況)} = EF \times (A_{Nし尿(現況)} + A_{N雑排水(現況)} + A_{N下水(現況)}) \times GWP_{N2O} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
EF	排出係数	kgN ₂ O/kgN	0.0079	環境省報告書 P. 130
A _{Nし尿(現況)} A _{N雑排水(現況)} A _{N下水(現況)}	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の窒素量	kgN/日	1,520 380 100	次の計算による
GWP _{N2O}	N ₂ O の温暖化係数	t _{CO2} / t _{N2O}	265	AR5

$$A_{Nし尿(現況)} = 人口 \times (100 - 下水道普及率(現況)) \times 窒素量 \times 10^{-3}$$

$$A_{N雑排水(現況)} = 人口 \times (100 - 下水道普及率(現況)) \times 窒素量 \times 10^{-3}$$

$$A_{N下水(現況)} = 人口 \times 下水道普及率(現況) \times 窒素量 \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	現況ケース	%	5	設定値
窒素量	し尿 (便所)	gN/人・日	8	環境省マニュアル P. 6
	雑排水	gN/人・日	2	環境省マニュアル P. 6
	下水 (し尿+生活雑排水)	gN/人・日	10	環境省マニュアル P. 6

したがって、現況ケースで未処理のまま公共用水域に排出されたし尿、雑排水や下水中の窒素分が自然分解する時に発生する N₂O 排出量 E_{N2O(現況)} は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
E _{N2O(現況)}	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の窒素分の自然界における分解に伴う N ₂ O 排出量	t _{CO2} /日	4.187
		t _{CO2} /年	1,528.3

(3) 温室効果ガスの排出量

温室効果ガスの算出に当たっては、メタンと亜酸化窒素の発生量の和で求めた。

$$E_{GHG(現況)} = E_{CH4(現況)} + E_{N2O(現況)}$$

項目		単位	数値
E _{CH4(現況)}	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の有機分の自然界における分解に伴う CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	11.365
		t _{CO2} /年	4,148.3
E _{N2O(現況)}	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の窒素分の自然界における分解に伴う N ₂ O 排出量	t _{CO2} /日	4.187
		t _{CO2} /年	1,528.3

したがって、現況ケースでし尿、雑排水や下水中の窒素分や有機分が自然分解する時に発生する温室効果ガスの排出量 E_{GHG} (現況) は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
E_{GHG} (現況)	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、下水中の有機分や窒素分の自然界における分解に伴う温室効果ガス排出量	t _{CO2} /日	15.552
		t _{CO2} /年	5,677

2) モデルケースにおける温室効果ガス発生量

環境省報告書及び環境省マニュアルにより次のとおり計算式を使用した。

(1) メタン (CH₄) の発生量

モデルケースにおけるメタン (CH₄) の発生量は未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時に発生する CH₄ 及び終末処理場における下水処理に伴い排出される CH₄ から算出する。

$$E_{CH_4} (\text{モデル}) = E_{CH_4 \text{ し尿}(\text{モデル}) \cdot \text{雑排水}(\text{モデル}) \cdot \text{処理水}} + E_{CH_4 \text{ 終末処理}}$$

a. 未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時に発生する CH₄ (環境省報告書 P. 119~128)

$$E_{CH_4 \text{ し尿}(\text{モデル}) \cdot \text{雑排水}(\text{モデル}) \cdot \text{処理水}} = EF \times (A_{BOD \text{ し尿}(\text{モデル})} + A_{BOD \text{ 雑排水}(\text{モデル})} + A_{BOD \text{ 処理水}}) \times GWP_{CH_4} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
EF	排出係数	kgCH ₄ /kgBOD	0.06	環境省報告書 P. 120
$A_{BOD \text{ し尿}(\text{モデル})}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機物量	kgBOD/日	650	次の計算による
$A_{BOD \text{ 雑排水}(\text{モデル})}$			2,700	
$A_{BOD \text{ 処理水}}$			300	
GWP_{CH_4}	CH ₄ の温暖化係数	t _{CO2} / t _{CH₄}	28	AR5

$$A_{BOD \text{ し尿}(\text{モデル})} = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}(\text{モデル})) \times \text{汚濁負荷量}(BOD) \times 1/2 \times 10^{-3} \ast$$

$$A_{BOD \text{ 雑排水}(\text{モデル})} = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}(\text{モデル})) \times \text{汚濁負荷量}(BOD) \times 10^{-3}$$

$$A_{BOD \text{ 処理水}} = \text{水量} \times \text{人口} \times \text{下水道普及率}(\text{モデル}) \times \text{汚濁負荷量}(BOD) \times 10^{-3}$$

※腐敗槽に流入するし尿中の汚濁物質については、50%が土壌への浸透により除去されると設定した。

項目		単位	数値	根拠
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	モデルケース	%	50	設定値※
水量	処理水（下水と同量）	L/人・日	200	環境省マニュアル P. 6
汚濁負荷量（BOD）	し尿（便所）	g/人・日	13	環境省マニュアル P. 6
	雑排水	g/人・日	27	環境省マニュアル P. 6
	処理水	mg/L	15	設定値

※モデルケースの下水道普及率を設定するにあたり、「持続可能な開発目標」（SDGs）の「目標 6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」の「ターゲット 6.3 2030 年までに、汚染の減少、投棄の廃絶と有害な化学物・物質の放出の最小化、未処理の排水の割合半減及び再生利用と安全な再利用の世界的規模で大幅に増加させることにより、水質を改善する。」に則り、現況ケースの未処理排水の割合（95%）をほぼ半減させる条件とした。

したがって、モデルケースで未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時に発生する CH₄ 発生量 $E_{CH_4} = \text{し尿(モデル)} \cdot \text{雑排水(モデル)} \cdot \text{処理水}$ は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{CH_4} = \text{し尿(モデル)} \cdot \text{雑排水(モデル)} \cdot \text{処理水}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分の自然界における分解に伴う CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	6.132
		t _{CO2} /年	2,238.2

b. 終末処理場における下水処理に伴い排出される CH₄ の量（環境省報告書 P. 82～86）

$$E_{CH_4 \text{ 終末処理}} = EF \times A_{\text{下水量}} \times GWP_{CH_4} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
EF	排出係数	kgCH ₄ /m ³	0.00088	環境省報告書 P. 83
$A_{\text{下水量}}$	終末処理場における下水処理量	m ³ /日	20,000	次の計算による
GWP_{CH_4}	CH ₄ の温暖化係数	t _{CO2} /t _{CH₄}	28	AR5

$$A = \text{水量(下水)} \times \text{人口} \times \text{下水道普及率(モデル)}$$

項目		単位	数値	根拠
水量	下水（し尿+生活雑排水）	L/人・日	200	環境省マニュアル P. 6
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	モデルケース	%	50	設定値

したがって、終末処理場における下水処理に伴い排出される CH₄ 排出量 $E_{CH_4 \text{ 終末処理}}$ は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{CH_4 \text{ 終末処理}}$	下水処理に伴う終末処理場からの CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	0.493
		t _{CO2} /年	179.9

c. メタンの発生量の合計

モデルケースでの CH₄ 排出量は、未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時の発生分と終末処理場における下水処理に伴う排出分の和で算出した。

$$E_{CH_4 \text{ (モデル)}} = E_{CH_4 \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}} + E_{CH_4 \text{ 終末処理}}$$

項目		単位	数値
$E_{CH_4 \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の有機分の自然界における分解に伴う CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	6.132
		t _{CO2} /年	2,238.2
$E_{CH_4 \text{ 終末処理}}$	下水処理に伴う終末処理場からの CH ₄ 排出量	t _{CO2} /日	0.493
		t _{CO2} /年	179.87

したがってモデルケースでの CH₄ 排出量 $E_{CH_4 \text{ (モデル)}}$ は、次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{CH_4 \text{ (モデル)}}$	し尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時に発生する CH ₄ 及び終末処理場における下水処理に伴い排出される CH ₄	t _{CO2} /日	6.625
		t _{CO2} /年	2,418.1

(2) 亜酸化窒素 (N₂O) の発生量

モデルケースにおける、未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素分が自然分解する時に発生する N₂O 及び終末処理場における下水処理に伴い排出される N₂O の和から算出する。

$$E_{N_2O \text{ (モデル)}} = E_{N_2O \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}} + E_{N_2O \text{ 終末処理}}$$

a. 未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素分が自然分解する時に発生する N₂O (環境省報告書 P. 129~135)

$$E_{N_2O \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}} = EF \times (A_{N \text{ し尿(モデル)}} + A_{N \text{ 雑排水(モデル)}} + A_{N \text{ 処理水}}) \times GWP_{N_2O} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
EF	排出係数	kgN20/kgN	0.0079	環境省報告書 P. 120
$A_{N\text{し尿}}(\text{モデル})$	未処理のまま公共水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素量	kgN/日	800	次の計算による
$A_{N\text{雑排水}}(\text{モデル})$			200	
$A_{N\text{処理水}}$			240	
GWP_{N20}	N_2O の温暖化係数	t_{CO2} / t_{N20}	265	AR5

$$A_{N\text{し尿}}(\text{モデル}) = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}(\text{モデル})) \times \text{窒素量} \times 10^{-3}$$

$$A_{N\text{雑排水}}(\text{モデル}) = \text{人口} \times (100 - \text{下水道普及率}(\text{モデル})) \times \text{窒素量} \times 10^{-3}$$

$$A_{N\text{処理水}} = \text{水量} \times \text{人口} \times \text{下水道普及率}(\text{モデル}) \times \text{窒素量} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	モデルケース	%	50	設定値
水量	処理水（下水と同量）	L/人・日	200	環境省マニュアル P. 6
窒素量	し尿（便所）	gN/人・日	8	環境省マニュアル P. 6
	雑排水	gN/人・日	2	環境省マニュアル P. 6
	処理水	mg/L	12	設定値

したがってモデルケースにおいて、し尿や雑排水、処理水中の窒素分が自然分解する時の N_2O 排出量 $E_{N20\text{し尿}(\text{モデル}) \cdot \text{雑排水}(\text{モデル}) \cdot \text{処理水}}$ は、次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{N20\text{し尿}(\text{モデル}) \cdot \text{雑排水}(\text{モデル}) \cdot \text{処理水}}$	し尿や雑排水、処理水中の有機分が自然分解する時に発生する N_2O 及び終末処理場における下水処理に伴い排出される N_2O	$t_{CO2}/\text{日}$	2.596
		$t_{CO2}/\text{年}$	947.5

b. 終末処理場における下水処理に伴い排出される N_2O の量（環境省報告書 P. 87～90）

$$E_{N20\text{終末処理}} = EF \times A_{\text{下水}} \times GWP_{N20} \times 10^{-3}$$

項目		単位	数値	根拠
EF	排出係数	kgN20 /m ³	0.00016	環境省報告書 P. 88
$A_{\text{下水}}$	終末処理場における下水処理量	m ³ /日	20,000	次の計算による
GWP_{N20}	N_2O の温暖化係数	t_{CO2} / t_{N20}	265	AR5

$$A = \text{水量}(\text{下水}) \times \text{人口} \times \text{下水道普及率}(\text{モデル})$$

項目		単位	数値	根拠
水量	下水（し尿+生活雑排水）	L/人・日	200	環境省マニュアル P. 6
人口		人	200,000	設定値
下水道普及率	モデルケース	%	50	設定値

したがってモデルケースにおいて、終末処理場における下水処理に伴う N₂O 排出量 $E_{N_2O \text{ 終末処理}}$ は、次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{N_2O \text{ 終末処理}}$	下水処理に伴う終末処理場からの N ₂ O 排出量	t _{CO2} /日	0.848
		t _{CO2} /年	309.5

c. 亜酸化窒素の発生量の合計

モデルケースでの N₂O 排出量は、未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素分が自然分解する時の発生分と終末処理場における下水処理に伴う排出分の和で算出した。

$$E_{N_2O \text{ (モデル)}} = E_{N_2O \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}} + E_{N_2O \text{ 終末処理}}$$

項目		単位	数値
$E_{N_2O \text{ し尿(モデル)・雑排水(モデル)・処理水}}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素分の自然界における分解に伴う N ₂ O 排出量	t _{CO2} /日	2.596
		t _{CO2} /年	947.5
$E_{N_2O \text{ 終末処理}}$	下水処理に伴う終末処理場からの N ₂ O 排出量	t _{CO2} /日	0.848
		t _{CO2} /年	309.5

したがってモデルケースでの N₂O 排出量 $E_{N_2O \text{ (モデル)}}$ は、次のとおりとなる。

項目		単位	数値
$E_{N_2O \text{ (モデル)}}$	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水中の窒素分が自然分解する時に発生する N ₂ O 及び終末処理場における下水処理に伴い排出される N ₂ O	t _{CO2} /日	3.444
		t _{CO2} /年	1,257.0

(3) 温室効果ガスの発生量

温室効果ガスの算出に当たっては、メタンと亜酸化窒素の発生量の和で算出した。

$$E_{GHG \text{ (モデル)}} = E_{CH_4 \text{ (モデル)}} + E_{N_2O \text{ (モデル)}}$$

項目		単位	数値
E_{CH_4} (モデル)	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、 処理水中の有機分が自然分解する時に発生する CH ₄ 及 び終末処理場における下水処理に伴い排出される CH ₄	t _{CO2} /日	6.625
		t _{CO2} /年	2,418.1
E_{N_2O} (モデル)	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、 処理水中の窒素分が自然分解する時に発生する N ₂ O 及 び終末処理場における下水処理に伴い排出される N ₂ O	t _{CO2} /日	3.444
		t _{CO2} /年	1,257.0

したがって、モデルケースでの温室効果ガス排出量は次のとおりとなる。

項目		単位	数値
E_{GHG} (モデル)	未処理のまま公共用水域に排出されたし尿や雑排水、処理水 の自然界における有機分や窒素分の分解及び終末処理場にお ける下水処理に伴う温室効果ガス排出量	t _{CO2} /日	10.069
		t _{CO2} /年	3,675

3) 下水汚泥及び地域バイオマスのメタン発酵処理によるバイオガス発生量、脱水汚泥量
と省エネ・消化ガス発電による CO₂ 削減効果 (グリッド電力)

計算式は国交省ガイドライン、国交省マニュアル、技術資料を次のとおり使用した。

(1) 下水汚泥から発生するバイオガス量、脱水汚泥量 (国交省ガイドライン P.141)

下水処理量に比例し、次の計算式で汚泥発生量が算出される。

$$\text{生汚泥(乾燥重量)} = (\text{流入 SS} - \text{反応槽流入 SS}) \times \text{下水量} \times 10^{-3}$$

$$\text{生汚泥(湿重量)} = \text{生汚泥(乾燥重量)} / (100 - \text{濃縮生汚泥含水率}) \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{余剰汚泥(乾燥重量)} = & (a \times \text{反応槽流入 S} - \text{BOD} + b \times \text{反応槽流入 SS} \\ & - c \times \text{HRT} / 24 \times \text{MLSS}) \times \text{下水量} \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{余剰汚泥(湿重量)} = \text{余剰汚泥(乾燥重量)} / (100 - \text{濃縮余剰汚泥含水率}) \times 100$$

$$\text{発生汚泥固形物量 (消化槽投入汚泥量)} = \text{生汚泥 (湿重量)} + \text{余剰汚泥 (湿重量)}$$

項目	単位	数値	根拠
下水量	m ³ /日	20,000	下水(200L/人・日)×人口(20万人)×下水道普及率(50%)×10 ⁻³
流入SS	mg/L	180	国交省ガイドライン P. 141
反応槽流入SS	mg/L	90	
濃縮生污泥含水率	%	97	
S-BODの污泥転換率 a		0.5	
反応槽流入S-BOD	mg/L	93.0	
SSの污泥転換率 b		0.95	
自己分解率 c		0.04	
HRT	hr	8.0	
MLSS	mg/L	1,500	
濃縮余剰污泥含水率	%	96	

したがって、発生污泥量及び発生污泥固形物量(消化槽投入污泥量)は次のとおり。

項目	単位	数値	根拠
生污泥(乾燥重量)	kgds/日	1,800	国交省ガイドライン P. 141
生污泥(湿重量)	kgwt/日	60,000	
余剰污泥(乾燥重量)	kgds/日	2,240	
余剰污泥(湿重量)	kgwt/日	56,000	
発生污泥固形物量 (消化槽投入污泥量)	kgwt/日	116,000	

バイオガス量は消化槽投入污泥量から次のとおり算出される。

バイオガス量 = 消化槽投入污泥量 × 固形物濃度 × 有機物濃度 × ガス転化量

項目	単位	数値	根拠
固形物濃度	%	3.5	国交省ガイドライン P. 141
有機物濃度	%	80	
ガス転化量	Nm ³ /kgVS (投入VS当たり)	0.550	

したがって、発生するバイオガス量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値
バイオガス量	Nm ³ /日	1,786

また、下水汚泥を脱水処理した後の脱水汚泥量は次の計算式により算出される。

$$\text{脱水汚泥量（消化脱水）} = \text{発生汚泥固形物量} \times (1 - \text{有機物濃度}/100 \times \text{消化率}/100) \div (1 - \text{含水率（消化脱水）}/100)$$

$$\text{脱水汚泥量（直接脱水）} = \text{発生汚泥固形物量} \div (1 - \text{含水率（直接脱水）}/100)$$

項目	単位	数値	根拠
発生汚泥固形物量（消化槽投入汚泥量）	kgwt/日	116,000	
有機物濃度	%	80	国交省ガイドライン P. 141
消化率	%	50	
含水率（消化脱水）	%	81	
含水率（直接脱水）	%	78	

したがって、下水汚泥をバイオメタン発酵処理した後に脱水処理を行った場合の脱水汚泥量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値
脱水汚泥量	kgwt/日	12,758

(2) 地域バイオマス（事業系生ごみ相当）の処理から発生するバイオガス量、脱水汚泥量（国交省ガイドライン P. 178）

下水汚泥処理量の10%の地域バイオマスを受入れ、下水汚泥と混合処理すると仮定すると、次のとおり計算式によりバイオガス量が計算される。

$$\text{投入汚泥量} = \text{受入れ量} \times (100 - \text{異物割合}) / 100$$

$$\text{バイオガス発生量} = \text{投入汚泥量} \times \text{固形物濃度(TS)} \times \text{有機物濃度(VS)} \times \text{ガス転化量}$$

項目	単位	数値	根拠
受入れ量	kgwt/日	11,600	設定値（下水汚泥の10%）
投入汚泥量	kgwt/日	10,440	受入れ量 × (100 - 異物割合) / 100
異物割合	%	10	国交省ガイドライン P. 141
固形物濃度(TS)	%	22	
有機物濃度(VS)	%	94	
有機物分解率（消化率）	%	80	
ガス転化量	Nm ³ /kgVS	0.74	

したがって、バイオガス発生量は次のとおりに得られる。

項目	単位	数値	根拠
バイオガス発生量	Nm ³ /日	1,598	投入汚泥量 × 固形物濃度 (TS) × 有機物濃度 (VS) × ガス転化量

また、地域バイオマス由来の汚泥を脱水処理した後の脱水汚泥量は次の計算式で求められる。

$$\text{脱水汚泥量 (消化脱水)} = \frac{\text{発生汚泥固形物量} \times (1 - \text{有機物濃度}/100 \times \text{消化率}/100)}{(1 - \text{含水率 (消化脱水)}/100)}$$

項目	単位	数値	根拠
脱水汚泥含水率	%	81.0	
分解有機物量	t-VS/日	1.7	投入汚泥量 × 固形物濃度 × 有機物濃度 × 有機物分解率
消化汚泥中有機物量	t-VS/日	0.4	投入汚泥量 × 固形物濃度 × 有機物濃度 - 分解有機物量
消化汚泥中固形物量	t-ds/日	0.6	消化汚泥中有機物量 + (固形物量 - 有機物量)

したがって、次のとおり脱水汚泥量が算出される。

項目	単位	数値	根拠
脱水汚泥量 (消化脱水)	t-wet/日	2.998	消化汚泥中固形物量 / (1 - 脱水汚泥含水率/100)

(3) 消化ガス化発電電力量

計算式は国交省マニュアル (P. 50) より以下を使用し計算を行った。

$$\text{総発電量} = \frac{\text{バイオガス発生量} \times \text{ガス発熱量} \times \text{発電効率}}{3,600 \times 100}$$

項目	単位	数値	根拠
バイオガス発生量	Nm ³ /日	3,384	下水汚泥・地域バイオマスの合計
発電効率	%	39	設定値
バイオガスのメタン濃度	%	60	設定値
バイオガス低位発熱量	MJ/Nm ³	35.739	ガイドライン P. 178 (メタン濃度 100%)
ガス発熱量	MJ/Nm ³	21.443	バイオガス低位発熱量 × バイオガスのメタン濃度
電力量・熱量変換	MJ/MWh	3,600	

したがって、下水汚泥及び地域バイオマスをメタン発酵処理することで得られたバイオガスによる総発電量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値	根拠
総発電量	MWh/日	7.861	稼働率は1とする
	MWh/年	2,594	330日稼働と設定

なお、発電効率については、モデルケースで発生するバイオガス量（3,384Nm³/日）を基に、国交省ガイドライン（P.159）より中型発電機（280kW）の発電効率39%を採用した。

(4) 下水処理施設における消費電力量

モデルケースでの下水処理施設における消費電力量について技術資料を基に算出した。

a. 標準法の排水処理に高効率の散気システムを導入した場合の消費電力量

排水処理設備の消費電力量については、技術資料（P.66、129）を基に次の近似式を作成し算出した。なお、技術資料では省エネ化の算出に当り送風設備の省エネ化による削減分のみで比較がなされているため、同様に全体から送風設備の省エネ分のみを減算している。

$$\text{消費電力量(水処理工程)} = 3 \times 10^{-5} \times (\text{処理水量})^2 + 33.748 \times (\text{処理水量}) + 304,438$$

項目	単位	小規模	中規模	大規模	モデルケース
処理水量	m ³ /日	10,000	40,000	100,000	20,000
消費電力量（従来型）	kWh/年	771,082	2,538,252	6,123,698	-
送風設備の省エネ化による削減分 =消費電力量（従来型送風設備） -消費電力量（省エネ型送風設備）	kWh/年	125,794 =467,434 -341,640	830,000 =1,754,180 -924,180	2,107,656 =4,420,296 -2,312,640	-
消費電力量（省エネ型） =消費電力量（従来型） - 送風設備の省エネ化による削減分	kWh/年 MWh/年	645,288 -	1,708,252 -	4,016,042 -	991,398 991.4

したがってモデルケースでの下水処理場内の水処理工程での消費電力量は次のとおりとなる。

項目	単位	
モデルケースの下水処理場における水処理工程の消費電力量	kWh/年	991,398
	MWh/年	991.4

b. 省エネ型の汚泥処理での消費電力量

汚泥処理設備の消費電力量については、技術資料（P.115）を基に次の近似式を作成し算出した。なお、汚泥処理設備の省エネ化については従来型と比べて4%低減したと設定した。なお、汚泥量については「3）下水汚泥及び地域バイオマスのメタン発酵処理によるバイオガス発生量、脱水汚泥量」の「(1)下水汚泥から発生するバイオガス量、脱水汚泥量」で用いた計算式により算出した。

$$\text{消費電力量(汚泥処理工程)} = -4 \times 10^{-5} \times (\text{汚泥処理量})^2 + 12.863 \times (\text{汚泥処理量}) + 16,646$$

項目	単位	小規模	中規模	大規模	モデルケース	備考
処理量	m ³ /日	10,000	40,000	100,000	20,000	
脱水汚泥量 (直接脱水)	kgwt/日	9,182	36,727	91,818	-	
脱水汚泥量 (消化脱水)	kgwt/日	-	-	-	15,756	地域バイオマス分を加味
消費電力量 (従来型)	kWh/年	136,963	455,016	907,451	-	技術資料 P.115
消費電力量 (省エネ型)	kWh/年 MWh/年	131,484 -	436,815 -	871,153 -	209,379 209.4	従来型より4%削減

したがってモデルケースでの下水処理場内の汚泥処理工程での消費電力量は次のとおりとなる。

項目	単位	
モデルケースの下水処理場における汚泥処理工程の消費電力量	kWh/年	209,379
	MWh/年	209.4

c. ポンプ場の消費電力量

ポンプ場における消費電力量は次の式で算出した。

$$\text{ポンプ動力} = 0.163 \times \text{水量 } Q(\text{m}^3/\text{min}) \times \text{揚程 } H(\text{m}) / \text{ポンプ効率 } \eta$$

項目	単位	数値	根拠
水量 Q	m ³ /min	13.89	下水 (200L/人・日) × 人口 (20 万人) × 下水道普及率 (50%) / 24/60 × 10 ⁻³
揚程 H	m	10	設定値
ポンプ効率 η		0.75	設定値

したがってモデルケースでのポンプ場での消費電力量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値	根拠
ポンプ動力	MWh/年	264.4	24 時間 365 日稼働と仮定

d. 下水処理施設における消費電力量

上述の a, b, c の合計値として、下水処理施設における消費電力量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{下水処理施設における電力消費量} &= \text{消費電力量(水処理工程)} \\ &+ \text{消費電力量(汚泥処理工程)} + \text{ポンプ動力} \end{aligned}$$

項目	単位	数値
消費電力量 (水処理工程)	MWh/年	991.4
消費電力量 (汚泥処理工程)	MWh/年	209.4
ポンプ動力	MWh/年	264.4

したがって、下水処理施設における消費電力量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値
下水処理施設における消費電力量	MWh/年	1,465

(3) 省エネ型下水処理施設・消化ガス発電による温室効果ガス削減効果 (グリッド電力)

次の式により省エネ型下水処理施設・消化ガス発電による温室効果ガス (GHG) 削減量を算出し、系統電力を代替して削減出来る温室効果ガス削減量を算出した。

発電電力余剰分＝総発電量－下水処理施設における電力消費量

系統電力を代替して削減出来る温室効果ガス量＝発電電力余剰分×系統電力のCO₂排出係数

項目	単位	数値	根拠
総発電量	MWh/年	2,594	
下水処理施設における消費電力量	MWh/年	1,465	
系統電力のCO ₂ 排出係数	t _{CO2} /MWh	0.6377	グリッド排出係数一覧表よりベトナム国

したがって、発電電力余剰分及び系統電力を代替して削減できる温室効果ガス量は次のとおりとなる。

項目	単位	数値
発電電力余剰分	MWh/年	1,129
系統電力を代替して削減できる温室効果ガス量	t _{CO2} /年	720.0

4) 現況ケースとモデルケースの比較

現況ケースとモデルケースのそれぞれにおいて発生する温室効果ガス及び排水を環境基準値まで薄めるために必要な清澄水について次のとおり比較を行った。

(1) 温室効果ガス発生量の比較

現況ケースで発生する温室効果ガス及びモデルケースで下水処理過程で発生する温室効果ガス、系統電力を代替して削減できる温室効果ガス量から次のとおり現況ケースとモデルケースの温室効果ガス排出量を算出した。

項目	単位	数値
現況ケースで発生する温室効果ガス発生量	t _{CO2} /年	5,677
モデルケースで正味で発生する温室効果ガス量 ＝モデルケースで発生する温室効果ガス発生量 －系統電力を代替して削減できる温室効果ガス量	t _{CO2} /年	2,955 =3,675 - 720

したがって、現況ケースの地域に対してモデルケースを当てはめると、次のように温室効果ガス量が削減出来る。

項目	単位	数値
削減出来る温室効果ガス量	t _{CO2} /年	2,721

(2) 清澄水の使用量削減

現況ケース及びモデルケースにおいて、環境基準値（BOD:5mg/L）まで排水・処理水を薄める際に必要な清澄水の量を次のとおり算出した。

	水量 (m ³ /日)	有機物量 (kg/日)	BOD (mg/L)	必要な 清澄水(m ³ /日)
現況ケース	40,000	6,765	169	1,313,000
現況ケース(ラグーン)	2,000	400	200	78,000
現況ケース(雑排水)	28,500	5,130	180	997,500
現況ケース(腐敗槽)	9,500	1,235	130	237,500
モデルケース	40,000	3,650	91	690,000
モデルケース(雑排水)	15,000	2,700	180	525,000
モデルケース(腐敗槽)	5,000	650	130	125,000
モデルケース(処理水)	20,000	300	15	40,000

5) 先端技術を適用した場合のASEAN諸国首都圏での環境負荷低減効果の算出

日本の下水処理技術及び地域バイオマス受入れ処理による温室効果ガス削減効果及び必要な清澄水削減効果の計算手法により、各都市で異なる人口及び下水道普及率、系統電力のCO₂排出係数を基にそれぞれの温室効果ガス削減効果及び必要な清澄水削減効果の算出を行った。

なお、人口は「Demographia World Urban Areas 13th Annual Edition: 2017:04」(<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>) を基にした。

東南アジア各国の下水道普及率（現況）については、「アジア水環境パートナーシップ [WEPA] アジア水環境管理アウトック 2015」(http://wepa-db.net/pdf/2015outlook/WEPA_Outlook2015_japanese.pdf) の下水処理率を基にしており、下水処理率が5%未満の国は下水道普及率を5%と設定した。

下水道普及率（モデルケース）については、SDGs（持続可能な開発目標）「6.3 2030年までに、汚染の減少、投棄の廃絶と有害な化学物・物質の放出の最小化、未処理の排水の割合半減及び再生利用と安全な再利用の世界的規模で大幅に増加させることにより、水質を改善する。」より概算した。

また、各国の系統電力のCO₂排出係数についてはグリッド排出係数一覧表の「Operating Margin EF (Average)」数値を採用した。ただし、ミャンマー国については、二国間クレジット制度（JCM）「ヤンゴン市における廃棄物発電」(http://gec.jp/jcm/jp/wp-content/uploads/2017/05/2014FS216_21j_rep.pdf) の数値を採用した。

アジア各国における系統電力のCO₂排出係数（単位：tCO₂/MWh, 有効数字4桁）

国名	Operating Margin EF (Average)
インドネシア	0.8130
フィリピン	0.6295
タイ	0.5724
ベトナム	0.6377
マレーシア	0.6194
ミャンマー	0.3946
カンボジア	0.6281

そのほか、植林によるCO₂吸収量については環境省「B-60 京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究（1）森林の炭素吸収量計測システム・評価モデルの開発 5）CDMによる森林の炭素吸収量評価手法の開発」

(<https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/pdf/J06B0060150.pdf>) を参考に年間炭素固定量を8tC/ha/yr（≒29.3tCO₂/ha/yr）とし、東京ドームの容積については株式会社東京ドーム HP (<https://www.tokyo-dome.co.jp/faq/dome/>) より124万m³とした。