

インフラ体力診断 (下水道 WG)

1. 下水道インフラの計画目標とその意味
2. 計画目標の達成度
3. 整備水準及び計画目標の国際比較
4. 質的評価
5. 総合アセスメント

参考資料

- A) 都道府県, 政令市別の都市浸水対策達成率
- B) 都市規模別の污水处理人口普及率
- C) EU における下水処理場の放流水質基準
- D) 下水処理場における放流水質基準と計画放流水質
- E) 嫌気性消化とバイオガス有効利用の現状と展望
- F) 下水汚泥の熱処理から熱リサイクルに転換した場合のエネルギー収支の改善効果
- G) 再生水利用の各国の取り組み
- H) 本報告で対象とした国の下水道事業に関する基本情報

1. 下水道インフラの計画目標とその意味

下水道は、都市内に降った雨水を排除し浸水被害を防止すること、し尿や雑排水を収集・処理して都市内の衛生環境を保つとともに、公共用水域（河川や湖、海域など）の水質汚濁を防止することを目的としている他、近年は下水道を通して回収される水やさまざまな資源の有効利用に取り組み、循環型社会の形成に貢献することを目的としている。

浸水防止については、被害を最小化すべく効率的なハード対策の着実な整備に加え、ソフト対策、自助の取り組みを組み合わせた総合的な浸水対策を推進し、概ね 5 年に 1 度の大雨に対して安全であることを目標としている。特に、気候変動に伴う降雨量の増加や短時間豪雨の頻発等の懸念、下水道の施設計画を超過する降雨による内水被害の発生等を踏まえ、気候変動を踏まえた中長期的な計画の検討、下水道施設の耐水化の推進や流域治水関連法の整備、下水道による内水対策に関するガイドライン類の改訂等を進めている。

衛生環境の保持と公共用水域の水質改善については、汚水処理の未普及地域の解消を目標として、地域の実情に応じた農業集落排水施設や浄化槽等との連携や低コストの下水道整備手法の導入などの取り組みが進められている。また、下水処理場については、公共用水域の状況等を考慮して放流水質基準や計画放流水質が定められており、これに対応可能な適切な処理方法を採用する仕組みが導入されている。

さらに循環型社会形成への貢献については、再生水、バイオマスである下水汚泥、栄養塩類、下水熱などの活用による下水道システムの集約・自立・供給拠点化が掲げられているとともに、国の地球温暖化対策計画においては、2030 年度までに創エネ・省エネ対策の推進により 2013 年度比 130 万 t-CO₂ の削減、汚泥焼却施設における燃焼の高度化等により 2013 年度比 78 万 t-CO₂ の削減が位置付けられている。

2. 計画目標の達成度

(1) 浸水防止

図 1 に都市規模別の都市浸水対策達成率¹を示す。令和 2 年度末の同達成率は全国で約 60%である。都市規模別では、都市規模が大きいほど達成率が高く、政令指定都市では、約 70%を超えているが、30 万人未満の都市では、50%未満である。全国的に達成率を向上する必要がある、特に、中小都市の対策の推進が急務である。

(2) 汚水の収集処理

図 2 において、総人口に対して下水道処理人口普及率は下水道により汚水処理を行っている人口の割合を、汚水処理人口普及率は浄化槽や農村集落排水施設等も含めて汚水処理が行われている人口全体の割合を表している。下水道により汚水処理が行われている人口の普及率は継続して増加しており、そのほかの施設も含めて考えた汚水処理人口は 9 割を超えており、着々と未普及地域が減ってきている状況にはある。また、下水道および汚水処理施設の普及に伴い、環境基準達成率は上昇している。しかし、一方で1割弱の人口についてはまだ汚水処理が行われていない状況にある。

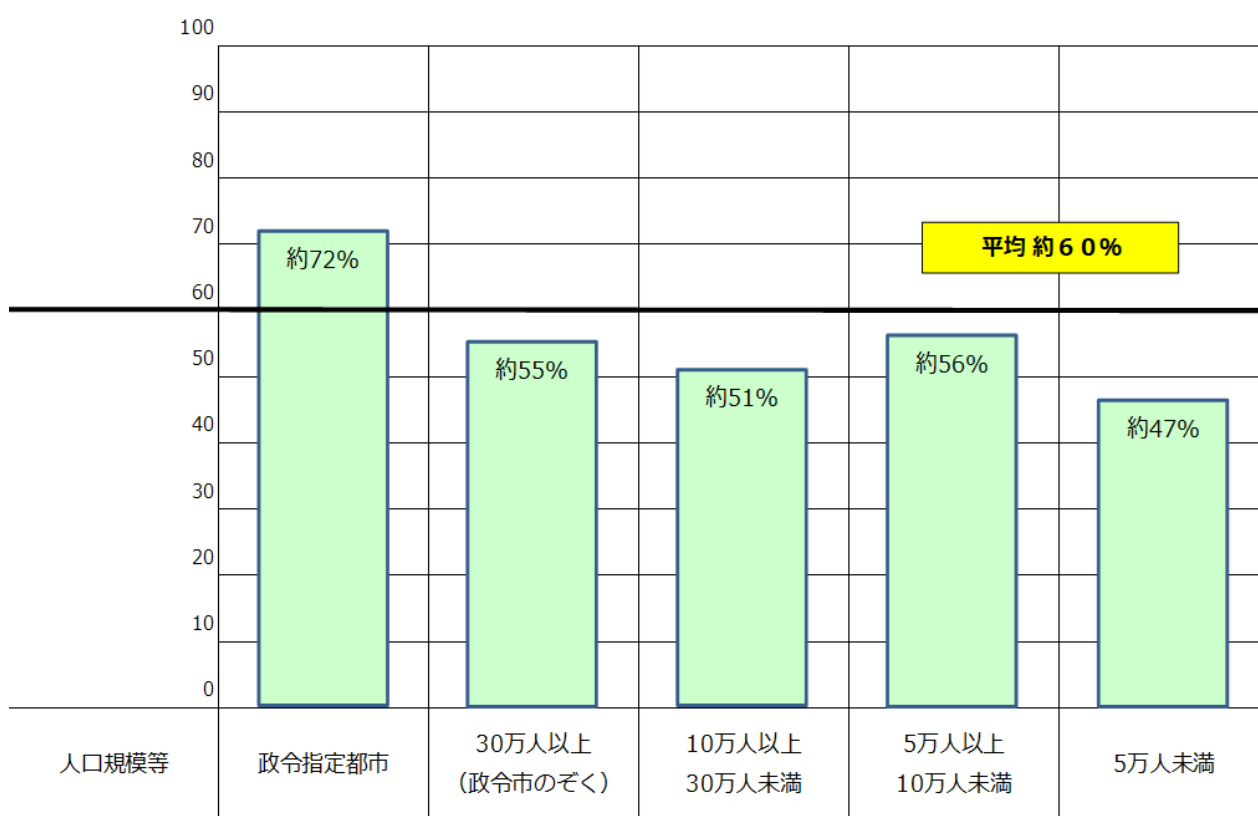


図 1 都市規模別の都市浸水対策達成率²

¹ 公共下水道又は都市下水路による都市浸水対策の整備対象地域の面積のうち、概ね 5 年に 1 度の大雨に対して安全であるよう、既に整備が完了している区域の面積の割合

² 国土交通省作成

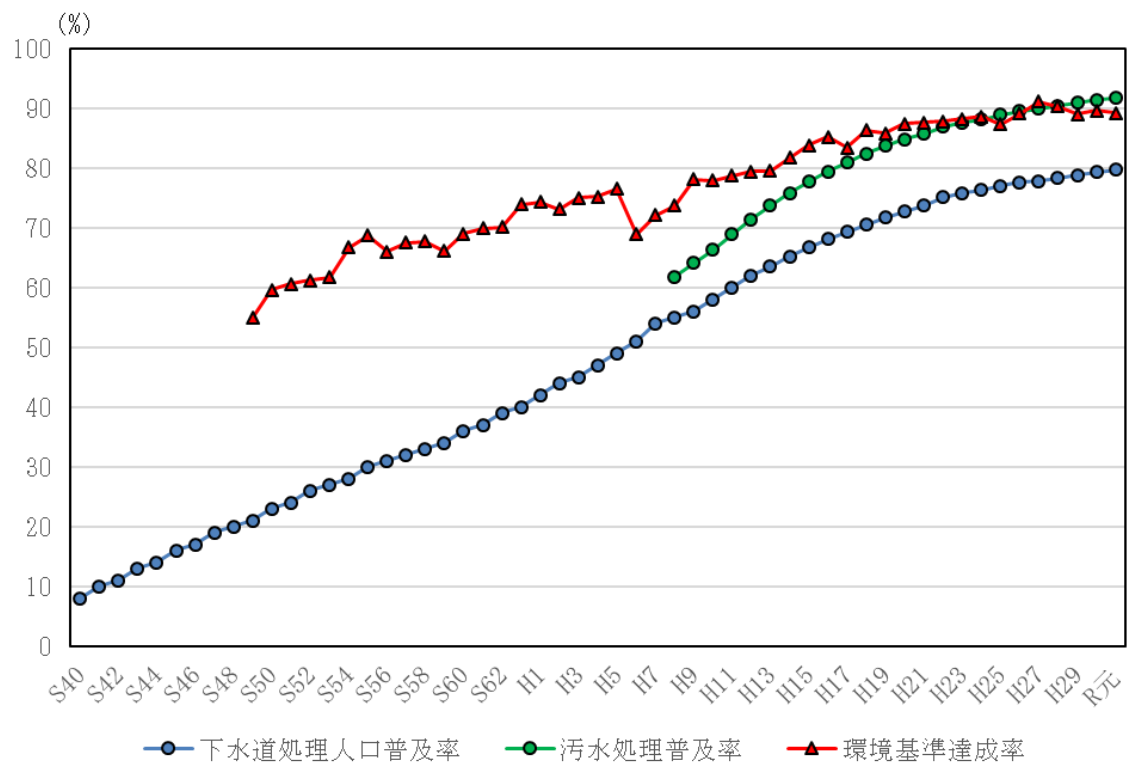


図2 汚水処理人口普及率・下水道処理人口普及率および環境基準達成率の推移³

³ 国土交通省(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000134.html)より作成

3. 整備水準及び計画目標の国際比較

(1) 浸水防止

表1,表2にわが国ならびにEU, イギリス(ロンドン), フランス(パリ), 中国(北京), 韓国, 台北の浸水対策の整備水準と計画目標の比較を示す。前提として, 各国で降雨規模や発生頻度は異なり, 降水量の確率分布の幅が異なるため, 単純に計画雨量や確率降雨を持って比較できないことは理解しておく必要がある。

整備方針として, 各国, 各都市において, 重点地区や一般地区など, いわゆる「選択と集中」によるメリハリのある整備方針であることが確認できる。整備水準として, EU, イギリス, フランスでは再現期間⁴として1/50~1/100の降水量を目標としている。一方, アジアでは再現期間はより短く設定されている都市もある。日本ではL1降雨, L1'降雨, L2降雨が設定されており, よりきめ細かな目標整備水準となっている。L1降雨は, 浸水被害の発生を防ぐべき目標となる計画降雨であり, 例えば, 重点地区:1/10年確率, 一般地区:1/5年確率となっている。L1'降雨は, 計画規模を上回る降雨時の浸水被害の軽減を図る目標の降雨である。一般的には各都市の既往最大降雨が用いられている場合が多い。L2降雨は, 安全な避難の確保を図る目標の降雨として, 想定最大規模降雨が用いられている。L1'降雨の再現期間は地域により異なるが, L2降雨の再現期間は1/1000年程度,あるいはそれを上回るものである。また, 2021年に, 雨水管理総合計画策定ガイドラインが改定され, 当面は, 現在のハード整備に用いる計画降雨に, 地球温暖化の影響として2℃上昇を考慮した降雨量変化倍率を乗じて気候変動を考慮した計画降雨を設定する方針を示している。

表1 各国の雨水対策の整備水準及び計画目標の比較

	日本	EU	イギリス	フランス	中国	韓国
整備方針	浸水被害の軽減対策を促進するために, 想定最大規模降雨に対する雨水出水浸水想定区域を指定。 ハード整備の目標は重点地区と一般地区を設け, 各都市の計画降雨を用いて整備。 また, ハード整備の長期的な目標として, 2℃上昇を考慮した降雨変化倍率を計画降雨に乘じて設定。	①沿岸域の洪水リスク評価を実施し潜在的な重大な洪水リスクが存在する地域を特定すること, ②洪水ハザードマップと洪水リスクマップを作成すること, ③リスクのあるゾーンに対して洪水リスク管理計画を策定することを義務付け 洪水ハザードマップおよびリスクマップの作成においては, 想定するべき洪水の頻度を高頻度, 中頻度, 低頻度の3段階で設定	EU洪水指令と同様に3段階での洪水ハザードマップの策定が義務づけ 各下水道事業者に対して, 新たに長期的な(25年以上の)排水・下水道管理計画(Drainage and sewerage management plan 'DWMP)を作成することが義務付け	国家レベル、流域レベル、地方自治体レベルでそれぞれ洪水リスクに関する浸水対策(IRR, PAPI等)が整備	雨水管渠及び排水・除水施設の設計基準は必須条項には分類されておらず、努力義務の基準	都市浸水予防については、各自治体が降雨量と降雨パターンを考慮して防災目標を策定し、浸水地域に対しては下水道管路の設計基準を現行の計画降雨10～30年から30～50年に引き上げる対応をすることが示されている。
目標整備水準	想定最大規模降雨(L2)は概ね1/1000年確率。 計画降雨(L1)は、 重点地区:1/10年確率 一般地区:1/5年確率 を設定。これに気候変動(2度上昇)を考慮した降雨変化倍率(1.1倍、1.15倍(地域により異なる))を設定。		1/50年確率	1/100年確率	都市規模に応じて20～100年確率	1/10～1/30年(現状) 1/30～1/50年(将来)
出典	新しい時代における下水道のあり方(2007)、 雨水管理総合計画策定ガイドライン(案)(2021)	EU洪水指令(2007)(Flood Directive)	Flood Risk Regulations (2009)	リスク対策に係る国家環境戦略の策定(2010) 洪水リスクの評価と管理(2011)	中国人民共和國国家基準GB50014-2021室外排水設計基準(2021)	気候変動に伴う暴風雨及び洪水に対応した革新的かつ包括的な対応策(2020)

⁴ ある規模の降水量が平均してどれくらいの期間に一度起こるかを表すもの。

表 2 各都市の雨水対策の整備水準及び計画目標の比較

	東京	ロンドン	パリ	北京	台北
整備方針	区部全域で1時間50ミリ降雨への対応を基本とし、浸水被害の影響が大きい大規模地下街や甚大な浸水被害が発生している地区においては、1時間75ミリに対応する施設整備を推進	Water UKが公表したフレームワークに基づいてDWMP	ゾーンごとに4,8,12,16mmを超えた雨水の流出を下水道への流出許容量として設定。	浸水対策及び雨水の利活用を目的とした「海綿都市計画」に伴い整備。重要地域、都心・副都心、新都市で異なる整備水準	1時間あたり最大78.8 mm (=再現確率1/5年) 対応の設計。上記治水基準を2030年までに88.8mm/h (=再現確率1/10年) に引き上げる長期計画を発表
目標整備水準	河川と下水道の整備により 長期計画: 1/20年確率 基本計画: 1/100年確率	1/50年確率	(降雨量16mmに対する削減量: 4, 8, 12, 16mm)	重要地域: 1/100年確率 都心・副都心: 1/50年確率 新都市: 1/20～1/30年確率	1/5年確率(現状) 1/10年確率(将来)
出典	東京都豪雨対策基本方針(改定)(2014) 下水道浸水対策計画2022(案)	Drainage and Wastewater Management Plans 2018)	ParisPluie (2018)	海綿都市計画(2020)	台北市雨水下水道施設規則設計規範

(2) 汚水の収集処理

総人口に対する下水道で汚水処理が行われている人口の比率を表す「下水処理施設への接続率」について OECD が集計しているものを図3に示す。2019年のデータが公開されている20カ国で比較すると、日本は78.7%で下から6番目となる。また、図4は今回比較対象としている、イギリス、フランス、ドイツ、韓国と日本の時系列データを載せたものである。このように、OECD諸国の中では下水道での汚水処理人口率が相対的に低い状況にあるが、各国における下水道の定義が異なるため一概には比較できない⁵。

図5の「家庭排水および産業排水の安全な処理割合」は、SDGs⁶の目標6.3「2030年までに、汚染の減少、有害な化学物質や物質の投棄削減と最小限の排出、未処理の下水の割合半減、およびリサイクルと安全な再利用を世界全体で大幅に増加させることにより、水質を改善する。」の達成度を測る指標として、生活排水、営業排水、工業排水の処理率を集計したものである。このデータは、工業排水の処理状況も含んだものであり、生活排水や営業排水についても下水道だけでなく、浄化槽などで処理されたものも含んだ値となっている。2020年において日本は97%となっており、OECD38カ国の中では上から7番目となっており、さまざまな汚水の処理状況全体から考えると、比較的進んでいる状況となっている。なお、都市規模別にみると、参考図1に示す通り10万人未満の自治体の汚水処理人口普及率が低いことから、これらの地域での汚水処理施設の更なる普及が必要である。

⁵ 国によって下水道事業として含まれるものの規模は異なっている。なお、日本の数値は「公共下水道」の普及率であり、合併浄化槽も含めた普及率は、2020年度末で92.1%

⁶ Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標) の略。2016年から2030年までの国際目標。17ゴール・169ターゲットを掲げている。

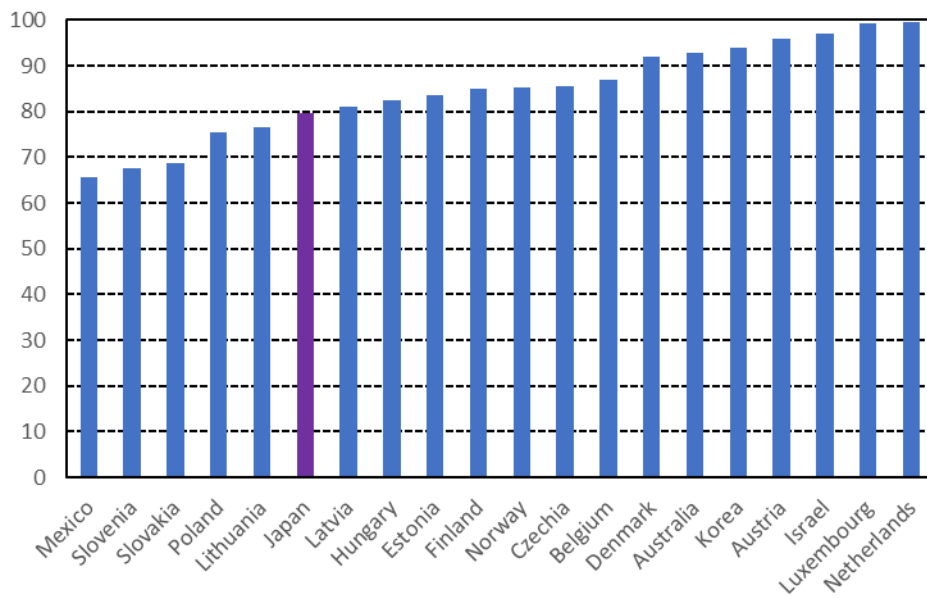


図3 OECD 諸国における「下水処理施設への接続率」(2019年)⁷

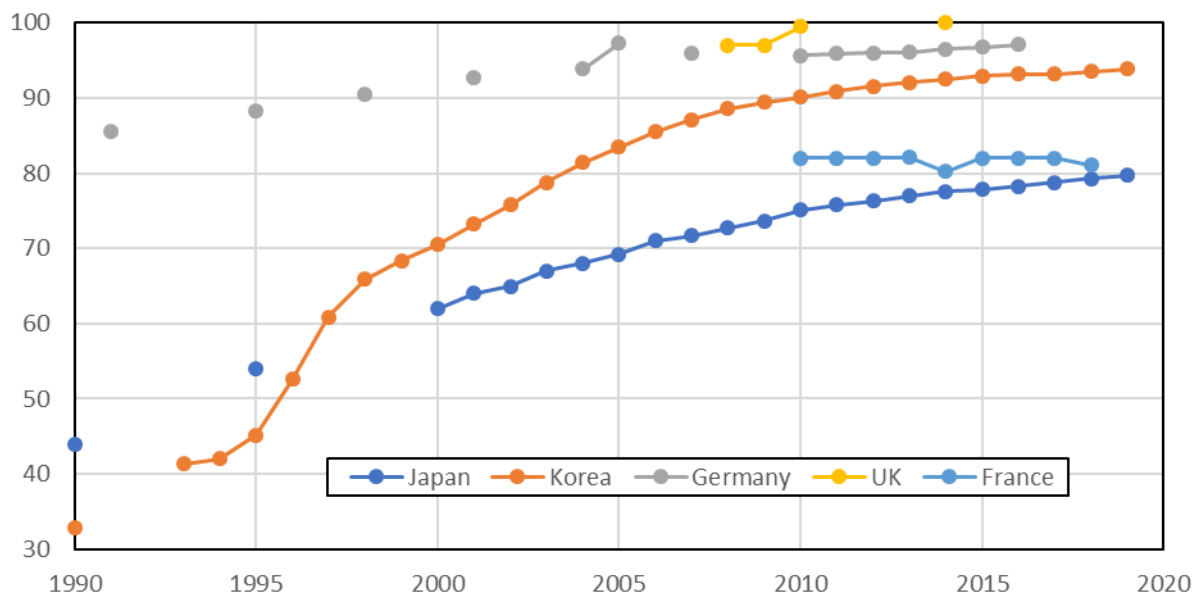


図4 OECD 各国における「下水処理施設への接続率」の推移⁸

⁷ OECD「OECD Data - Waste water treatment」(<https://data.oecd.org/water/waste-water-treatment.htm>)より作成。

⁸ OECD「OECD Data - Waste water treatment」(<https://data.oecd.org/water/waste-water-treatment.htm>)より作成。

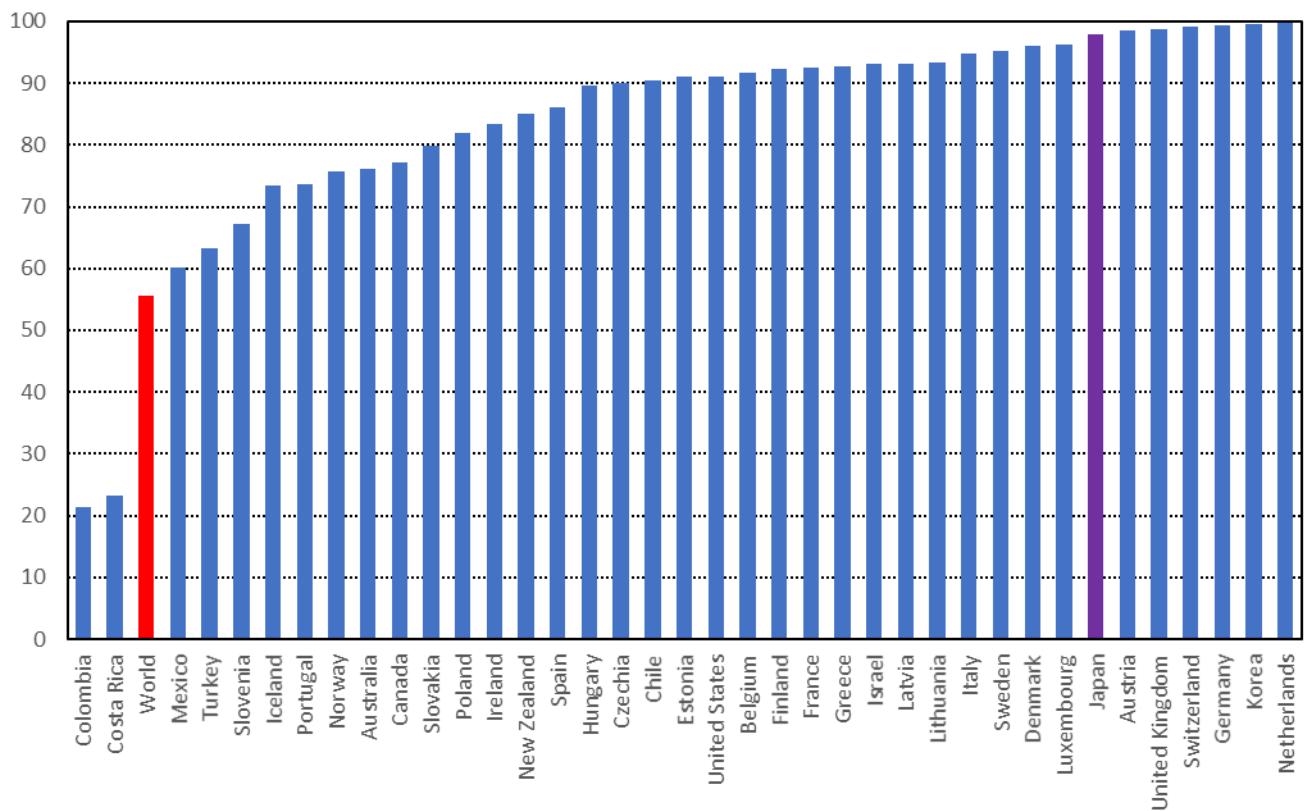


図5 OECD加盟国における「安全に処理された家庭排水及び産業排水の割合」(2020年)⁹

⁹ Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations「SDGs Indicators Database」(<https://unstats.un.org/sdgs/UNSDG/IndDatabasePage>)より作成。

4. インフラの質的評価

(1) 浸水防止における気候変動への対応

令和 3 年度の全国の基礎自治体を対象とした調査に基づく結果として、現在、雨水の事業計画が策定済みの自治体数のうち、9 割以上の自治体では計画降雨を 5～10 年の確率年としている。しかし、上述の通り、現状の都市浸水対策達成率は約 60%であり、計画遂行のために、着実に対策を進めていく必要がある。また、L1¹⁾降雨を設定している自治体や L2 降雨を設定している自治体は 1 割未満であり、計画規模を上回る降雨時の浸水被害の軽減、安全な避難の確保への対応ならびに下水道の段階的整備が求められる。

また、わが国では、気候変動の影響を踏まえた下水道による浸水対策として、平均気温 2℃上昇を考慮した降雨量変化倍率を乗じて計画降雨および計画雨水量の算定を行う方針を打ち出した。変化倍率は、科学的知見に基づき北海道北部、北海道南部は 1.15 倍、その他の地域は 1.10 倍としている。そのため、より一層の浸水対策が求められるが、その整備には長期間を要するため、段階的対策計画の策定(図 6)として、既存施設の有効活用やハード整備の加速化・充実や治水計画の見直しに加え、上流・下流や本川・支川の流域全体を俯瞰し、国や流域自治体、大学・研究機関、企業・住民等、あらゆる関係者が協働して取り組む「流域治水」の実効性を高めることが必要である。

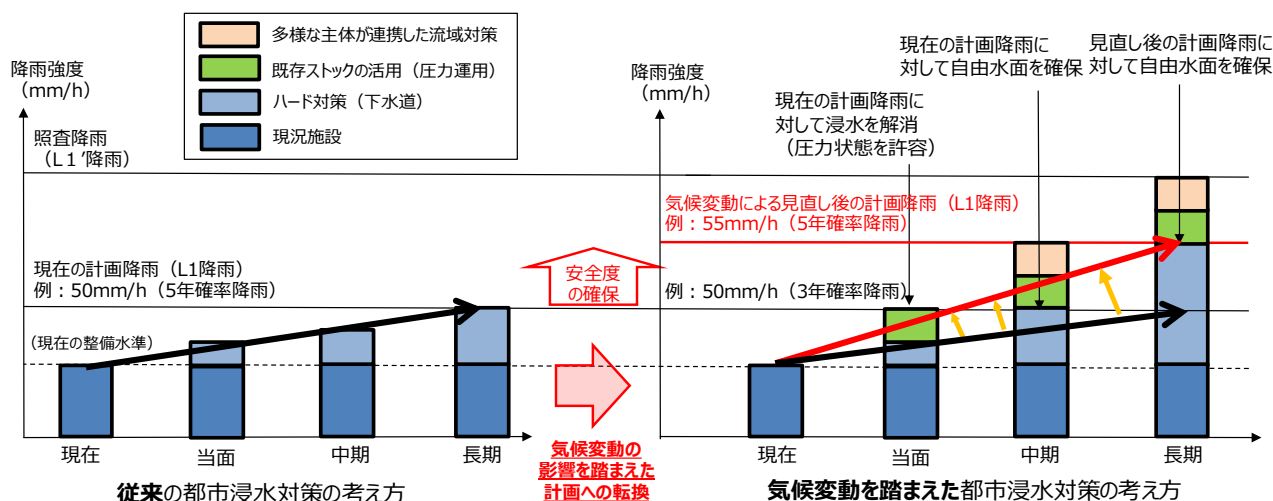


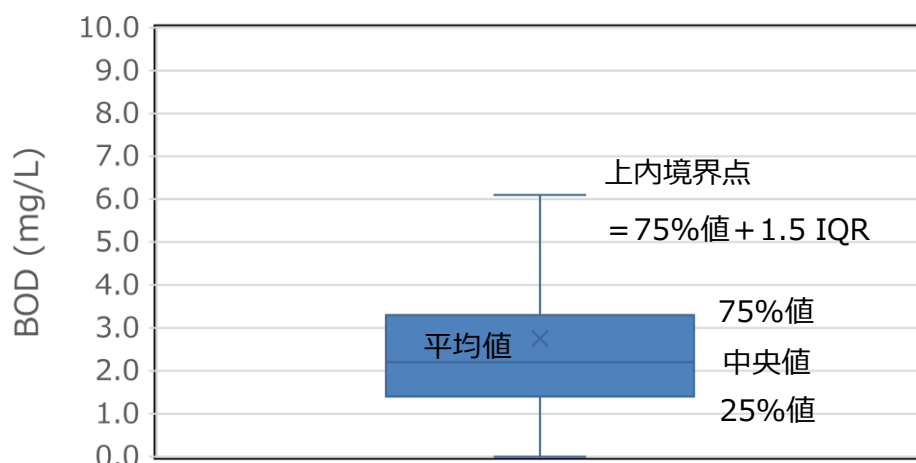
図 6 気候変動の影響を考慮した段階的対策計画のイメージ¹⁰⁾

(2) 放流水域の水質保全への貢献

図 2 に示す通り下水処理人口普及率は 1965 年の 8%から、現在は 80%を超えるまで上昇し、このことは放流水域の水質の改善や保全に大きく貢献してきた¹¹⁾。また下水道統計による全国 2187 カ所の下水処理施設の放流水質の状況(図 7)を見てみると、年平均の BOD の中央値は 2.2 mg/L、平均値は 2.9 mg/L、75%値は 3.5 mg/L、90%値は 5.5 mg/L、外れ値に相当する 75%値+1.5×IQR(四分位範囲)で表される上内境界点は 6.5 mg/L であった。これらの結果より、日本全国のほとんどの下水処理場において年平均 BOD 処理水質は後述する計画放流水質を十分に下回っていることを示している。

¹⁰⁾ 国土交通省「雨水管理総合計画策定ガイドライン(案)」(令和 3 年 11 月)より

¹¹⁾ コラム 1 を参照



流出年平均BOD濃度 (n=2187)

図7 流出水年平均 BOD 濃度 (令和元年度) (n=2187)

コラム1:多摩川におけるアユの遡上

下水道整備により、一時は汚染が進んでいた多摩川の水質は回復し、2012年には、調査を開始した1983年以降最高となる推定約1,194万尾のアユが遡上しました。直近の2022年でも、推定約250万尾のアユが遡上しました。

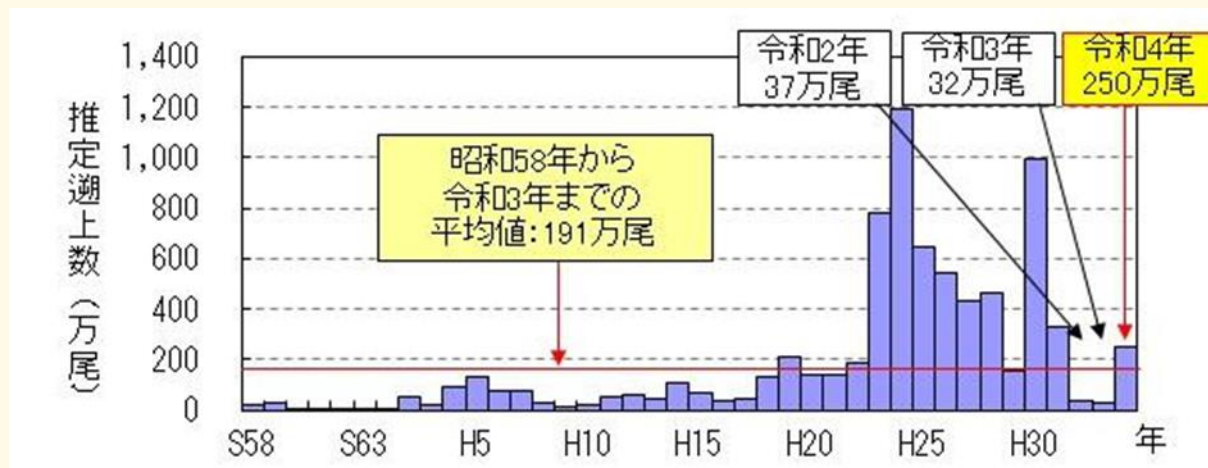


図8 多摩川におけるアユの推定遡上数の推移(1983年~2022年)¹²

下水処理施設の計画放流水質の考え方は国によって異なる。EU では 1991 年に定められた都市排水指令 (Urban Waste Water Directive) にて、下水の処理方式、放流水質基準が定められており、EU 加盟国ではこれを遵守するよう国内法および州法が定められている。放流先を通常水域、特に富栄養化が懸念される重要水域 (sensitive area)、非重要水域 (less sensitive area) の 3 つに分け、重要水域についてはより厳しい水準を適用するなど、放流先により異なる処理水準や放流水質を求めている。基準が設定されている項目は生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、全浮遊物質 (TSS)、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) であり、放流水質 (mg/L) もしくは削減負荷量 (% 流入負荷削減) のいずれかの指標が適用される (参考表 2、参考表 3)。BOD、COD、TSS については、年間を通じた測定結果のうち、要求水準を満たさないものの許容回数が定められており、水質の分布を考慮した判断基準となっている (参考表 4)。また、重要水域の T-N、T-P の規制については、当該水域に放流する処理場全体での T-N、T-P の削減率が 75%

¹² 東京都 (<https://www.ifarc.metro.tokyo.lg.jp/topics/tamagawa/20220601-140716.html>) より

以上であれば、個々の処理場には適用しなくてもよいという総量規制に近い考え方が定められている。いずれも、個々の時間、場所による評価ではなく、年間を通じたエリアでの総合的な放流水質管理という考え方が見える。なお、参考表 2 に示されているように、EU における放流水質基準では BOD は硝化にともなう酸素消費を考慮しないいわゆる C-BOD として規定されていることに注意が必要である。

一方日本では、下水道法施行令の一部を改正する政令（平成 15 年 9 月 25 日政令第 435 号）により、下水の放流先の河川その他の公共用水域または海域の状況等を考慮して、下水道管理者が計画放流水質を定め、これに対応可能な適切な処理方法を採用する仕組みを導入している。計画放流水質は最大値により定めることとなっており、BOD、T-N、T-P のみに適用される（参考表 5）。なお、pH、浮遊物質（SS）、大腸菌群数は一律の放流水質基準となっている（参考表 6）。計画放流水質は、放流量および下水の放流先となる河川ほかの公共用水域または海域の水量または水質を勘案し、放流が許容される BOD、T-N、T-P を科学的方法を用いて算出した数値として定めることとされている。この「科学的方法」とは、放流水の水質、放流先の水量・水質について、データの裏付けにより示すこと、汚濁解析の手法により数値の算定を行うこと等を意味している。なお、当該地域に関して、流域別下水道整備総合計画が定められている場合には、これと整合性が取れている必要がある。

このように、EU と日本では放流水質基準の考え方に違いがあり、基準の達成状況等を一概に比較はできない。しかし、BOD の放流水質基準に関しては、EU では硝化抑制の方法において 25mg/L が基準値として示されているのに対して、日本では硝化を抑制しない方法で 10mg/L 以下または 15mg/L 以下が計画放流水質として設定されていることから、日本の方がより厳しい基準を設定しているといえる。その中で図 7 に示す通り、全国のおよそ 90% の下水処理場において処理水質は計画放流水質を十分に下回っていることから、日本の下水道は国際比較においても有機物除去に関しては放流水域の水質保全への十分な貢献をしていると評価できる。

（3）カーボンニュートラルおよびグリーン化への対応

下水道では、全国で年間約 147 億 m^3 の下水を処理しているが、その過程で多くのエネルギーを消費している。全国の電力消費量の約 0.7%（約 75 億 kWh）の電力を消費し、日本の温室効果ガスの約 0.5%（約 596 万 t-CO_2 ）を排出している。排出量の内訳を見ると、処理場やポンプ場における電力・燃料の消費にともなう排出、水処理にともなう一酸化二窒素・メタンの排出、汚泥焼却にともなう一酸化二窒素の排出等からなり、処理場における電力消費にともなう排出量が 54.8% と最も多い（図 9）。下水道からの温室効果ガス排出量は、1990 年度から 2005 年度の間には約 49% 増加しており、処理水量の伸び（同比約 34% 増加）を上回っていた。その後、下水道施設における省エネ・創エネ対策や一酸化二窒素の削減対策等¹³が行われたことにより、2005 年度から 2018 年度の間には処理水量が約 6% 増加したにもかかわらず、温室効果ガス排出量は約 17% 削減されている。また、2030 年度の排出量は電力係数の低減を見込め、だうえて約 192 万 t-CO_2 にまで減少すると見込まれている。

イギリス、フランス、ドイツ、日本における下水道からの温室効果ガス排出量を図 10 に示す。ドイツの排出量は下水道と水道の合算となっている。公表されているデータを直接比較すると、イギリス、フランスの温室効果ガス排出量は日本よりも低い値となっている。下水道からの排出量として集計している内訳が異なることや消費電力量等から温室効果ガス排出量に換算する原単位が異なる等が考えられる。

¹³ 生物処理における散気装置の効率化、汚泥からのメタンガス回収や下水熱の利用、汚泥焼却における燃焼温度の管理による一酸化二窒素の発生抑制など

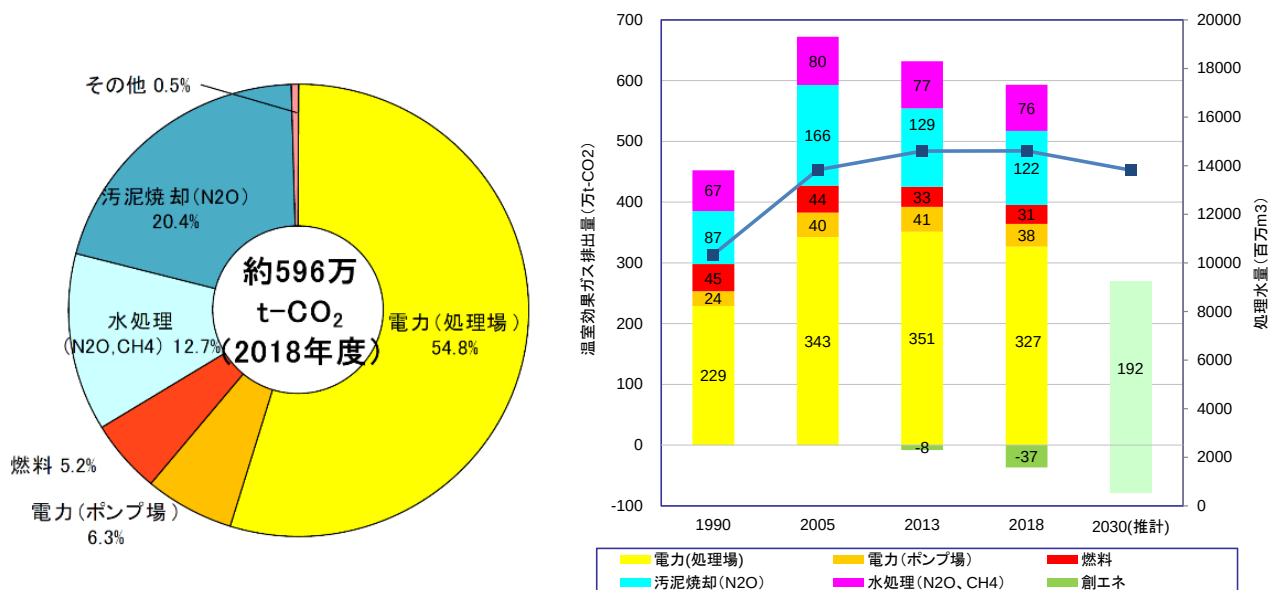


図9 日本の下水道からの温室効果ガス排出量¹⁴

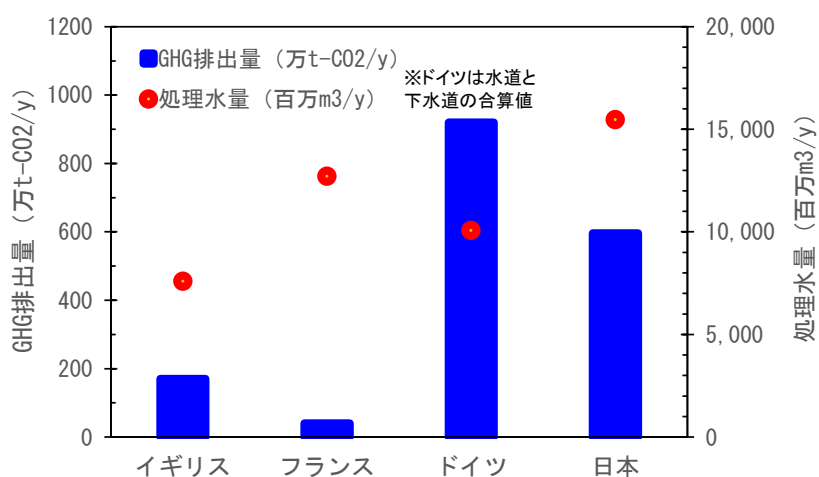
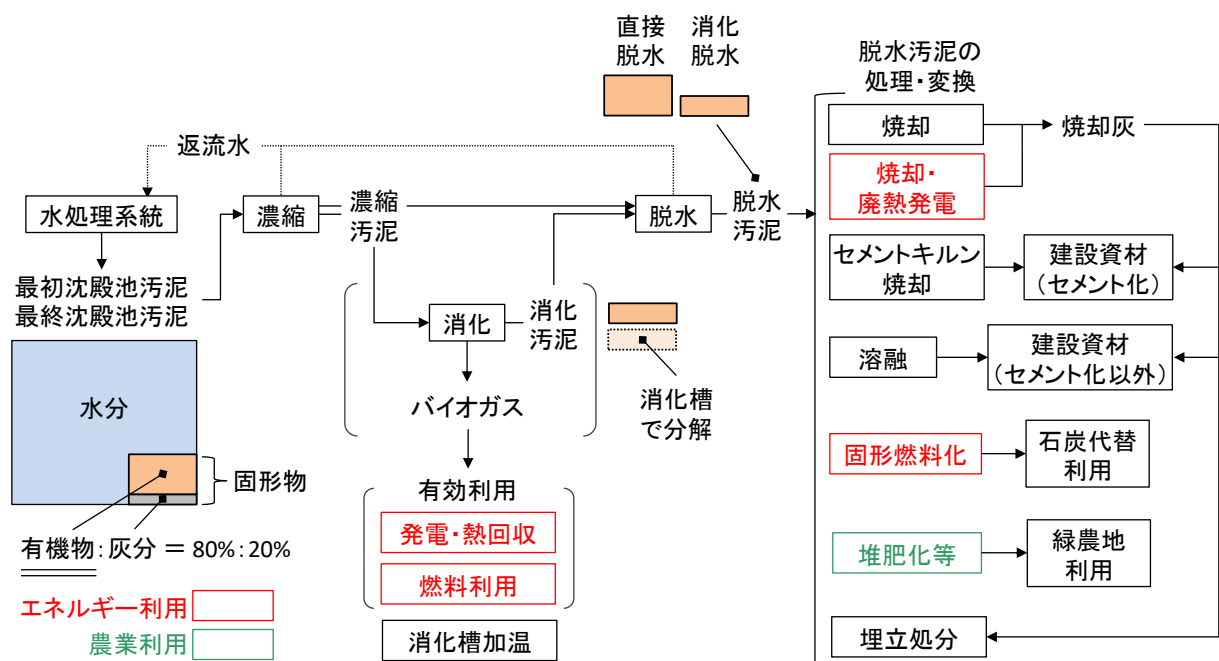


図10 イギリス, フランス, ドイツ, 日本の下水道からの温室効果ガス排出量¹⁵

¹⁴ 国土交通省, (公社)日本下水道協会「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報告書 ~脱炭素社会を牽引するグリーンインベション下水道~」より作成

¹⁵ Net Zero 2030 Routemap, Water UK, Emissions dans l'air - Source Citepa édition 2021 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, CIETEP, Daten der deutschen Berichterstattung atmosphärischer Emissionen - Treibhausgase 1990-2019, Umwelt Bundesamt より作成



下水道のカーボンニュートラル化、グリーン化において重要となるのが、下水汚泥をいかに処理、資源化するかにある。下水汚泥の処理・資源化のフローは図 11 に示す。

下水汚泥の資源化状況を表す指標として、日本では下水道バイオマスリサイクル率(下水汚泥のエネルギー・農業利用率)を設定している。これは、有機物量ベースでの下水汚泥発生量 [t-VS/年] に対し、エネルギー用途または農業用途で利用できている有機物量 [t-VS/年] の割合を把握するための指標である。2019 年度時点で、バイオガスの利用が 16%、固形燃料または焼却廃熱の利用が 8%、農業利用が 10%であり、34%に到達している¹⁶。日本の特徴は、脱水汚泥の熱処理(Thermal treatment, 汚泥単独での焼却など)に取り組んできたことにある。下水汚泥のエネルギー利用は、国際的には嫌気性消化によるバイオガス回収とその有効利用が主流であり、日本も同様に取り組んできた。一方で、日本は脱水汚泥の熱処理にも力を入れてきたため、消化により汚泥中有機物をバイオガス回収のために分解させると、その後には有機分率が低下した脱水汚泥を焼却する際の燃料消費の増加を招くこととなる。そのため、消化(汚泥処理プロセスの前段に配置)で有機物を活用するのか、後段の脱水汚泥の熱処理で有機物を活用するのか、そのバランスを考える必要があった。

一方で、EU における下水汚泥のエネルギー利用は、消化によるバイオガス回収とその有効利用に特化して評価される。2014 年には EU 全体で 625 PJ/年のバイオガスが産出されており、うち下水汚泥から 57 PJ/年のバイオガスが回収されている¹⁷。下水汚泥のみに限定すると、ヨーロッパではドイツ、イギリスでのバイオガス産出量が多い。イギリスの「Digest of UK Energy Statistics (DUKES) 2020」では、下水汚泥由来のバイオガス発電は 2019 年に 1,049 GWh/年(約 3.8PJ に相当)まで到達していることを報告している。イギリスでは脱水汚泥の配分が、農地利用 87%、焼却 4%、工業利用 3%、埋立 6%となっており、熱処理の比率が極めて低いため、積極的に消化によるバイオガス回収で汚泥中有機物を活用する方針である。一方、ドイツは熱処理について処理能力 1,150,000 t-DS/年(ヨーロッパにおける処理能力の 45%)を保有しており、ドイツ国内での脱水汚泥焼却率も 70%(2017 年値)と高く¹⁸、消化によるバイオガス回収と脱水汚泥の熱処理が併用されている。脱水汚泥の焼却率については、オランダが 100%、スイスが 97%、ベルギーが 89%と、他にも高い国がある。

¹⁶ 国土交通省「資源・エネルギー循環の形成」(http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)より

¹⁷ B. Kampman et al., "Optimal use of biogas from waste streams - An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020", European Commission, 2017. (<https://edepot.wur.nl/416128>)より

¹⁸ M. Schnell et al., "Thermal treatment of sewage sludge in Germany: A review" Journal of Environmental Management, 263, 2000.

国際的には日本の強みは熱処理であり、熱処理から熱リサイクル (Thermal recycling) へと転換するための技術開発を進めてきた (エネルギー収支の改善効果の試算例は参考図 2 に示す)。既に熱リサイクルは実用段階に移行しており、焼却炉にボイラを設置して蒸気利用を行う焼却・廃熱発電への更新や、乾燥造粒、低温炭化に代表される固形燃料化の導入が、2030 年温暖化対策中期目標に向けて進められている。

(4) 再生水利用

米国カリフォルニア州においては、1918 年に米国で初めてとなる下水再生水の農業利用に関する規制が制定されるなど再生水利用に関して長い歴史がある。2015 年ではおよそ 3.59 億 m³/年の再生水が農業用灌漑に用いられている。2012 年には、米国環境保護庁が「Guidelines for Water Reuse (2012 Guidelines)」を公表し、再生水の飲用再利用の用語として De Facto Reuse (下水処理場の処理水排出口の下流に浄水場の取水口があり、事実上下水処理水の飲料水としての再利用が行われている)、Direct Potable Reuse: DPR (下水再生水が直接浄水場に供給される)、Indirect Potable Reuse: IPR (下水再生水を水道水源の涵養に用いる。水源涵養に用いることで、飲用取水するときには一定の環境バッファが期待されている) が定義された。

欧州では、2000 年には、EU 内の水域を対象とした環境保護と利水に関する統合的な政策である EU 水枠組み指令¹⁹が発効し、2018 年には ISO のガイドラインを受けた処理水の灌漑利用に関する規則が採択された。2006 年において、都市下水処理量の 2.4%にあたる 9640 万 m³が再利用されている。

日本では、2018 年度において全下水処理量の約 1.5%に当たる年間約 2.2 億 m³の下水処理水が再生水として利用されている。そのうち 34.7%が河川維持用水として、23.7%が修景用水として、19.6%が融雪用水として利用されている^{20, 21, 21}。また諸外国で主な再利用先として用いられている農業用水への再利用は 7.0%にとどまっている²¹。我が国では、国土交通省が平成 17 年に「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」を策定し、水洗トイレ用水、散水用水、修景用水といった再生水の利用用途に応じた水質基準が設定されている。また農林水産省でも ISO 16075「下水処理水のかんがい利用プロジェクトに関するガイドライン」を参考に 2017 年に「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案)」が公表されている。

上述の通り、日本は比較的水資源が豊富であり、状況が類似している欧州と同等程度の再生水利用を行っている。また処理水の再利用に関しては、国土交通省が我が国の中心となり、国際標準規格 ISO の ISO/TC282 (Water reuse: 水の再利用) を 2013 年 6 月に設立し、再生水利用の国際規格の開発を進めている²²。これまでに 29 件の規格が発行されており日本の水処理技術の優位点 (省エネルギー、高性能、信頼性等) が適切に評価され、国際展開 (水インフラの輸出等) が促進されることが期待されている。

¹⁹ Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

²⁰ 具体的な事例はコラム 2 を参照。

²¹ 令和 3 年版 日本の水資源の現況, 国土交通省 水管理・国土保全局水資源部

²² コラム 3 を参照

コラム 2:我が国における下水再生水の利用事例

東京都の玉川上水は、江戸の町の発展にともなって増え続ける人口に飲料水・生活用水を確保するため、1653年に造られた水道の遺溝だが、一時は水が跡絶えていた。現在は清流復活事業として高度処理下水を流している²³。兩岸は樹木が生い茂り、野草の宝庫になっており、身近に親しめる水辺空間を創出している。

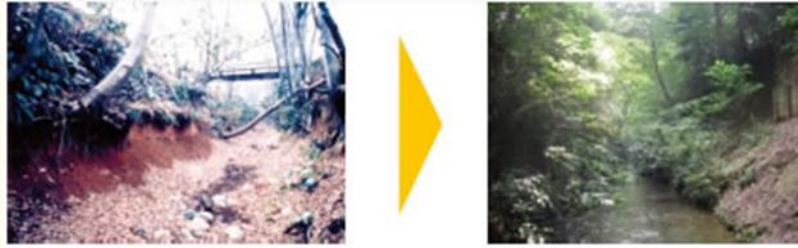


図 12 玉川上水における下水再生水の利用²⁴

また、富山県射水市の新湊大橋では、主として土工部において下水処理水の散水による消雪、主として鋼橋部において下水熱を利用した融雪を行っている。



図 13 新湊大橋における下水処理水を利用した消雪(左)、融雪(右)²⁵

コラム 3:我が国の再生水利用の国際規格に関する取組

水資源の安定性向上や循環型社会の構築に向け、世界的に再生水の利用が重要視されている。このような中、我が国では処理性能や省エネ特性、経済性等に優れた水処理技術を有しており、膜処理や UV 消毒、オゾン処理、イオン交換等の先進的技術を国内外に展開している。今後、世界市場におけるプレゼンスを高め、さらなる国際貢献を図るため、国際規格を制定する ISO (International Organization for Standardization) に我が国が中心となって再生水に係る技術委員会を設立し、国内の関係機関及び各国と協力して、再生水利用の国際規格の開発を進めている。

²³ 三鷹市 (https://www.city.mitaka.lg.jp/c_service/087/087928.html) より

²⁴ 東京都 (<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/contractor/d3/kankou/2012tokyo/08b/index.html>) より

²⁵ 国土交通省 (<https://www.mlit.go.jp/common/001233624.pdf>) より

5. 総合アセスメント

今回評価を行った項目について、結果をまとめると以下の通りとなる。

- 浸水対策については、我が国は降水量が多いこともあり、整備は進んでいるものの目標整備水準として設定されている降雨確率年は必ずしも高くはない。また、気候変動の影響を考慮した対策の方針を示したことは優れており、今後、各自治体による計画の策定、推進が待たれる。さらに、下水道部局単独ではなく、まちづくり部局との連携によるグリーンインフラの推進や、民間企業、市民団体、市民などとの連携による流域治水にも取り組んで行く必要がある。
- 汚水処理については、人口あたりの普及率は国際的にみても高いレベルであり、未普及地域も減ってきている状況にある。また国際的にも「アジア汚水管理パートナーシップ (AWaP)」²⁶などを通して開発途上国における汚水処理促進の支援を実施している。未普及地域の解消をさらに進めるとともに、世界的に汚水処理促進への貢献が期待される。
- 放流水域の水質改善への貢献について国際比較は困難であるものの、特に有機物に関しては計画放流水質が EU と比べてより厳しい水準で設定されており、かつそれを十分に満たしていることから、水質保全への十分な貢献をしていると評価できる。
- 下水道からの温室効果ガス排出量の国際比較は難しいが、日本では下水道施設における省エネ・創エネ対策や一酸化二窒素の削減対策等が着実に進められている。
- バイオエネルギーとしての下水汚泥の有効利用については、汚泥処理プロセスの前段に設置する消化と、後段に導入する熱処理、両方に取り組んできたことに日本の特徴がある。熱処理は高温焼却が中心であるが、寿命を迎えた焼却炉の更新にあたっては熱処理から熱リサイクル（焼却・廃熱発電、固形燃料化など）への転換が進められている。2030 年中期目標に向け、熱リサイクルにより汚泥処理分野での CO₂ 排出（燃料消費由来）、N₂O 排出の削減が着実に進展することが期待される。
- 再生水利用については、日本は比較的水資源が豊富であり、状況が類似している欧州と同等程度の再生水利用となっている。一方で、水資源の不足・枯渇が心配される米国カリフォルニア州などでは下水処理水の直接的な飲用再利用などの規則作りが進んでおり、将来に備え日本も見習うべきところがある。日本には優れた水処理・水再生技術があり、それらの国際展開を見据え国内での実績を積み重ねる必要がある。

²⁶ コラム 4 を参照

コラム 4:我が国が主導するアジアでの汚水処理に関する取組

国土交通省では、環境省と連携し、アジアの国や国際機関と共に、SDGs の目標達成に向けた「アジア汚水管理パートナーシップ (AWaP: Asia Wastewater Management Partnership)」を 2018 年に立ち上げている（議長：京都大学大学院工学研究科 教授 藤原 拓，参加国：インドネシア，カンボジア，フィリピン，ベトナム，ミャンマー及び日本の 6 か国）。

AWaP では、各国の汚水処理を促進するために汚水管理の主流化²⁷を目指し、「汚水管理の意識向上」、「汚水管理のモニタリング」、「共通課題の解決支援」に関する取り組みを実施している。

2021 年には「第 2 回 AWaP 総会」と「AWaP 技術セミナー」がオンラインで開催された。総会では、アジア諸国における汚水管理の共通課題を共有されるとともに、課題解決に向けた今後の活動計画が議論され、①下水道と浄化槽のパッケージによる整備、②非開削による管路の布設整備、③地域の条件に適合した下水道技術の展開が提案された。また技術セミナーでは、各国が求める課題解決に資する本邦技術である①浸水対策及び管渠布設技術、②省エネ型下水処理技術、③スマートソリューション技術が紹介された。

また今回評価を行った側面以外にも、日本の下水道における特徴的な取り組みとして挙げられることを以下に紹介する。

一つ目は地震対策である。下水道施設が被災した場合、公衆衛生問題や交通障害の発生ばかりか、トイレの使用が不可能となるなど、住民の健康や社会活動に重大な影響を及ぼすことになる。2011 年の東日本大震災では下水道施設も大きな被害を受けた。その後、各下水道事業者において重要な幹線管渠の耐震化や被災時の最低限の処理機能の確保などのハード対策の他に、BCP（事業継続計画）の策定などのソフト対策が進められている。下水道施設は水道や電気、ガスなどのライフラインとは違い、発災時に同等の機能を代替する手段がないことから、地震が多いわが国では施設の耐震化や被害の低減する「減災」を組み合わせた総合的な地震対策を推進している。

下水道施設のメンテナンスや更新の取り組みにも力を入れている。土木学会の「インフラ健康診断書」²⁸においては「今後施設の老朽化が進む中で十分な維持管理体制が継続できるか憂慮すべき状況にある。」とされているが、効率的な維持管理のために、管路や施設の診断技術²⁹など官民学が連携した技術開発³⁰やストックマネジメントの導入など先進的な取り組みが行われている。

²⁷ 下水道等への投資の増加・法整備などを行うため、汚水管理を優先的な政策課題として位置づけること

²⁸ 土木学会インフラメンテナンス総合委員会インフラ健康診断小委員会 <https://committees.jsce.or.jp/reportcard/>

²⁹ コラム 5 を参照

³⁰ B-Dash プロジェクト(コラム 6 を参照)などが進められている。

コラム 5: 我が国が誇る下水道管路点検技術

我が国の下水道の管渠延長は約 48 万 km（地球約 12 周分）にのぼるが、施設ストックの増大に伴って管路施設の老朽化等に起因した道路陥没も増加傾向にあり、年間の発生件数は約 3,000 件で推移している。管路施設の老朽化等による道路陥没や下水道の機能停止を未然に防止するためには、管路施設の点検や調査が欠かせないが、管路施設は地下に埋設されているため点検や調査が難しく、マンホールの蓋を開けて、目視や管ロカメラなどで管路施設内部を確認するといった地道な作業を進めていくことが必要となり、膨大な管路施設すべてについて行うためには相当な費用と時間が必要となる。

このため、管路施設の点検や調査に向けて、自走式のテレビカメラや管路点検用のドローン、衝撃弾性波を活用した調査など、さまざまな技術開発が進められている。

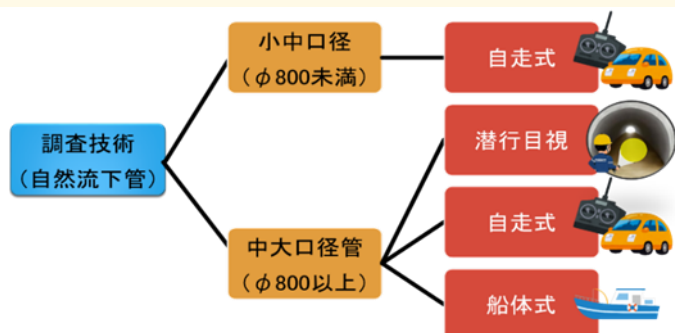


図 14 管路の点検方式



図 15 クラックの入った管路³¹



図 16 管路点検の自走式テレビカメラの例³²



図 17 管路点検用ドローンの例³³

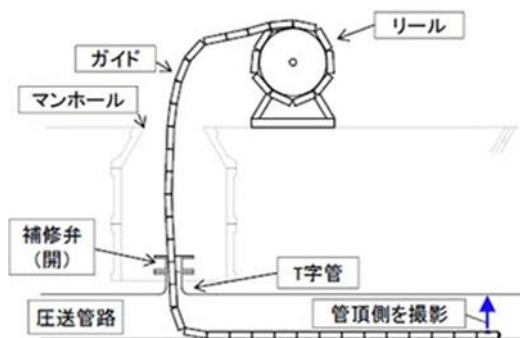


図 18 圧送管内調査機器の例³⁴

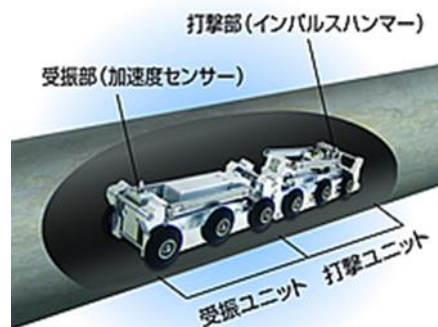


図 19 管路点検の衝撃弾性波の例³⁵

³¹ 国土交通省国土技術政策総合研究所、塩化ビニル管に適した異常判定・緊急度診断基準に関する研究、国総研資料第 878 号、2015.12

³² <https://www.kansei-pipe.co.jp/business/development/development07/>

³³ <https://www.njs.co.jp/software/airslider.html>

³⁴ <https://www.kubota.co.jp/product/ironpipe/products/technology/survey/>

³⁵ <https://www.sekisui.co.jp/search/detail-2560.html>

コラム 6:下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)

下水道をとりまく社会情勢の変化に対応するためには、新技術の開発・普及が解決策の一つと考えられるが、社会インフラとして信頼性の高い下水道を維持するという観点から、有効な新技術の普及が速やかに進まないことがある。そこで、国が主体となって技術的な検証とガイドライン作成を行い、新技術の全国展開を図っていくことを目的として、平成 23 年度より「下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)」が実施されている。

これまで採択された技術テーマは、省エネ・創エネ、ストックマネジメント、浸水対策、クラウドや AI 技術を活用したものなど多岐に渡るとともに、適用箇所も管路設備から、水処理設備、汚泥処理設備と下水処理施設の全体が対象となっており、非常に広範囲なものとなっている。他のインフラと比較しても下水道が極めて多様な側面を持ち、様々な可能性があることも表していると言える。

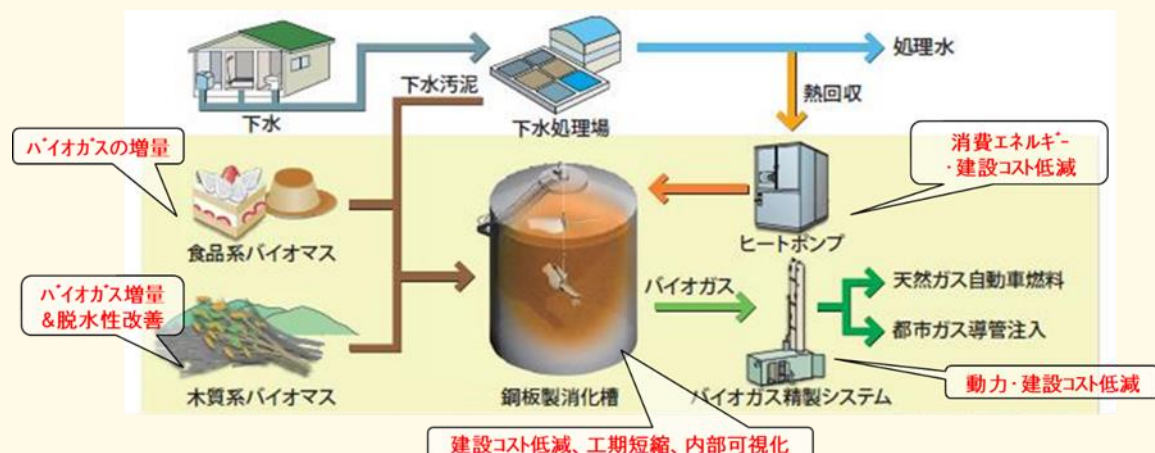


図 20 地域バイオマス受入れ、②鋼板製消化槽、高効率ヒートポンプ、
③新型バイオガス精製装置を組み合わせたシステム技術の実証

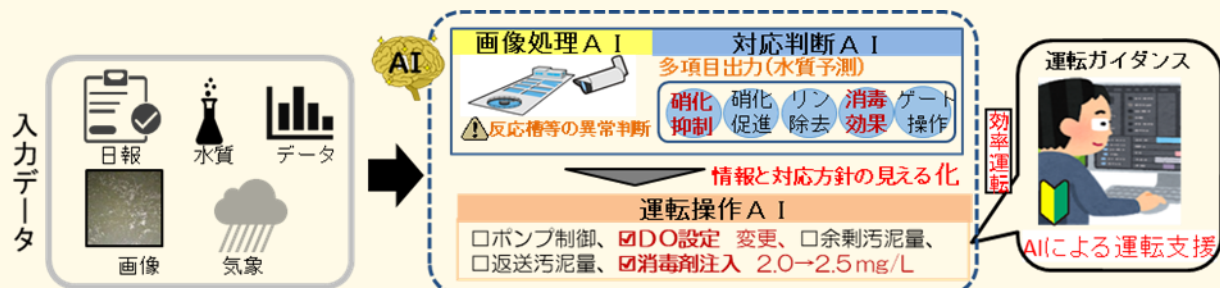


図 21 AI を活用した水処理運転操作の最適化支援技術の実証

参考資料

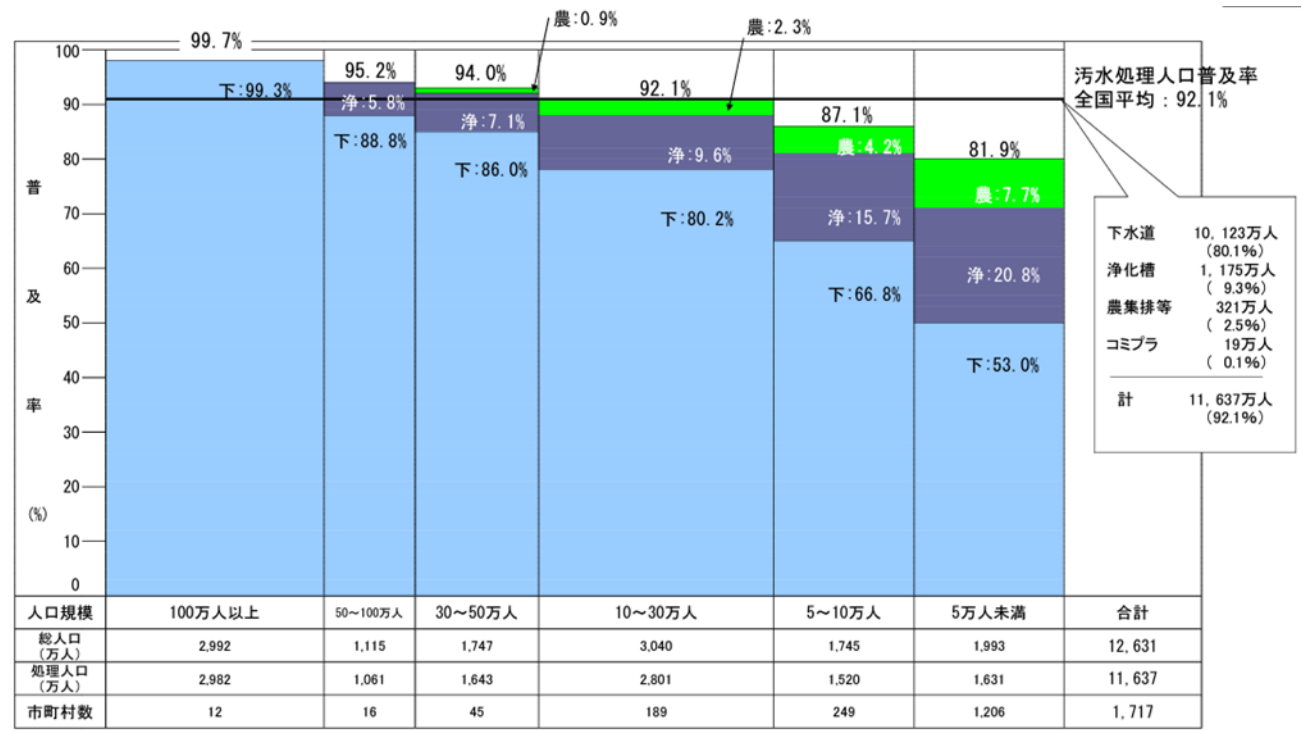
a. 都道府県，政令市別の都市浸水対策達成率（令和３年３月３１日現在）

参考表Ⅰ 都市浸水対策達成率の状況

都道府県	達成率	都道府県	達成率
北海道	67%	滋賀県	30%
青森県	62%	京都府	82%
岩手県	47%	大阪府	74%
宮城県	36%	兵庫県	68%
秋田県	49%	奈良県	46%
山形県	44%	和歌山県	23%
福島県	45%	鳥取県	64%
茨城県	60%	島根県	19%
栃木県	35%	岡山県	45%
群馬県	47%	広島県	60%
埼玉県	44%	山口県	58%
千葉県	45%	徳島県	72%
東京都	70%	香川県	42%
神奈川県	64%	愛媛県	56%
新潟県	61%	高知県	53%
富山県	76%	福岡県	68%
石川県	51%	佐賀県	40%
福井県	71%	長崎県	78%
山梨県	50%	熊本県	56%
長野県	24%	大分県	67%
岐阜県	53%	宮崎県	58%
静岡県	43%	鹿児島県	71%
愛知県	79%	沖縄県	60%
三重県	41%	全国	60%

政令市等	達成率
札幌市	79%
仙台市	35%
さいたま市	48%
千葉市	78%
東京都区部	73%
横浜市	66%
川崎市	57%
相模原市	77%
新潟市	60%
静岡市	50%
浜松市	32%
名古屋市	99%
京都市	91%
大阪市	88%
堺市	58%
神戸市	80%
岡山市	58%
広島市	70%
北九州市	73%
福岡市	77%
熊本市	55%
政令市等	72%

b. 都市規模別の汚水処理人口普及率



参考図1 都市規模別の汚水処理人口普及率(令和2年度末)³⁶

³⁶ 国土交通省「令和2年度末の汚水処理人口普及状況について」(<https://www.env.go.jp/press/109922.html>)より

c.EU における下水処理場の放流水質基準

参考表 2 EU における放流水質基準 (BOD, COD, TSS)

項目	濃度	最低削減割合 ⁽¹⁾	標準測定方法
生物化学的酸素要求量 (BOD ₅ , 20 °C, 硝化なし) ⁽²⁾	25 mg/l O ₂	70-90%	未ろ過、懸濁物を含む均質な試料。完全暗所, 20° C ± 1° C の条件で5日間保持し, その前後の溶存酸素量を測定。硝化阻害剤を添加。
		40% (第4条2項)	
化学的酸素要求量 (COD)	125 mg/l O ₂	75%	未ろ過、懸濁物を含む均質な試料。ニクロム酸カリウム。
総浮遊物質 (TSS)	35 mg/l ⁽³⁾	90% ⁽³⁾	・ 代表的な試料を 0.45 μm フィルターでろ過。105° C で乾燥後, 重量測定。 ・ 代表的な試料を平均加速度 2,800-3,200 g, 5 分以上遠心分離。105° C で乾燥後, 重量測定。
	35 mg/l (第4条2項: 人口当量 10,000 以上)	90% (第4条2項: 人口当量 10,000 以上)	
	60 mg/l (第4条2項: 人口当量 2,000-10,000)	70% (第4条2項: 人口当量 2,000-10,000)	

(1) 流入負荷量に対する削減割合。

(2) BOD₅ との換算関係が確立されていれば全有機炭素 (TOC) もしくは全酸素要求量 (TOD) で代替可能。

(3) 本要件は任意である。

参考表 3 EU における放流水質基準 (TP, TN)

項目	濃度	最低削減割合 ⁽¹⁾	標準測定方法
全リン (T-N)	2 mg/l (人口当量 10,000-100,000)	80%	吸光光度法
	1 mg/l (人口当量 100,000 以上)		
全窒素 (T-P) ⁽²⁾	15 mg/l (人口当量 10,000-100,000) ⁽³⁾	70-80%	吸光光度法
	10 mg/l (人口当量 100,000 以上) ⁽³⁾		

(1) 流入負荷に対する削減割合。

(2) 全窒素とは、ケルダール窒素（有機性窒素とアンモニア性窒素）、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の合計を意味する。

(3) これらの濃度値は別紙Ⅰの D.4 (c)で言及されているように年間平均値である。しかし、別紙Ⅰの D.1にあるように、同水準の保全効果が得られることが証明される場合、窒素の要件は日間平均値を用いて確認することができる。その場合、生物反応槽温度が12℃以上のときの処理水試料の日間平均値が20 mg/Lを超えてはならない。この温度にかかる条件は、地域的な気候条件を考慮して、運転時間の制限に置き換えることが可能である。

参考表 4 EU における放流水質（BOD, COD, TSS）が基準に適合しない試料の年間許容数

1 年間で分析された試料数	基準に適合しない試料の最大許容数
4-7	1
8-16	2
17-28	3
29-40	4
41-53	5
54-67	6
68-81	7
82-95	8
96-110	9
111-125	10
126-140	11
141-155	12
156-171	13
172-187	14
188-203	15
204-219	16
220-235	17
236-251	18
252-268	19
269-284	20
285-300	21
301-317	22
318-334	23
335-350	24
351-365	25

d. 下水処理場における放流水質基準と計画放流水質

参考表 5 計画放流水質（下水道法施行令第五条の五より転載）

計画放流水質			方法
BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	
一〇以下	一〇以下	〇・五以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）又は嫌気無酸素好気法（有機物及び凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
		〇・五を超え一以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）、嫌気無酸素好気法（有機物及び凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法（有機物及び凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
		一を超え三以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）、嫌気無酸素好気法（有機物を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法（有機物及び凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
			循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法、嫌気無酸素好気法（有機物を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法（有機物を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
	一〇を超え二〇以下	一以下	嫌気無酸素好気法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
		一を超え三以下	嫌気無酸素好気法に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
			嫌気無酸素好気法に急速ろ過法を併用する方法又は循環式硝化脱窒法に急速ろ過法を併用する方法
		一以下	嫌気無酸素好気法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法又は嫌気好気活性汚泥法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）に急速ろ過法を併用する方法
		一を超え三以下	嫌気無酸素好気法に急速ろ過法を併用する方法又は嫌気好気活性汚泥法に急速ろ過法を併用する方法
			標準活性汚泥法に急速ろ過法を併用する方法
	一〇を超え一五以下	三以下	嫌気無酸素好気法又は循環式硝化脱窒法（凝集剤を添加して処理するものに限る。）
			嫌気無酸素好気法又は循環式硝化脱窒法
		三以下	嫌気無酸素好気法又は嫌気好気活性汚泥法
			標準活性汚泥法

注：BOD は硝化を抑制しない方法により測定する点が EU の放流水質基準とは異なる。

参考表 6 一律放流水質基準（下水道法施行令第六条より転載）

基準項目	基準値
水素イオン濃度	水素指数五・八以上八・六以下
大腸菌群数	一立方センチメートルにつき三千個以下
浮遊物質質量	一リットルにつき四十ミリグラム以下

e. 嫌気性消化とバイオガス有効利用の現状と展望

日本における下水処理場でのバイオガス回収とその利用状況の 2019 年度実績を参考表 7 に示す。日本における 2019 年度のバイオガス回収量は 9.2 PJ/年、年間バイオガス発電量は 323 GWh/年（約 1.2 PJ に相当）である。

大都市ではその他でのバイオガス利用が 49%と最も比率が高く、その他の内訳として近年では、脱水汚泥の固形燃料化に要する乾燥用燃料としての利用が進んでいる。中小規模の処理場では、バイオガス発電での利用が主な用途となる。中規模処理場では 23%、小規模処理場では 45%のバイオガスが消化槽加温のみでの使用に留まっており、今後、バイオガス発電を増やしていく余地が残っている。

参考表 7 日本における下水処理場でのバイオガス回収とその利用状況（2019 年度値）³⁷

		全国	規模別内訳 ⁽¹⁾		
			大規模処理場	中規模処理場	小規模処理場
バイオガス回収量 ⁽²⁾	TJ/年	9,242	7,149	1,329	764
利用 内訳	バイオガス発電	3,584	2,563 (36%)	738 (55%)	283 (37%)
	焼却炉補助燃料	783	649 (9%)	103 (8%)	31 (4%)
	その他	3,756	3,472 (49%)	181 (14%)	103 (13%)
	消化槽加温	1,118	464 (6%)	308 (23%)	346 (45%)
バイオガス発電量	GWh/年	323	238	60	24

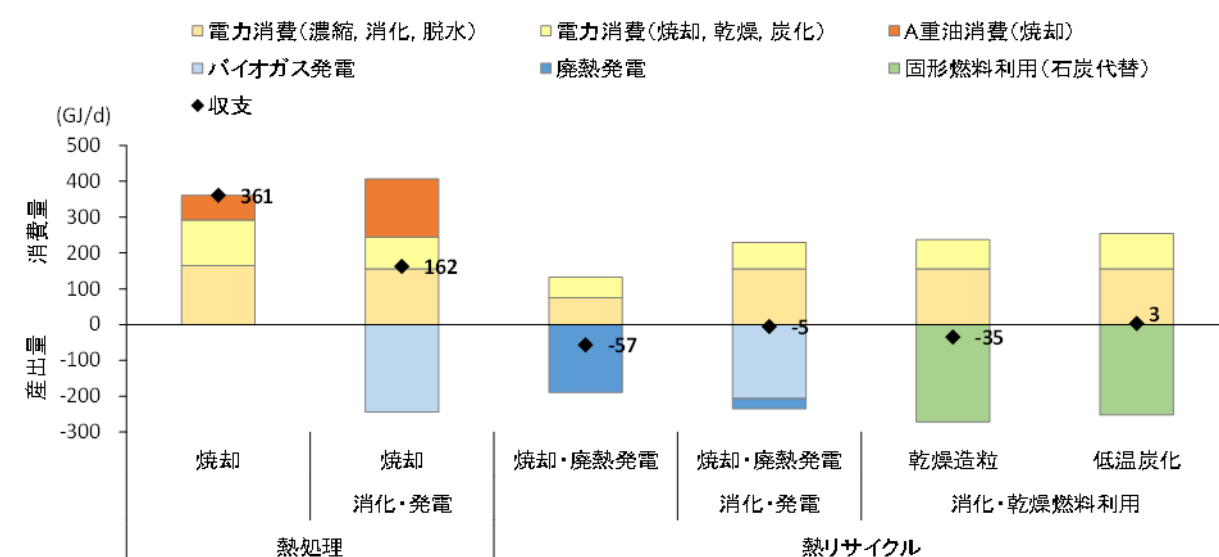
(1) 1 処理場が保有する消化槽の総容量について、大規模：10,000 m³以上、中規模：5,000～10,000 m³、小規模：5,000 m³未満で類型して集計。

(2) バイオガス中メタンガス比率を 60%と設定し、メタンガス発熱量 35.74 (MJ-LHV/Nm³) で換算。

³⁷ 日本下水道協会「下水道統計 第 79 号（令和元年度版）」より作成。

f. 下水汚泥の熱処理から熱リサイクルに転換した場合のエネルギー収支の改善効果

Wang ら³⁸によると、熱処理（エネルギー回収を伴わない焼却）からの熱リサイクルへの転換により、参考図 2 に示す通り下水処理場における燃料の直接消費をなくすることが可能となる。加えて、汚泥処理系統に限定してエネルギー収支を評価した場合、正味でゼロとなる水準まで収支を改善できる。



参考図 2 下水汚泥処理プロセスにおけるエネルギー収支の評価（一次エネルギー換算値）³⁹

濃縮汚泥処理量: 30 t-DS/日

（熱リサイクル）

消化なしで直接脱水汚泥を焼却・廃熱発電するケース: 二液調質脱水機による脱水（含水率 70%）、復水タービン発電。

消化ありで焼却・廃熱発電するケース: 乾燥機付き焼却、スクリータービン発電。

固形燃料化: バイオガスを乾燥用燃料として使用。乾燥機から発生する乾燥機排ガスより潜熱回収して消化槽を加温。

米国（カリフォルニア）

カリフォルニア州では 1918 年に米国で初めてとなる下水再生水の農業利用に関する規制が制定され、再生水利用に関して長い歴史がある。2015 年ではおよそ 3.59 億 m³/年の再生水が農業用灌漑に用いられ、その割合は全再生水の 31%に及んでいる⁴⁰。カリフォルニア州水資源管理委員会の目標では、再生水の利用を 2030 年までに 30.8 億 m³/年にまで増加させることを目標にしている。農業利用の他にカリフォルニア州では、1960 年代から地下水への海水侵入による塩害の防止を目的に沿岸地域で、再生水の地下水への補給が行われ始め⁴¹、1978 年には再生水による地下水涵養による間接的飲用水利用に関する規則が追加されている⁴²。

2012 年には、米国環境保護庁が「Guidelines for Water Reuse (2012 Guidelines)」を公表し、再生水の飲用再利用の用語として De Facto Reuse（下水処理場の処理水排出口の下流に浄水場の取水口があり、事実上下水処理水の飲料水としての再利用が行われている）、Direct Potable Reuse: DPR（下水再生水が直接浄水場に供給される）、Indirect Potable Reuse: IPR（下水再生水を水道水源の涵養に用いる。水源涵養に用いることで、飲用取水するときに

³⁸ K. Wang and T. Nakakubo (2021) Strategy for introducing sewage sludge energy utilization systems at sewage treatment plants in large cities in Japan: A comparative assessment, Journal of Cleaner Production, 316, 2021.

³⁹ K. Wang and T. Nakakubo (2021) Strategy for introducing sewage sludge energy utilization systems at sewage treatment plants in large cities in Japan: A comparative assessment, Journal of Cleaner Production, 316, 2021.

⁴⁰ WaterReuse Association (2019) California Water Reuse Action Plan, https://watereuse.org/wp-content/uploads/2019/07/WaterReuse-CA-Action-Plan_July-2019_r5-2.pdf

⁴¹ J. Mosher (2021) Development of direct potable reuse regulations in California, The Source, Issue 24, pp.22-25.

⁴² A.W. Olivieri, B. Pecson, J. Crook, R. Hultquist (2020) California water reuse—Past, present and future perspectives, Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection, Vol. 5 pp. 65-111.

は一定の環境バッファが期待されている)が定義された⁴³。DPR の水質等の規制に関しては、カリフォルニア州において 2016 年に DPR に関する専門家委員会の報告書が出され、その後「A proposed framework for regulating direct potable reuse in California」として、2018 年にカリフォルニア州水資源管理委員会から発表された。2021 年現在第 2 版の補足が公表されている⁴⁴。2017 年時点における米国での IPR もしくは DPR プロジェクトの実施(計画を含む)地点を参考図 3 に示す。



参考図 3 米国において計画もしくは建設された IPR および DPR プロジェクト(2017 年の時点)⁴⁵

欧州

欧州では世界の他の地域と比較して豊富な水資源を有しているが、1990 年代後半以降に水ストレスにさらされる地域が増加している⁴⁶。2000 年には、EU 内の水域を対象とした環境保護と利水に関する統合的な政策である EU 水枠組み指令⁴⁷が発効し、排水の再利用はこの指令を達成する重要な手段であるとして再利用が進められている。EU 内での処理水の再利用は 2006 年において 9640 万 m³であり、これは都市下水処理量の 2.4%に当たると報告されている。2015 年では再利用された処理水量は年間 1.1 億 m³であると報告されている⁴⁸。域内の一部の地域では水不足がより深刻となり、2018 年には「Proposal for a regulation on minimum requirements for water reuse」が欧州議会で採択され、2020 年に発効された⁴⁹。本規則は主に処理水の灌漑利用に関する規則であり、ISO 16075 「Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects」の基準を反映したものとなっている。基準の一部を参考表 8 および参考表 9 に示す。

⁴³ United States Environmental Protection Agency (2017) Potable Reuse Compendium 2017, https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf

⁴⁴ A Proposed Framework of Regulating Direct Potable Reuse in California, https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/direct_potable_reuse/dprframewkaddendum.pdf

⁴⁵ United States Environmental Protection Agency (2017) Potable Reuse Compendium 2017, https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf

⁴⁶ D. Bixio, et al. (2006) Wastewater reuse in Europe. Desalination, Vol. 187, pp.89-101.

⁴⁷ Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

⁴⁸ Amec FW et al., (2016). EU-level instruments on water reuse, https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EU_level_instruments_on_water-2nd-IA_support-study_AMEC.pdf

⁴⁹ REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse

参考表 8 処理水の水質区分と使用できる作物と灌漑方法

最低限必要な再生水クラス	作物カテゴリー	灌漑方法
A	生食用のすべての食用作物（可食部に再生水が接触する）および生食用の根菜類	全ての方法
B	再生水と直接接触しない生食用の食用作物（根菜類以外）、加工食用作物、乳・肉生産動物の飼料用作物を含む非食用作物	全ての方法
C		点滴灌漑もしくは可食部に再生水が接触しない方法
D	産業用・エネルギー用・種子用作物	全ての方法

参考表 9 処理水の水質区分と水質基準

再生水クラス	処理方法の例	水質基準				
		<i>E. coli</i> (number/100 ml)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	Turbidity (NTU)	Other
A	2 次処理、ろ過及び消毒	≤10	≤10	≤10	≤5	Legionella spp.: < 1 000 cfu/l (エアロゾル化の危険がある場合) 腸管線虫（蠕虫の卵）: ≤1 卵/l （牧草地や飼料の灌漑用）
B	2 次処理及び消毒	≤100	≤25	≤35	-	
C	2 次処理及び消毒	≤1000			-	
D	2 次処理及び消毒	≤10000			-	

日本

日本では、下水処理場を経由して河川や海洋へ排出される、生活排水や工場排水等の排水が年間 154 億 m³ ある。このうち本文中に示した通り、約 2.2 億 m³ が再利用されている。また、河川の上流域に排出された下水処理水が下流域で水源として取水される De Facto Reuse の割合も報告されており、大阪府枚方地点で取水される河川水量に占める下水処理水の割合は約 10%で、最大で 25%になると報告されている⁵⁰。また、農業・工業用水として取水されている多摩川の二ヶ領上河原堰では下水処理水の割合がおおよそ 50%となるなど⁵¹、再利用率に計算されない下水の再利用はかなり進んでいるものと思われる。

農林水産省によると農業集落排水事業では平成 30 年度末において処理水の総量が約 3.3 億 m³ であり、そのうち再利用可能な水量は 2.6 億 m³ と推計している⁵²。また農林水産省でも ISO16075「下水処理水のかんがい利用プロジェクトに関するガイドライン」を参考に平成 29 年に「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案)」が公表されている。

⁵⁰ 萩原良巳, 他 (2003), 大都市域水循環圏の水管理に関する考察, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号

⁵¹ 東京都下水道局 (2021) 東京都下水道事業 経営計画 2021, 令和 3 年 3 月,

⁵² 農林水産省農村振興局整備部地域整備課 (2020) 農村集落排水事業の取組状況について, <https://www.env.go.jp/press/108218/114442.pdf>

h. 本報告で対象とした国の下水道事業に関する基本情報

参考表 10 比較対象国の下水道事業に関する基本情報(その1)

	イギリス	フランス	ドイツ	日本
人口(万人)	6,708 (2020)	6,706 (2020)	8,319 (2020)	12,529 (2021)
面積(万 km ²)	24.3	54.4	35.7	37.8
生活用水利用原単位 (L/人/日)	142 (2019)	160 (2018)	115 (2018)	396 (2018) (工場排水込み)
処理区域内人口 (万人)	6,281 (2013)	5,938 (2013)	7,806	10,123 (2020) (11,637)*
処理人口普及率(%)	98.0 (2013)	89.9 (2013)	96.9	80.1 (2020) (92.1)*
排出汚水量(億 m ³ /年)	75 (2013)	52 (2013)	98	146 (2018)
管路総延長(万 km)	34 (2008)	39 (2008)	58	49 (2020)
処理場数	8,049	20,271 (2013)	9,307	2,171 (2018)
計画処理水量(万 m ³ /日)	3,859 (2013)	3,859 (2013)	3,495	5,715 (2018)
実処理水量(万 m ³ /日)	2,078 (2013)	3,480 (2013)	2,759	4,012 (2018)

(※:浄化槽等も含んだ数値)

参考表 11 比較対象国の下水道事業に関する基本情報(その2)

	中国	台湾	韓国	日本
人口(万人)	143,932 (2020)	2,360 (2020)	5,178 (2020)	12,529 (2021)
面積(万 km ²)	960	3.6	10	37.8
生活用水利用原単位 (L/人/日)	169 (2018)	289 (2020)	180 (2018)	396 (2018) (工場排水込み)
処理区域内人口 (万人)	75,380 (2014)	890 (2014)	4,802 (2013)	10,123 (2020) (11,637)*
処理人口普及率(%)	55.2 (2014)	52.5 (2014)	92.1 (2013)	80.1 (2020) (92.1)*
排出汚水量(億 m ³ /年)	716 (2014)	17 (2012)	55 (2013)	146 (2018)
管路総延長(万 km)	84 (2014)	0.81 (2014)	13 (2013)	49 (2020)
処理場数	4,436 (2014)	82 (2014)	83,774 (2013)	2,171 (2018)
計画処理水量(万 m ³ /日)	17,079 (2014)	362 (2008)	2,533 (2013)	5,715 (2018)
実処理水量(万 m ³ /日)	13,522 (2014)	277 (2008)	1,988 (2013)	4,012 (2018)

(※:浄化槽等も含んだ数値)

