

◆ 特集：下水道「循環のみち」への新たな展開 ◆

## 下水処理水再利用の展望と水質基準等マニュアルの策定

田 嶋 淳\*

### 1. はじめに

我が国の年平均降水量は約1,700mmで、世界平均の約2倍の量となっているが、国土面積が狭く人口が多いため、人口1人当たりの水資源賦存量は約3,300m<sup>3</sup>となっており、世界平均である約7,800m<sup>3</sup>/人・年の半分以下となっている。また、我が国の年平均降水量の経年変化をみると、小雨年と多雨年の開きが次第に増加し、渇水年の年降水量が減少する傾向にあり、水資源確保の重要性は今後益々高まってくるものと予想される<sup>1)</sup>。

我が国では、1978年の異常渇水を契機に、福岡市において1980年に水洗用水として下水処理水の再利用が大規模に開始されて以来、水洗用水、融雪用水、環境用水、工業用水、散水用水等様々な用途に下水処理水が再利用されるようになってきている。

このように、都市内における貴重な水資源確保の観点、さらにヒートアイランド対策としての打ち水利用など新たな利用用途も期待される等、下水処理水再利用の重要性は今後益々高まっていくことが予想され、国土交通省都市・地域整備局下水道部及び国土技術政策総合研究所下水道研究部は「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」(以下「水質基準等マニュアル」という)を平成17年4月に策定したところである。

本稿では、我が国における下水処理水再利用の実態を紹介し、下水処理水再利用の今後の展望について概観するとともに、水質基準等マニュアルの概要等について紹介する。

### 2. 我が国における下水処理水再利用の実態

平成15年度実績で、全国1,924箇所<sup>2)</sup>の下水処理場から年間約137億m<sup>3</sup>の下水処理水が放流されている<sup>2)</sup>のに対し、下水処理水が場外において再利

用されているのは、246箇所<sup>3)</sup>の下水処理場において年間約2億m<sup>3</sup>程度となっており<sup>3)</sup>、近年利用水量は徐々に増加傾向にはあるものの、放流量に対する利用量の割合は2%に満たない状況となっている。

用途別有効利用処理場数及び用途別有効利用水量は図-1及び図-2に示す通りとなっており<sup>3)</sup>、

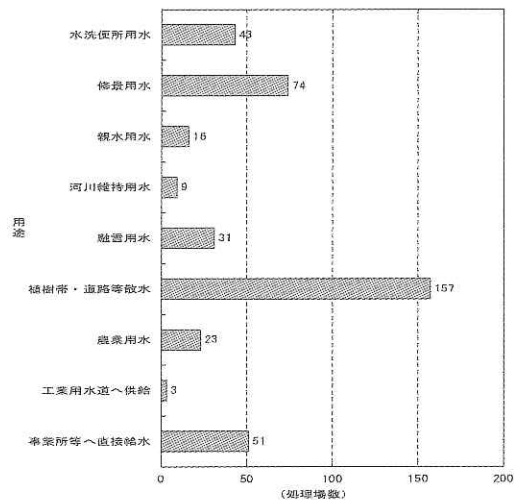


図-1 用途別有効利用処理場数 (平成15年度)

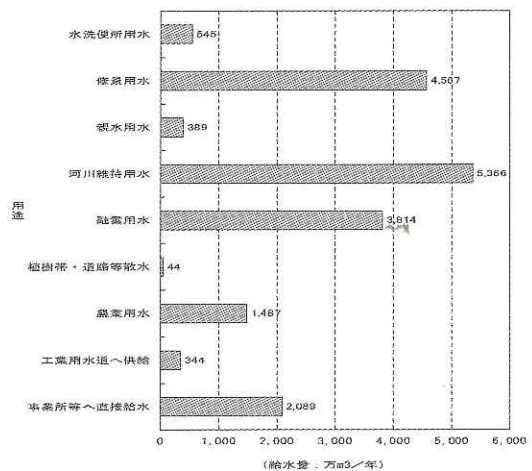


図-2 用途別有効利用水量 (平成15年度)

View of Treated Wastewater Reuse in Japan and Establishment of the Manual on the Reclaimed Wastewater Quality Criteria

処理場数ベースでは散水用水用途に多く利用されている一方で、利用水量ベースでは河川維持用水、修景用水、融雪用水用途に多く利用されていることが分かる。また、図-3は用途別利用水量の推移を表しており、環境用水（河川維持用水、修景用水、親水用水）用途への利用水量及び融雪用水用途への利用水量は増加傾向にあるのに対し、工業用水道への供給や農業用水用途への利用水量は減少傾向にあることが分かる。

以上から分かるように、我が国では都市用水としての利用が中心となっているのが特徴的であり、諸外国における下水処理水再利用の使途（農業用水等が中心）とは対照的である。

以下に、主な用途について、国内での下水処理水再利用の状況を紹介する。

2.1 水洗用水

水洗用水として古くから大規模に利用されている事例として、福岡市や東京都新宿副都心があるが、近年は、都市再開発にあわせ下水処理水を水洗用水として利用する事例が増えており、埼玉県さいたま新都心、沖縄県那覇新都心、東京都品川・大崎地区、汐留地区、臨海副都心地区等で大規模に利用されるようになってきている。

2.2 散水用水

処理場当たりの利用水量は少ないものの、利用処理場数は多く、処理場数ベースでは全用途中最も多い状況にある。

利用目的は、植樹帯や芝生等への散水、道路や工事現場での散水が主である。散水方法としては、散水栓からのホースによる散水、散水車による散水等が多く見受けられる（写真-1、写真-2）。

2.3 河川維持用水・修景用水・親水用水

河川維持用水は河川流量の回復を目的としている。また修景用水はせせらぎ等の創出による景観維持を主たる目的としており、親水用水はレクリエーションとしての利用を主たる目的としている。都市における水辺空間が有するうるおい・安らぎをもたらす機能や地域コミュニティ再生への寄与等の機能の重要性が認識されるようになり、修景用水及び河川維持用水への利用水量は全用途の中でも特に多い状況にある。

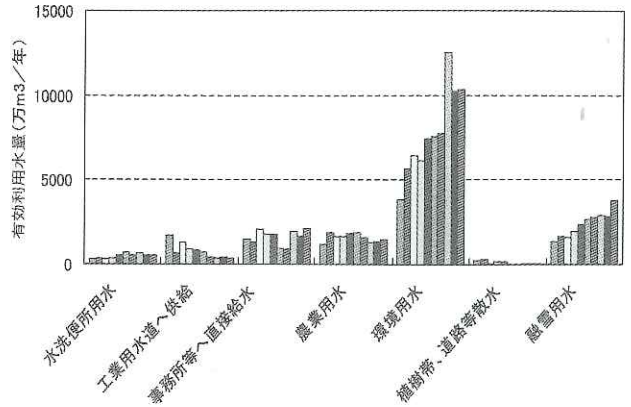


図-3 用途別有効利用水量の推移 (平成6～15年度)

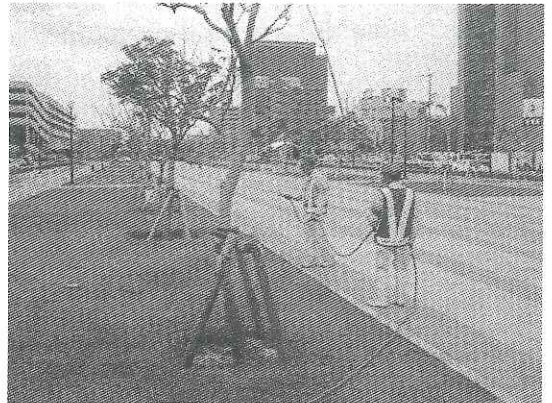


写真-1 散水栓からのホースによる散水

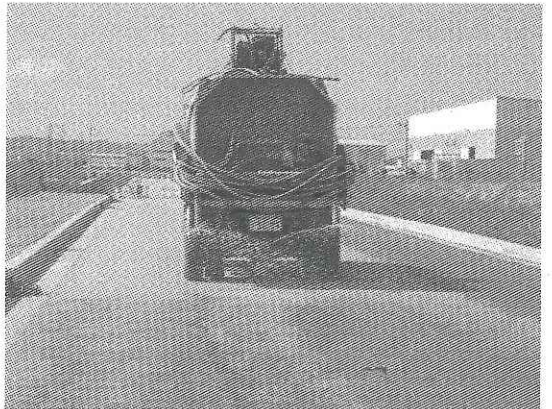


写真-2 散水車による散水

下水処理水を活用して水辺を創出するとともに、遊歩道や植栽等の整備も併せて行うことにより、水辺空間の創出を図る事例が多く見受けられる（写真-3）。

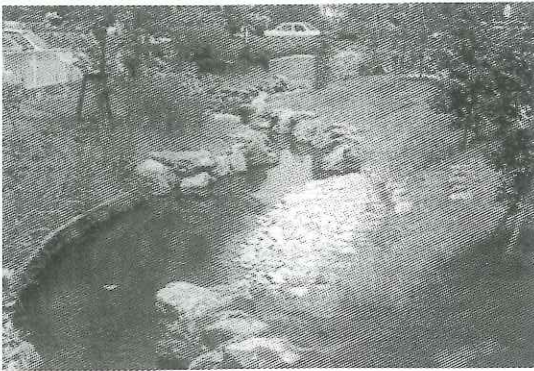


写真-3 下水処理水による水辺空間の創出



写真-4 下水処理水を利用した水力発電

## 2.4 融雪用水

利用水量が多く、かつ増加傾向にある用途である。平成17年度冬期には日本各地で記録的な豪雪に見舞われ、下水処理水の融雪用水用途への利用の重要性が改めて認識されることとなった。

融雪用水の利用形態は様々であり、道路下に再利用配管を埋設し、路面上に散水することにより融雪を図る方法や、処理水を通水している流雪溝や融雪槽に雪を投入することにより融雪を図る方法等が見受けられる（表紙写真）。

## 3. 下水処理水再利用の今後の展望

地球環境の保全及び省資源・省エネルギー対策として、今後は未利用エネルギーの積極的な活用が求められるようになる。下水処理水は気象等による影響が少なく、外気に比べて水温が安定している等の特徴を有しているため、その熱を利用したヒートポンプによる地域冷暖房への活用が可能である。

こうした状況を踏まえ、ヒートポンプの熱源としての下水処理水の活用や落差を利用した水力発電への下水処理水の利用等が行われるようになってきている。

例えば、横浜市の日産スタジアムでは、下水処理水を水洗用水として活用するとともに、ヒートポンプによる地域冷暖房にも利用している。また、神戸市では、鈴蘭台処理場と下水処理水の送水ポンプ場の高低差を利用して、ポンプ場において下水処理水を利用した水力発電が行われている（写真-4）。また、ヒートアイランド対策としての打ち水にも下水処理水が活用されるようになってきている。

今後は、エネルギー活用や地球温暖化防止等、地球環境問題の観点からも、下水処理水再利用の推進を図っていく必要がある。

## 4. 水質基準等マニュアルの策定

### 4.1 策定の背景及び経緯

これまで述べてきたように、下水処理水再利用の重要性は今後益々高まっていくことが予想される。その一方で、飲料水や食品を介したクリプトスポリジウム、ウイルス等の病原微生物による人間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いる。

このような状況を踏まえ、国土交通省都市・地域整備局下水道部及び国土技術政策総合研究所下水道研究部は、平成15年5月に「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 立命館大学理工学部客員教授）を設置し、2年間にわたる委員会での検討結果を踏まえ、水質基準等マニュアルを策定した。

### 4.2 マニュアルの構成

水質基準等マニュアルでは、下水処理水再利用における衛生学的安全性確保、美観・快適性確保、施設機能障害防止の観点から、下水処理水循環利用技術指針（案）及び下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）（以下「旧マニュアル」という）における水質基準及び目標水質等に代わる新たな水質基準等及び施設基準を提示するとともに、下水処理水再利用の実施に当たり考慮すべき事項を提示した。

### 4.3 マニュアルの適用範囲

水質基準等マニュアル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間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（人間が触れないことを前提）及び親水用水（人間が触れることを前提）の4用途とした。河川維持用水については、間接的な利用形態となるため適用対象外とした。また、霧状の飛沫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。

#### 4.4 下水処理水再利用に関する技術上の基準

以下に示す基準設定の考え方のもと、利用用途別の技術基準を表-1の通り規定した。

##### 4.4.1 大腸菌（大腸菌群数）

衛生学的安全性のうち、細菌類への対応の観点から、これまでの大腸菌群に代えて大腸菌を基準項目として採用した。

旧マニュアルで採用されていた大腸菌群には、土壤に生息する細菌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不十分であった。水道水質基準及び建築物衛生法施行規則の雑用水水質基準において、糞便性汚染を示す指標が大腸菌群から大腸菌に変更されたことを踏まえ、水質基準等マニュアルでは、大腸菌群数に代えて大腸菌を新たに基準項目として設定した。また、基準値については、水道水質基準や建築物衛生法施行規則における基準値を参考に、検水100mL当たり不検出とした。なお、大腸菌の測定方法は、下水試料を対象とした

分析方法が提示されていないため、当面上水試験方法における特定酵素基質培地法を用いることとした。

但し、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、当面、下水処理水放流水質基準で定められている大腸菌群を暫定的な基準項目とし、旧マニュアルにおける基準値（大腸菌群数1000CFU/100mL）を用いることとした。

##### 4.4.2 濁度、施設基準

下水処理水の送水過程における配管等の閉塞防止の観点から、砂ろ過施設又はこれと同等以上の機能を有する施設を施設基準として規定し、施設の適切な機能を担保する指標として濁度を設定した。濁度については、運転管理における目標値（以下「管理目標値」という）として設定することとし、実態調査の結果、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濁度が2度を超えることが殆どなかったこと等を踏まえ、管理目標値は2度以下とした。

但し、親水用水利用については、水浴等の全身的な接触の可能性も想定していることから、利用者の衛生学的安全性確保に特に配慮する必要があるため、原虫類除去の観点から凝集沈殿工程を更に追加することとし、施設が適切に機能していることを担保する指標として、濁度2度以下を常に遵守すべき基準値として設定した。

以上の基準設定の考え方から分かるように、濁

表-1 下水処理水再利用に関する技術上の基準

|                    | 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/100mL  | 不検出/100mL   | 大腸菌群数<br>1000個/100mL | 不検出/100mL  |
| 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<br>（管理目標値）    | 責任分界点    | 遊離残留塩素<br>0.1mg/L又は結合<br>残留塩素0.4mg/L<br>以上 <sup>1)</sup> | 遊離残留塩素<br>0.1mg/L又は結合<br>残留塩素0.4mg/L<br>以上 <sup>1),2)</sup> | /                    |            |
| 施設基準 <sup>3)</sup> |          | 砂ろ過施設  | 砂ろ過施設   | 砂ろ過施設                | 凝集沈殿+砂ろ過施設 |

1) 供給先で追加塩素注入を行う場合には、個別の協定等に基づくこととしても良い

2) 消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない

3) 同等以上の機能を有する施設でも可

度の管理目標値及び基準値は、施設機能障害及び衛生学的安全性の観点から直接定められたものではなく、施設の適切な機能を担保する指標として定められたものであるため、生物処理後の処理水の濁度が管理目標値及び基準値を満足している場合においても、施設基準を満足する必要がある。

#### 4.4.3 pH

下水処理水の送水過程における配管等の腐食防止の観点から、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 を基準値として適用することとした。なお、併せて、配管等を腐食・閉塞が発生しにくい構造・材質とし、適切な維持管理を実施することも重要である。

#### 4.4.4 外観、色度、臭気

美観・快適性の観点から、旧マニュアルにおいて目標水質として定められている外観、色度、臭気を基準値として設定した。但し、美観・快適性については、個々の利用形態の差や利用者の個人差があると考えられるため、利用者の意向等を踏まえ、個々の事例にあわせた基準値を設定することが望ましいとしている。

#### 4.4.5 残留塩素

下水処理水の送水過程における病原微生物再増殖防止の観点から、残留塩素を管理目標値として規定した。

なお、下水処理水再利用箇所における実態調査の結果、水道水質基準及び建築物衛生法施行規則における雑用水水質基準を満たしている場合には細菌類の増殖を抑制できることから、管理目標値を遊離残留塩素 0.1mg/L 以上又は結合残留塩素 0.4mg/L 以上と規定した。但し、利用者側で追加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、散水用水及び親水用水において、利用者に至るまでの所要時間が短い等の理由により消毒効果の残留が必要ない場合には、残留塩素の基準を適用せず、紫外線消毒やオゾン消毒、膜処理等の方法で対応しても良いこととした。

修景用水については、人間が触れることを前提としない利用であること及び生態系保全の観点から塩素消毒以外の処理を行う場合が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。

#### 4.4.6 基準適用箇所

下水処理水再利用箇所における実態調査の結果、下水処理水の送水過程における大腸菌の増殖が見られないことから、大腸菌の基準適用箇所は、再利用に供する下水処理水を得るための処理施設（以下「再生処理施設」という）の出口とした。

また、外観、濁度、色度、臭気及び pH については、下水処理水の送水過程における変動が無視できるものと考えられることから、基準適用箇所を再生処理施設出口とした。

また、残留塩素については、水質基準等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、基準適用箇所を下水道管理者と下水処理水の供給を受ける施設（以下「下水処理水再利用施設」という）管理者の責任分界点とした。

#### 4.5 下水処理水再利用の実施における主な考慮事項

下水処理水再利用の実施にあたり考慮する必要があるとして規定された事項のうち、衛生学的安全性に関するものは以下の通りである。

##### 4.5.1 残留塩素管理対策

###### 1) アンモニア性窒素の低減

下水処理工程において、残留塩素消費物質であるアンモニア性窒素の低減を図る。

###### 2) 適切な送水管網整備・管路更新

滞留時間の短縮化が図られるよう、適切な管径を選択する他、管路のループ化により行き止まり管を解消する等、適切な供給管網の整備を行うとともに、残留塩素消費が少ない材質の管路への更新を行う。

###### 3) 塩素の段階注入

下水処理水の送水過程において残留塩素が減少しやすい箇所では、塩素の段階注入方式を検討する。

###### 4) 受水槽容量の適正化

下水処理水再利用施設では、受水槽容量の適正化を図り、滞留時間の短縮に努める。

###### 5) 受水槽等の定期的な清掃

下水処理水再利用施設では、受水槽等の清掃を定期的に行うことにより、残留塩素消費の原因となる堆積物や付着物の除去に努める。

##### 4.5.2 誤接合防止対策

###### 1) 下水処理水用配管設備の明示

下水処理水用の配管設備である旨の表示を行うか、あるいは水道水の配管設備と容易に

判別できる色とする。

2) 誤接合防止の確認

下水処理水再利用施設の管理者は給水開始前に誤接合確認検査を行うとともに、下水道管理者は当該検査に立ち会う等、誤接合のないことを確認する。なお、確認検査の実施方法例としては、下水処理水を着色し、下水処理水と上水の元バルブの開閉により、誤接合の確認を行っている例がある。

4.5.3 誤飲防止対策

1) 下水処理水の使用標示

下水処理水の使用標示を行う。特に修景用水利用においては、下水処理水の使用標示等の対策を徹底し、飲用不可であること、また接触した場合には手洗い等を励行する等、下水処理水の誤飲を防止するよう努める。

2) 散水方法の工夫（散水用水利用）

散水用水利用においては、利用者が少ない時間帯に散水する等、利用者が飛沫を吸引しないように留意する。

4.5.4 下水処理水の水質悪化などの異常発生時の対応

1) 追加処理、利用の制限、送水停止等の措置

下水処理水を供給する下水処理場の処理区域における集団感染発生等により、下水処理水の衛生学的安全性に問題が生じる恐れのある場合には、緊急的な追加処理等を行うか、あるいは利用の制限、下水処理水の供給停止等の措置をとる。

2) 連絡体制の整備

異常事態の発生に素早く対応できるよう、必要な情報の連絡体制の整備をあらかじめ検討しておく。

5. おわりに

都市内における貴重な水資源確保の観点や地球環境保全の観点から下水処理水再利用の重要性は今後益々高まってくるものと予想される。下水道法及び水質基準等マニュアルに基づく適正な管理の下、下水処理水の積極的な活用が求められる。

参考文献

- 1) 国土交通省土地・水資源局水資源部：平成17年版日本の水資源, 2005.8

- 2) 社団法人日本下水道協会：平成15年度版下水道統計, 2005.3  
3) 社団法人日本下水道協会：平成17年日本の下水道, 2005.10

田嶋 淳\*



国土交通省都市・地域整備局下水道部流域管理官付補佐（前国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室主任研究官）  
Atsushi TAJIMA