

# 下水処理水再利用の技術的基準に 関する調査研究

## 1. はじめに

平成13年度現在、全国1,718カ所の下水処理場から年間約130億 $\text{m}^3$ の下水処理水が放流されている。このうち、216カ所の下水処理場において下水処理水が場外に送水され、水洗用水や修景用水、植樹帯散水用水、工業用水等として再利用されており、その水量は年間約2億 $\text{m}^3$ となっている。都市内における貴重な水資源確保の観点から、下水処理水再利用の重要性は今後ますます高まっていくことが予想され、下水処理水の適切な再利用がより一層重要なものとなる。

下水処理水再利用に関する技術指針としては、昭和56年3月に「下水処理水循環利用技術指針（案）」、平成2年3月に「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）」がこれまでに策定されているが、以降現在に至るまで技術指針の改訂等はなされていない。

その一方、クリプトスポリジウムやO-157等によるヒトへの健康被害が近年大きな社会問題となり、水の安全性への関心が高まってきており、下水処理水の再利用においても、今後こうした新たな問題に対応していく必要がある。

こうしたなかで今般、建築物衛生法関連政省令が改正され、トイレ用水、散水用水、修景用水、栽培用水、清掃用水など雑用水利用の給水設備を対象として新たな基準が設定され、平成15年4月1日より施行されたところであり、特定建築物においては下水処理水を利用する場合でも同基準が適用されることとなっている。

以上を背景に、「下水処理水の再利用に関わる水質基準等に関する委員会」（委員長：金子光美 立命館大学客員教授）を設置し、下水処理水の再利用を行う上で問題となる衛生学的安全性、配管の腐食・閉塞等の施設障害防止および快適性確保の観点から、下水処理水再利用の実態調査等を行い、下水処理水再利用に関する技術上の諸基準について検討したものである。なお、この基準については、平成17年4月22日、国土交通省より全国の自治体に通知されている。

## 2. 基準の適用範囲

基準の適用対象とする利用用途は、下水処理水を不特定多数の人が利用する施設に直接供給する形態に限定することとし、再利用の実態を踏まえ、水洗用水、散水用水、修景用水（人間が触れることを前提としない環境用水）、親水用水（人間が触れることを前提としている環境用水）の4用途とした。なお、エアロゾルが発生するような大規模な滝、噴水等を有する施設については当面親水用水利用として扱うこととした。

## 3. 基準策定における検討事項

下水処理水再利用に関する技術上の基準を策定するにあたっては、以下の点を考慮することとした。

### (1) 衛生学的安全性

塩素消毒が有効な細菌類と比較的塩素耐性のある原虫類を検討対象とし、このうち細菌類に関して塩素消

毒の効果を確認するために、再生水の衛生学的安全性に関する実態調査を実施した。なお、ウイルス類については測定方法等の課題があり、引き続き検討する必要がある。

(2) 美観・快適性

以下の3点を検討対象項目とし、①に関して下水処理水再利用に関する利用者意識調査を実施した。②および③については利用箇所等により状況が多種多様であると考えられるため、一律の基準としては定めず、下水処理水再利用の実施にあたり考慮すべき事項として記載することとした。

- ① 再生水の外観（色，濁り，臭い）
- ② 修景用水施設および親水用水施設における藻類の増殖

③ 水洗便所におけるユスリカ(成虫・幼虫)の発生  
 なお、水洗用水，散水用水，修景用水，親水用水として不特定多数の人が利用する施設に、平成14年度に再生水を供給した全国の下水処理場を対象に、再生水の供給先で過去に発生した再生水関連の苦情・トラブルに関するアンケート調査を実施(平成15年7月実施)した結果、206処理場より再生水利用の実績がある旨回答がなされた。

そのうち美観・快適性については、表-1に示す苦情が報告されている。

表-1 美観・快適性に関わる苦情件数(件)

内容	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水	合計
色	4			1	5
濁り	3			1	4
臭気	2		1		3
汚れ：付着物	3				3
汚れ：藻類			3	5	8
ユスリカ	5		1		6

※同処理場であっても、トラブルの種類，用途等が異なる場合は区別して集計

(3) 施設機能障害防止

再利用箇所における苦情・トラブルの実態等を踏まえ、腐食および閉塞を検討対象項目とした。なお、施設機能障害防止の観点からの基準検討にあたっては既存の知見に基づくこととした。

表-2 施設機能障害に関わる苦情件数(件)

内容	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水	合計
腐食	2	1	1		4
閉塞：腐食	2		1		3
閉塞：生物・付着物	2	1			3

※同処理場であっても、トラブルの種類，用途等が異なる場合は区別して集計

## 4. 再生水の衛生学的安全性に関する調査結果

### 4.1 調査概要

再生水の衛生学的安全性について検討するため、下水処理水を再利用している施設を対象に平成16年1月から平成17年1月にかけて、表-3に示す項目の水質分析を実施した。

なお、水質測定を実施した調査対象施設の二次処理以降の処理・消毒方式は、表-4に示すとおりである。

表-3 水質測定項目

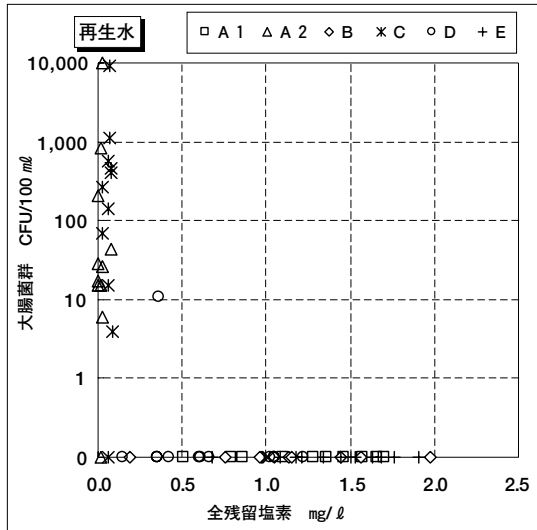
分類	分析項目	分析頻度
一般項目	pH, 温度, SS, 濁度, 残留塩素(遊離・結合)	月1回
細菌	大腸菌群, 糞便性大腸菌群, 大腸菌	月1回
	腸球菌, 糞便性連鎖球菌	年2~3回
	レジオネラ属菌	年5~6回
	サルモネラ属菌, カンピロバクター, O-157	年2~3回
原虫類	嫌気性芽胞(ウェルシュ菌)	年5~6回
	クリプトスポリジウム, ジアルジア	年5~6回
ウイルス	大腸菌ファージ	年5~6回
	エンテロウイルス, ノロウイルス(SRSV)	年5~6回

表-4 調査対象施設の処理・消毒方式

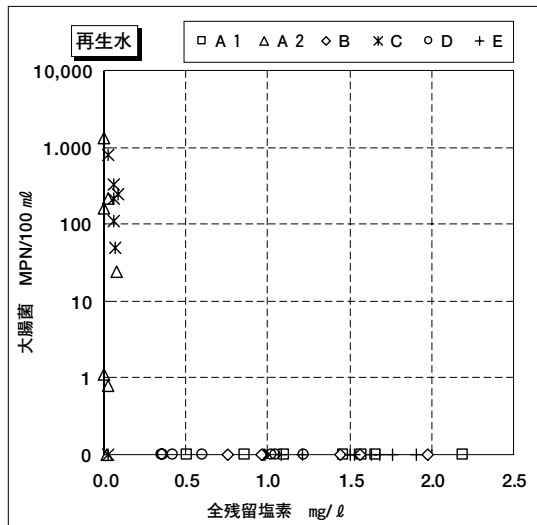
施設名	二次処理以降の処理・消毒方式
A1	砂ろ過+塩素消毒
A2	砂ろ過+紫外線消毒
B	生物膜ろ過+オゾン+塩素消毒
C	砂ろ過+塩素消毒
D	砂ろ過+オゾン+塩素消毒
E	凝集沈殿+オゾン+砂ろ過+塩素消毒

### 4.2 調査結果

再生処理施設出口で採水した再生水の大腸菌群(MF法)および大腸菌(特定酵素基質培地法(MMO-MUG培地))の水質分析結果と全残留塩素との関係を図-1, 2に示す。この結果、全残留塩素が0.4mg/l以上となる場合には、大腸菌群および大腸菌がいずれも不検出であった。また、再生水の供給先受水槽においても同様な結果となっており、再生水供給過程における細菌類の増殖は見られなかった。



図一 1 全残留塩素と大腸菌群の関係



図一 2 全残留塩素と大腸菌の関係

## 5. 再生水利用に関する利用者意識調査結果

### 5.1 調査概要

再生水に関する利用者の意識を調査するために、下水処理水を再利用している施設（水洗用水、親水用水および修景用水）の利用者を対象としたアンケート調査を実施した。

調査実施箇所は、表一 5～8 に示すように水洗用水用途として7施設、親水・修景用水用途として5施設を対象とした。アンケート調査は、利用者にアンケート調査票を直接配布・回収する方法のほか、施設管理者等を通じて施設利用者（勤務者等）にアンケート調査票を配布・回収する方法やオンラインを利用した方法により実施した。アンケートは、下水処理水の再利

表一 5 水洗用水用途回答者数（冬季）

施設	主な対象者	実施期間	回答者数
a 企業ビル	勤務者	H15.12.25～	72
b 企業ビル	勤務者	H15.12.25～	48
c 総合施設	勤務者	H16.1.20～	41
c 総合施設	一般利用者	H16.1.20	96
d 公的施設	一般利用者	H16.1.26, 27	351
e 公的施設	一般利用者	H16.2.7	341
f 企業ビル	勤務者	H16.2.23～	175
G オンライン	勤務者	H16.2.23～	547
合計			1,671

表一 6 水洗用水用途回答者数（夏季）

施設	主な対象者	実施期間	回答者数
c 総合施設	一般利用者	H16.7.24(土)	150
d 公的施設	一般利用者	H16.7.12(月)	239
e 公的施設	一般利用者	H16.7.17(土)	345
合計			734

表一 7 親水・修景用水用途回答者数（冬季）

施設	主な対象者	実施期間	回答者数
h 公園内 せせらぎ	一般利用者	H15.12.18(木)	131
i 道路わき せせらぎ	一般利用者	H16.1.11(日) H16.1.12(祝)	233
j 公園内 せせらぎ	一般利用者	H15.12.13(土) H15.12.14(日)	143
k 公園内 せせらぎ	一般利用者	H15.12.13(土) H15.12.14(日)	224
l 道路わき せせらぎ	地域住民	H15.12～	239
合計			970

表一 8 親水・修景用水用途回答者数（夏季）

施設	主な対象者	実施期間	回答者数
i 道路わき せせらぎ	一般利用者	H16.7.24(土)	117
j 公園内 せせらぎ	一般利用者	H16.7.10(土) H16.7.11(日)	211
k 公園内 せせらぎ	一般利用者	H16.7.10(土) H16.7.11(日)	154
合計			482

用に関する考え方や再生水利用の認知度に加え、再生水の快適感・不快感に関する内容について調査した。

また、アンケート結果とアンケート箇所における再生水水質の関係を検討するために、再生水の水質調査（色度、濁度、臭気強度等）も合わせて実施した。

### 5.2 調査結果

#### (1) 水洗用水用途

アンケート調査を実施した7施設において色度、濁度、臭気強度の項目について再生水の水質を分析した。

また、アンケート調査で再生水自体の外観の感想として得られた「全く気にならない」、「気にならない」と回答した人の割合（容認度）と再生水水質（色度、濁度、臭気強度）の関係を図-3に示す。トイレの洗浄水としての再生水の利用は、いずれの施設や項目においても8割以上の施設利用者の容認度が得られており、現状における再生水の水質で十分な結果であることが考えられた。

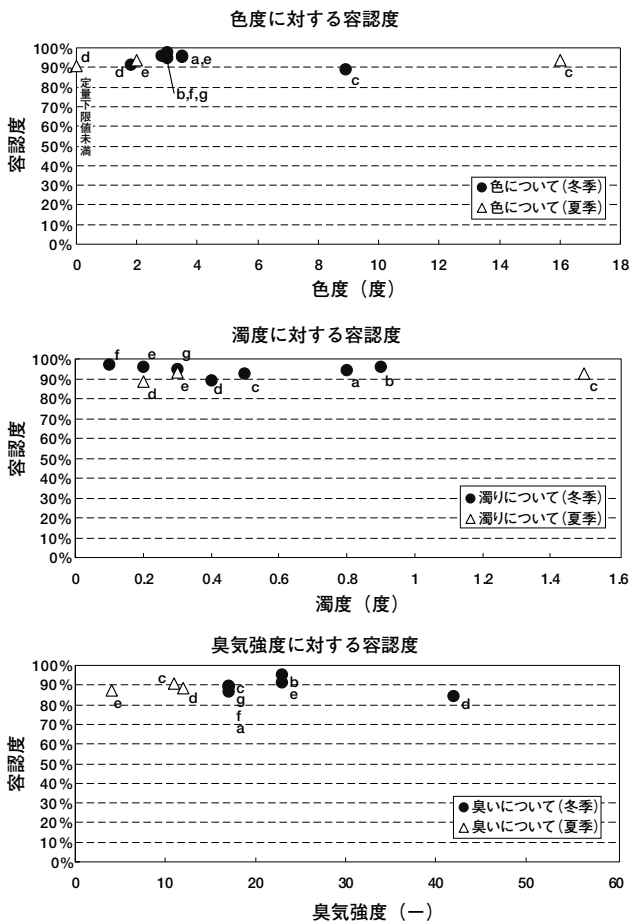


図-3 水洗用水用途の再生水水質と施設利用者の容認度の関係

(2) 修景・親水用水用途

修景・親水用水用途について、(1)と同様に整理すると図-4に示すとおりとなる。

修景用水用途（ながめた場合）の容認度は、水の色が64～84％，濁りが63～82％，臭いが45～86％と施設によりばらつきがあった。また，親水用水用途（触れる場合）の容認度は，水の色が55～81％，濁りが51～78％，臭いが38～79％といずれも修景用水用途よりも低い結果となった。

色度については，ばらつきがあるものの容認度との相関関係が見出され，水質基準として設定することが

必要ではないかと考えられた。また，濁度については，いずれも1度以下と良好な水質であり容認度との相関関係は見出されなかった。臭気強度については，容認度との相関関係は高いとは言えないが，色や濁りに関する容認度に比べて低いことから再生水水質の重要な項目となることが考えられた。

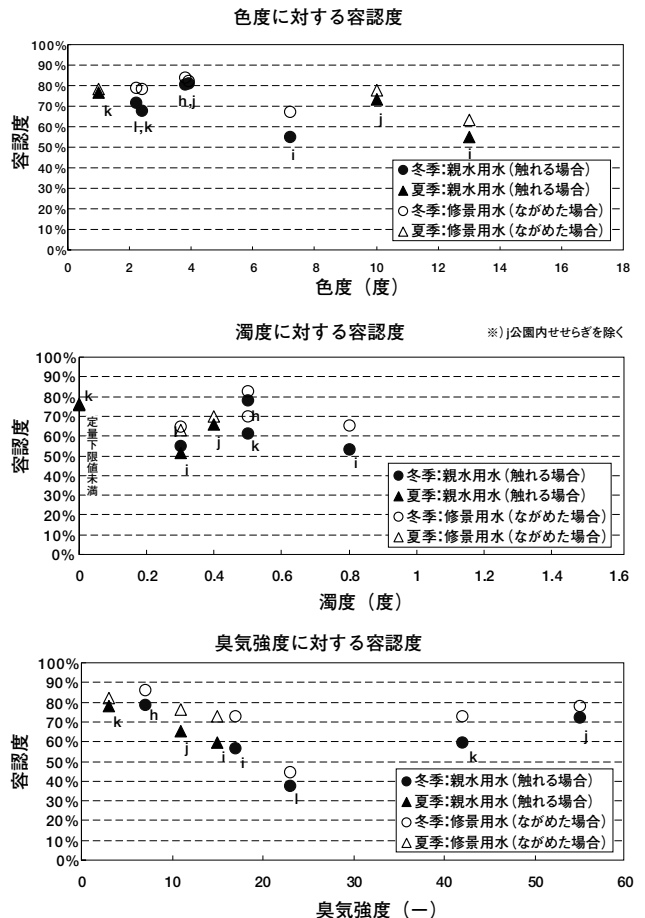


図-4 修景・親水用途の再生水水質と施設利用者の容認度の関係

6. 下水処理水再利用に関する技術上の基準

6.1 大腸菌 (大腸菌群数)

大腸菌 (大腸菌群数) は，衛生的安全性のうち，細菌類への対応の観点からの基準として設定した。

従来の基準 (案) の再検討を行った結果，現行の基準項目である大腸菌群には，土壌など動物の大腸以外でも増殖可能な細菌類が含まれており，糞便性汚染を示す指標としては大腸菌群よりも大腸菌の方が優れているとして，水道水質基準において大腸菌群から大腸菌へ変更されたこと，また，建築物衛生法施行規則が改正され雑用水の水質基準が大腸菌群から大腸菌へ変



更されたこと等の状況を踏まえ、従来の大腸菌群数に代え、大腸菌を新たに基準項目として設定することとした。また、基準値についても、水道水質基準や建築物衛生法施行規則における基準（検水量100ml当たり不検出）を参考に規定することとした。

大腸菌の基準適用箇所については、実態調査において、再生水の供給過程における大腸菌の再増殖が見られなかったことから、再生処理施設出口を大腸菌の基準適用箇所とした。

ただし、修景用水利用については、人間が触れることを前提としない利用であるため、現行の放流水質基準と同様に大腸菌群数を暫定的な基準項目とし、修景・親水マニュアルにおける大腸菌群数に関する基準値（1000CFU/100ml）を用いることとした。

## 6.2 施設基準、濁度

施設基準、濁度は、施設機能障害防止の観点、また、衛生的安全性のうち、原虫類への対応の観点からの基準として設定した。

施設機能障害防止の観点からは、循環利用技術指針では、機器の閉塞等機能障害を防止する上で、砂ろ過プロセスは不可欠であるとされている。本基準でも、再生水の供給過程における閉塞防止の観点から、砂ろ過施設または同等以上の機能を有する施設を施設基準として規定することとした。

また、砂ろ過施設または同等以上の機能を有する施設が適切に機能していることを担保する運転管理指標として、濁度を管理目標値として設定した。管理目標値については、「下水道施設計画・設計指針と解説」における急速ろ過法の処理成績例が濁度2.3度（平均値）となっていること、また、実態調査において施設が適切に機能していることが確認されているろ過施設からの処理水の濁度が2度を超えることがほとんどなかったことを踏まえ、2度と設定した。

衛生的安全性のうち、原虫類への対応の観点からは、下水試験方法において定められている原虫類の検出方法では、生死および感染力の有無等の判定が困難であること等の理由から、原虫類自体の濃度基準の設定は行わず、施設基準および運転管理指標の設定により対応することとした。

水洗用水利用、散水用水利用および修景用水利用については、誤飲の可能性・量ともに低いため、施設機能障害防止の観点から定められた砂ろ過施設相当の施設基準と運転管理指標により対応することとした。

親水用水利用については、水浴等の全身的な接触も可能性として想定しており、誤飲の可能性・量ともに他の用途に比べ大きく、衛生的安全性に特に留意す

る必要があることから、凝集沈殿+砂ろ過施設または同等以上の機能を有する施設により対応することとし、当該施設が適切に機能していることを担保する運転管理指標として、濁度2度を常に遵守すべき基準値として設定した。

## 6.3 pH

pHは、再生水利用システムにおける腐食防止の観点からの基準として設定した。基準値としては下水処理水の放流水質基準として定められているpH5.8~8.6を再生水水質基準として適用することとした。

## 6.4 外観、色度、臭気

外観、色度、臭気は、美観・快適性の観点からの基準として設定した。

循環利用技術指針および修景・親水マニュアルでは、再生水の外観に関連する基準として表-9の基準が定められているが、これらの基準に対して地方公共団体から問題点を指摘する意見がこれまで特になくことを踏まえ、循環利用技術指針および修景・親水マニュアルにおける目標水質を最低限遵守すべき基準として設定することとした。

表-9 再生水の外観に関する基準

### ①下水処理水循環利用技術指針（案）

	水洗用水	散水用水	修景用水
外観	不快でないこと		
濁度			10度以下
臭気	不快でないこと		

### ②下水処理水の修景・親水利用水質検討 マニュアル（案）

	修景用水	親水用水
濁度	10度以下	5度以下
色度	40度以下	10度以下
臭気	不快でないこと	不快でないこと

## 6.5 残留塩素

残留塩素は、衛生的安全性のうち、細菌類への対応の観点からの基準として設定した。

再生水の供給過程において再増殖の可能性がある病原微生物への対策としては、残留効果の高い塩素消毒を行うこととし、残留塩素を管理目標値として規定した。なお、管理目標値については、実態調査の結果、供給先における残留塩素が、建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行規則における基準値（結合残留塩素濃度0.4mg/l以上）を満たしている場合には、

細菌類の再増殖はほとんど見られなかったことから、同法施行規則における残留塩素基準値（結合残留塩素濃度0.4mg/ℓ以上）を参考に管理目標値を設定した。ただし、供給先で塩素注入を行う場合には、管理目標値を適用せず個別の協定等に基づくこととしても良いこととした。

また、散水用水利用および親水用水利用については、供給先に至るまでの滞留時間が短い等、消毒の残留効果が特に必要ない場合には、残留塩素に関する基準は適用せず、紫外線消毒やオゾン消毒、膜処理等塩素消毒以外の方法で対応することとしても良いこととした。なお、消毒の残留効果の必要性および他の処理方法を採用した場合の運転条件については十分な検討を行うこととした。

修景用水利用については、利用箇所における生態系保全の観点から紫外線消毒やオゾン消毒、膜処理等に

より対応する場合があることおよび人間が触れることを前提としない利用であること等の状況を踏まえ、残留塩素に関する基準は設定しないこととした。

目標値の適用箇所については、本マニュアルの適用主体が下水道管理者であることを踏まえ、責任分界点とした。

## 7. まとめ

今回の再生水水質基準設定のポイントは、表-10に示すように従来の大腸菌群数に代え、大腸菌（100ml当たり不検出）を新たな基準として設定（修景用水を除く）したこと、施設基準を新たに規定し、施設が適切に機能していることを担保する指標としての濁度を規定したことである。適切な利用促進に向けて、情報発信や意見聴取が望まれる。

表-10 下水処理水再利用に関する技術上の基準（抜粋）

	基準適用箇所	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水
大腸菌	再生処理施設出口	不検出 <sup>1)</sup>	不検出 <sup>1)</sup>	備考参照 <sup>1)</sup>	不検出 <sup>1)</sup>
外観		不快でないこと			
濁度		2度以下（管理目標値）			2度以下
色度		—	—	40度以下	10度以下
臭気		不快でないこと			
pH		5.8～8.6			
残留塩素 （管理目標値）		責任分界点	遊離塩素0.1mg/ℓ または結合塩素 0.4mg/ℓ以上	遊離塩素0.1mg/ℓ または結合塩素 0.4mg/ℓ以上 <sup>2)</sup>	
施設基準		砂ろ過施設または 同等以上	砂ろ過施設または 同等以上	砂ろ過施設または 同等以上	凝集沈殿+砂ろ過 または同等以上
備考		1) 検水量は100ml	1) 検水量は100ml 2) 消毒の残留効果 が必要ない場合 には適用しない	1) 暫定的に現行 基準（大腸菌群数 10CFU/ml）を使用	1) 検水量は100ml 2) 消毒の残留効果 が必要ない場合 には適用しない

●この研究を行ったのは

研究第一部長  
研究第一部主任研究員  
研究第一部研究員

堀江 信之  
吉澤 正宏  
飯田 和輝

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長  
研究第一部総括主任研究員  
研究第一部研究員

堀江 信之  
加畑 雅宏  
飯田 和輝