

土木学会平成29年度全国大会
研究討論会 研-26 資料

下水再生水の利用促進における 環境工学の役割

座長	久場 隆広	九州大学
話題提供者	山下 洋正	国土交通省国土技術政策総合研究所
	濱田 秀幸	福岡市道路下水道局
	田中 宏明	京都大学
	大熊 那夫紀	造水促進センター

日時	平成29年9月13日(水) 13:00~17:00
場所	九州大学伊都キャンパス
教室	西講義棟第一講義室

環境工学委員会

平成 29 年度土木学会全国大会 研究討論会
「下水再生水の利用促進における環境工学の役割」

[研究討論会趣旨]

偏在する水資源に対して人口増加と都市化により水需要は増加の一途をたどっている。また、地球規模での気候変動により渇水リスクの増大が懸念されている。このため、非在来水源である下水処理水の再生利用を積極的に進めることが求められている。

本討論会では、下水再生水の利用促進に取り組んでいる方々に話題提供をしていただき、今後の下水再生水利活用の在り方を考え、環境工学分野が貢献をしていくには何が必要かを討論する機会としたい。

[プログラム]

座長 久場 隆広 (九州大学)

13:00 -13:05

- ・環境工学委員会委員長挨拶

藤井 滋穂 (京都大学)

13:05 -13:25

- ・講演 1 国内の再生水利用紹介と ISO 国際規格化

山下 洋正 (国土交通省)

13:30 -13:50

- ・講演 2 下水再生水の 30 年間以上に渡る天神地区等への給水状況と新技術導入

濱田 秀幸 (福岡市)

13:55 -14:15

- ・講演 3 下水再利用の農業利用と病原体リスク

田中 宏明 (京都大学)

14:20 -14:40

- ・講演 4 下水再利用のための MBR+RO システムの事例紹介

大熊 那夫紀 (造水促進センター)

14:45 -15:00

- ・総合討論

再生水利用の国内状況と ISO/TC282 における国際規格化

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室 ○山下洋正

Water Reuse in Japan and Development of international guidelines in ISO/TC282, by

Hiromasa YAMASHITA (NILIM)

1. はじめに～再生水を取り巻く状況

日本はアジアモンスーン地域に属し、年間平均降水量(1,668 mm)は世界平均(807mm)の約2倍であるが、一人当たり年間降水量(4,986m³)は世界平均(15,320m³)の1/3でしかなく、降水、天然水資源、人間活動の偏在が脆弱地域の水不足を悪化させている。

例えば、沖縄、四国および島嶼地域の一部では、表流水や地下水の供給が十分でなく、水資源の需給が厳しい。灌漑目的も含めた水の再利用は、水不足を克服し、農業や産業の生産性を向上させる重要な手段の一つである。また、東京都、福岡市などの人口や産業が集積する大都市では、水資源の確保が大きな課題であり、環境目的やトイレ用水も含めた都市における再生水の利用が精力的に推進されてきている。

一方、世界的に見ても、21世紀に水資源が逼迫することが懸念されている。国連機関の予測によると、20世紀末の世界人口は約60億人で世界の取水量は約4,000km³であったのに対して、2025年にはそれぞれ約30%増加して、人口は約80億人、取水量は約5,200km³にまで増加すると見込まれている(図1参照)¹⁾。さらに2050年には、世界人口は90億人を超え、その約45%にあたる約40億人が水ストレス下にあると予測されている(図2参照)¹⁾。このような状況を踏まえ、再生水利用の推進が世界的に求められている。

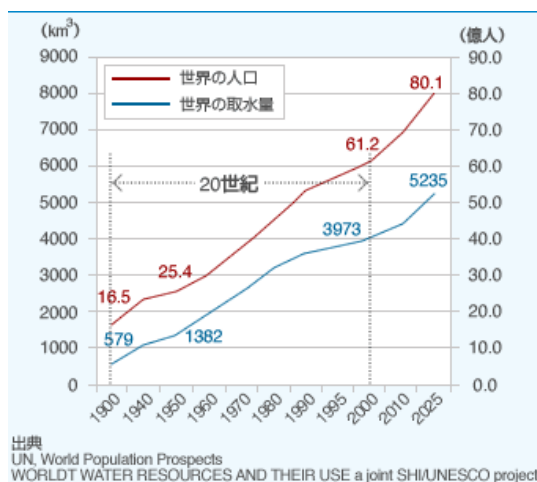


図1 世界の人口および取水量の推移¹⁾

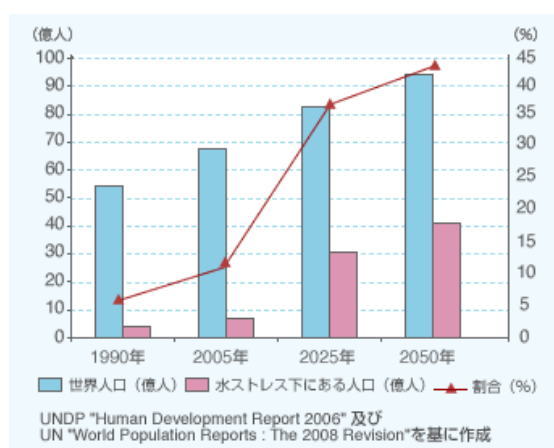


図2 世界の水資源の逼迫¹⁾

こうした中、下水の適正な処理・利用については、国連世界水発展報告書2017の主題とされるなど、世界的な水・衛生向上、持続的な水資源確保の重要な方策として着目・推進されている²⁾。国連の持続可能な開発目標(SDGs)においても、17分野の一つとしてSDG6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all(すべての人に水と衛生へのアクセスと持続可能な管理を確保)が設定されており、2030年までに水・衛生向上のため再生水利用への取組の拡大等を図ることとされている³⁾。

2. 下水処理水の再生水利用の国内状況

わが国における下水処理水の再生水利用の開始時期としては、昭和 53 年の異常渇水を契機とした昭和 55 年の福岡市における本格的な都市利用の着手が有名である。

下水道統計では昭和 53 年度版で初めて再生水に関する統計が登場しており、「3.各種作業 (3)-14(a) 下水処理水再利用の概要と場内再利用の現況, (3)-14(b) 下水処理水の処理場外再利用の現況」として掲載され、(b)の場外利用としては、14 地方公共団体（東京都、沖縄県および 12 市）17 処理場にて行われていた。

こうして先駆的な取組から始まった下水処理水の再生水利用は、40 年以上が経過した現在では大きく拡大しており、平成 25 年度値で約 1.9 億 m³/年となっている（図 3 参照）。

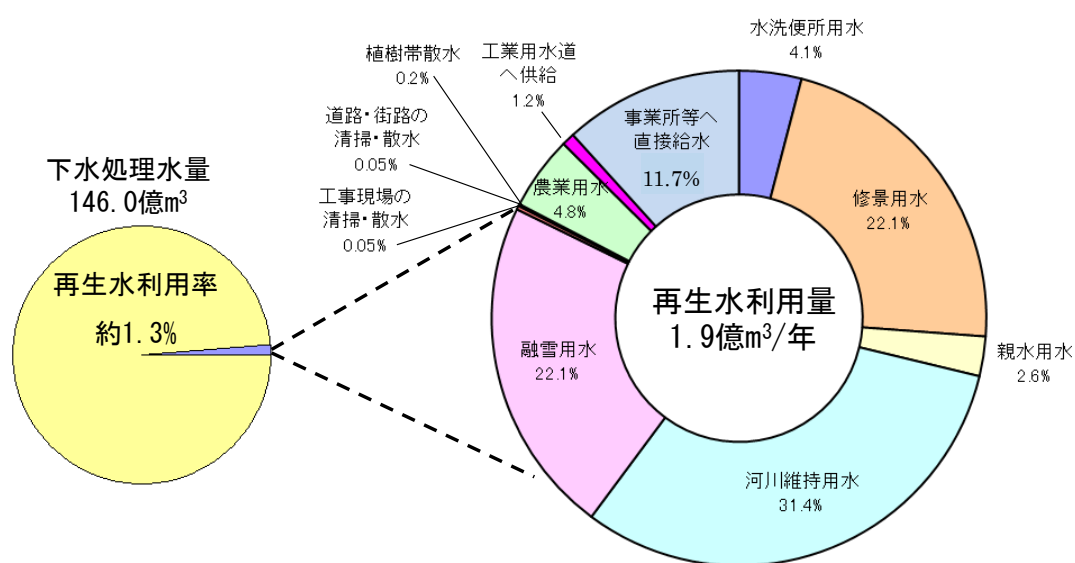


図 3 国内の下水処理水の再生水利用の現状 (国交省下水道部調べ)

わが国に「再生水法」はないが、下水道法における再生水の水質に関する規定としては、下水道法施行規則第四条の三（生活環境の保全又は人の健康の保護に支障が生ずるおそれのない排水施設又は処理施設）の第二号に、「人が立ち入ることが予定される部分を有する場合には、当該部分を流下する下水の上流端における水質が次に掲げる基準に適合するもの。イ 令第六条 に規定する基準、ロ 大腸菌が検出されないこと、ハ 濁度が二度以下であること。」と規定されている。従って、親水利用等の人が触れる可能性のある用途においては、通常の放流水としての水質基準に加えて、「大腸菌不検出 (100mL あたり)」「濁度 2 度以下」を遵守する必要がある。

また、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」(平成 17 年 4 月) が、4 つの用途 (水洗, 散水, 修景, 親水) と 3 つの観点 (衛生的安全性確保, 美観・快適性確保, 施設機能障害防止) を踏まえて策定されており、再生水の水質基準としては大腸菌, 濁度, pH, 外観, 色度, 臭気, 残留塩素について規定し、再生水利用の実施に当たっての考慮事項としては、誤接合や誤飲の防止対策, 美観確保対策, 腐食・閉塞防止対策などが記載されている。

3. 技術開発および国際規格化

再生水利用の推進には、求められる用途に応じた水質・水量を安定的に供給できる、経済的で省エネルギー型の技術が不可欠であり、日本でも効率的な水再生技術の開発に取り組んできた。これらの技術としては、例えば、新たな消毒技術としての UV 照射やオゾン処理、MF、UF、RO 等を用いた膜分離技術、水処理と分離を一体化した MBR 技術がある。

このような優れた技術の海外展開により、世界的な水問題の解決に貢献できるとともに、インフラ輸出や水ビジネスの国際展開にも資することができる。

そうした取組みの一環として、ISO/TC282 (Water reuse : 水の再利用) を日本が中心になり 2013 年 6 月に設立し、日本と中国が共同幹事国、イスラエルより議長を出している。国交省下水道部流域管理官が国内審議団体となり、国内の関係機関および各国と協力して、再生水利用の国際規格の開発を進めている。

表 1 に示すとおり、2017 年 7 月までに TC(Technical Committee)会議 4 回および SC(Sub Committee)・WG(Working Group) 会議 6 回を開催している。

表 1 TC282/SC3 会議の活動状況 (2017 年 7 月時点)

時期	場所	TC282会議	SC3会議
		2013年6月設立	2014年6月設立
2014年	1月 東京	第1回	-
	11月 リスボン	第2回	第1回
2015年	5月 バンクーバー	-	第2回
	11月 北京	第3回	第3回
2016年	6月 京都	-	第4回
	11月 テルアピブ	第4回	第5回
2017年	5月 ファロ	-	第6回
	11月 マドリッド	第5回	第7回

TC282 の構成の概要は、2017 年 7 月時点で図 4 に示すとおりであり、特に TC282 傘下に SC3 (Risk and performance evaluation of water re-use system : 再生水システム

のリスクと性能評価) 委員会を設置して、日本が幹事国・議長を務めており、WG1 (Health risk : 健康リスク) および WG2 (Performance evaluation : 性能評価) を設けている。これまでに再生水利用に関する規格として、WG1 にて①健康リスク

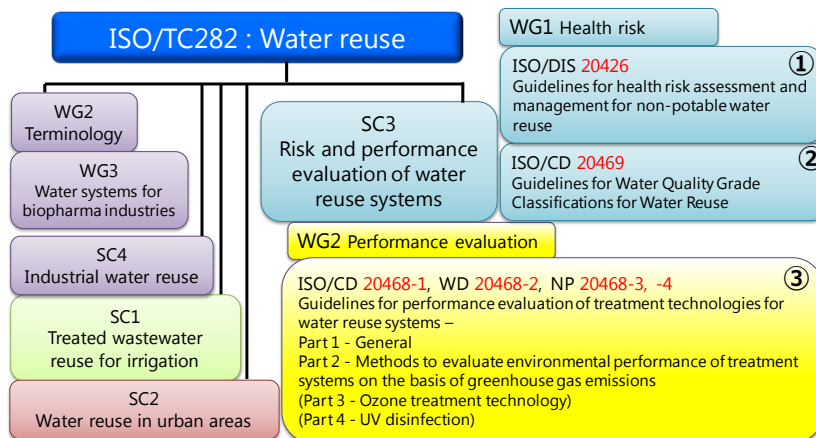


図 4 TC282 の構成の概要 (2017 年 7 月時点)

評価等 (ISO/DIS 20426), ② 水質階級分類 (ISO/CD 20469), WG2 にて③処理技術の性能評価 (ISO/CD 20468-1, WD20468-2, NP20468-3,-4 (新規格として提案中)) の開発を進めている。

また、SC1 (Treated wastewater reuse for irrigation : 灌漑利用, 幹事国・議長 : イスラエル), SC2 (Water reuse in urban areas : 都市利用, 幹事国・議長 : 中国), SC4 (Industrial water reuse : 工業利用, 幹事国・議長 : 中国・イスラエル), WG (WG2 Terminology : 用語, WG3) 等が設置されており、互いに連携・調整して規格開発を進めている。

4. 再生水処理技術の性能評価規格の現況

(1) 現在の規格構成

再生水処理技術の性能評価規格の当初規格案の WD20468 については、第 5 回 SC3 会議 (2016 年 11 月, テルアビブ) にて、CD(Committee Draft)段階への移行と開発期間の延長 (36 ヶ月→48 ヶ月) が決議されるとともに、ISO 20468-1 「Guidelines for Performance Evaluation of Treatment Technologies for Water Reuse Systems – Part 1 - General」と改称され、今後開発される個別規格が連番で続くこととなった。ISO/CD 20468-1 は、第 6 回 SC3 会議 (2017 年 5 月, ファロ) にて、修正後に DIS 投票されることが決議されている。

個別規格も含めた構成は、2017 年 7 月時点で図 5 のとおりであり、「Part 2 Methods to evaluate environmental performance of treatment systems on the basis of greenhouse gas emissions」が WD(Working Draft) 段階、「Part 3 Ozone treatment technology」「Part 4 UV disinfection」が日本より NP 提案されている状況である。

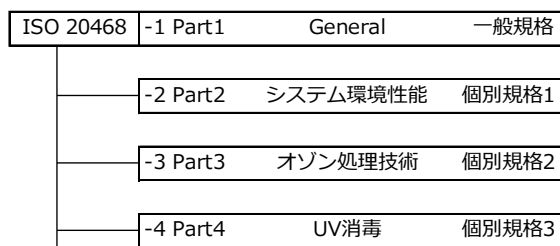


図 5 ISO 20468 の規格構成 (一般・個別規格)

(2) 性能評価規格策定のねらい

性能評価規格 (ISO 20468) の策定のねらいは、再生水の処理技術の性能評価方法をガイドライン化することにより、処理技術の特性が正しく評価され、適正な技術が利用されることを通じて、再生水利用を促進するものである。特に、これまで十分に配慮されてこなかった環境効率性 (省エネ性等) についても適切に評価されるように規格化することにより、日本を含めた先進的な水処理技術の特徴・利点が十分に評価され、持続可能な再生水利用への国際的な貢献が拡大することを目指している。

(3) 性能要件と評価手法の基本的考え方

1) 二種類の性能要件 (機能的, 非機能的): 再生水処理技術の性能要件(performance requirement)としては、特に人の健康リスクを制御する観点から、病原微生物の除去能力が重視されてきた。これらは、「機能的要件」(functional requirement)と位置づけられ、常に満たすことが要求される。満たせない状況となった際には、速やかな是正措置がとられる必要がある。ただし、飲用利用や公衆の曝露頻度・量が大である用途の場合と、非飲用目的で公衆の接触可能性が低い用途の場合とでは、求められるリスク管理のレベルが異なるため、性能要件の合理的な設定が重要である。

一方で、再生水利用においても、水質や健康安全性のみではなく、持続可能性の観点から、いかにエネルギー消費や廃棄物発生を抑制するか等の環境効率性が重視されてきており、ISO/WD 20468-2(Part2)では、再生水処理システムの環境性能を温室効果ガス排出量で評価している。また、例えば SC4 でも WG1 「工業排水処理におけるエネルギー消費特性評価」が設置されるなど、様々な規格開発の取り組みが進められている。

このような環境効率性は「非機能的要件」(non-functional requirement)と位置付けられ、

機能的要件とは異なり、要求を満たせない状況でも、直ちに是正措置を講じたり、再生水の供給を停止したりする必要はなく、持続的に改善していくことで対応可能である。

性能評価規格 Part1 (ISO/CD 20468-1) では、両方の性能要件を重要とみなし、評価手法の規格化の対象としている。現規格案では、表 2 に示すとおり、性能評価の原則的事項が第 5 章に、機能的要件が第 6 章に、非機能的要件が第 7 章に、それぞれ位置づけられている。

2) 機能的要件の評価手法：機能的要件の評価手法としては、導入しやすい定性的（～半定量的）なリスク評価手法を第一選択肢とする考えがとられた。定量的なリスク評価・管理手法（HACCP 等）も先進的な再生水規格（例えばオーストラリア等）では取り入れられているが、非飲用目的の再利用が多い中で、高度な管理のための労力・コストの増大が再生水事業の支障となるのを避けることが望ましいとの方向がとられた。具体的な手法としては、従来行われている再生水水質のモニタリング指標の設定（BOD 等の水質項目と基準設定）、不具合発生時の調査と対策等が考えられる。

3) 非機能的要件の評価手法：非機能的要件の評価手法としては、ベンチマーキングのようなアプローチが適していると考えられる。PI (Performance Indicator) としては、例えば環境指標や経済指標が考えられる。環境指標としては、エネルギー消費量、薬品使用量、廃棄物発生量等が考えられ、統合的な評価 (LCA 等) も選択肢となりうる。経済指標としては、建設費、維持管理費、LCC 等が考えられる。

5. まとめ

再生水利用に関する国内状況および ISO/TC282 における国際規格の 2017 年 7 月時点の開発状況について紹介し、特に再生水処理技術の性能評価規格について、規格開発の狙いや基本的考え方を概説した。今後も、関係者の協力を得ながら取り組みを進め、国内外の水問題の解決への一層の貢献を目指して参りたい。

謝辞： ISO/TC282 活動にご尽力いただいているエキスパートおよび事務局等関係者各位ならびに国内審議委員会の委員等各位に深く感謝します。

<参考文献>

- 1) 国交省水管理・国土保全局水資源部 HP (国際的な水資源問題への対応) より (http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/j_international/about/about002.html)
- 2) WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO
- 3) Sustainable Development Goal 6, <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6>

表 2 ISO/CD 20468-1 (Part1 : 一般規格) の構成の概要 (2017 年 7 月時点)

1～3章	適用範囲、引用規格、用語と定義
4章	水再利用システムの処理技術の概念
4.1	一般事項
4.2	処理の目的と技術
4.3	水再利用の目的に応じた処理技術
5章	性能評価の原則と一般ガイドライン
5.1	一般事項
5.2	性能要件
5.3	性能評価と要件の達成
5.4	処理システムへのガイドラインの適用
6章	機能的要件
6.1	一般事項
6.2	性能評価手順
7章	非機能的要件
7.1	性能指標の例
7.2	環境性能の評価方法
7.3	経済性の評価方法
付属書、参考文献	

福岡市における再生水利用の経緯と現状

福岡市道路下水道局 ○濱田 秀幸

The Background and Current State of Recycled Water Utilization in Fukuoka City, by Hideyuki HAMADA (Fukuoka City Road & Sewerage Bureau)

1. はじめに

福岡市は、一級河川がないなど地理的に水資源に恵まれていない都市であることから、昭和 53 年には、かつてない少雨により、ダムは完全に干上がり、287 日間の給水制限を伴う大渇水を経験した。(図-1)

この大渇水を契機に、水は限られた資源であることを強く認識し、昭和 54 年(大渇水による給水制限の最中)に、市民生活や都市生活に欠かせない水を安定して供給することを目的として、「福岡市節水型水利用等に関する措置要綱」(以下、「節水要綱」という)を制定し、市民・事業者・行政が一体となって、「節水型都市づくり」に取り組んできた。

この取り組みの一つとして、福岡市下水道局(現道路下水道局)では「下水処理水循環利用モデル事業」(現名称は、「再生水利用下水道事業」)に着手し、昭和 55 年に、再生水の供給を開始した。

これは、都市の中の安定した水資源である下水処理水を再生処理し、トイレの洗浄用水や樹木の散水用水として再利用するもので、日本初の取り組みとなった。



図-1 昭和 53 年大渇水の様子

2. 節水型都市づくり

福岡市が取り組んだ、「節水型都市づくり」は、4つの柱から構成される(図-2)



図-2 節水型都市づくり

衛生陶器メーカーと節水便器の研究等を行い、1回あたりの洗浄水量 10 リットル以下の節水便器を開発し指定をした。また、蛇口の使用水量を抑える節水コマの無償提供などにより節水効果を図った。

(2)水道水の効率的供給

昭和 56 年に福岡市水道局で水管理センターの運用を開始し、流量調整や水圧コントロールにより漏水の抑制・効率的な水運用を行った。現在では国内トップレベル 97.5% (平成 27 年度)の有効率を誇っている。

(3)節水意識の高揚

小中学校向け副読本を作成し、節水教育を授業に取り入れた。他にも、水道局ホームページで節水方法、貯水量等の情報提供や広報誌の全戸配布を行い、節水意識の啓発を行っている。

(4)雑用水道の普及

大型建築物等のトイレ洗浄用水として雑用水道の設置指導を行い雑用水道の普及による節水に取り組んだ。なお、当初の雑用水道の位置づけは次のとおりとなっていた。

1)広域循環型雑用水道(再生水)

下水処理場において処理された下水処理水を原水として、再生処理施設でさらに高度処理し、雑用水道として特定の地域に供給。

2)個別循環型雑用水道

事務所ビルなど1つの建物の中で、その建物内で発生する生活雑排水を自家処理して雑用水道として循環利用。

3)地区循環型雑用水道

比較的まとまった狭い地域(大規模な集合住宅や市街地再開発地区など)で、複数の建物から発生した排水を1箇所に集めて処理し、雑用水道として利用。

現在では、建築物の屋上等から集めた雨水や地下の井戸水をろ過処理や滅菌処理し、雑用水道として利用する、非循環型雑用水道も採用されている。

3. 再生水供給区域

昭和 54 年に日量 400m³の再生処理施設を中部水処理センター内に建設し、翌昭和 55 年には当初の供給先として福岡市の中心部にあたる、天神の公共施設 12 箇所を対象に再生水の供給を開始した。平成元年からは天神・渡辺通り地区、シーサイドももち地区を供給区域と定め民間の大型ビル等を含め再生水の利用拡大を図った。

再び大渇水を経験した平成 6 年の翌年からは博多駅

周辺地区、都心ウォーターフロント地区を加え、さらに平成 15 年には東部水処理センター内に建設した再生処理施設から香椎地区、アイランドシティ地区を対象に、再生水の供給を開始した。

平成 26 年 4 月には、現在、再生水を供給している裁判所や検察庁の移転先となる九州大学六本松キャンパス跡再開発地の六本松地区を新たに計画供給区域に追加した。

以下に現在の再生水供給区域を示す。(図-3)

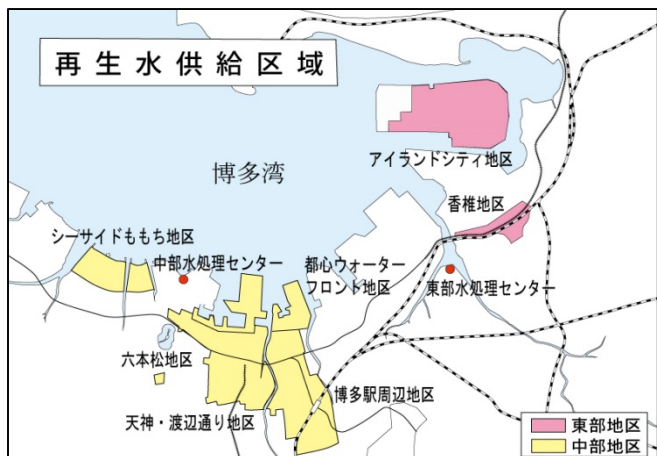


図-3 再生水供給区域

再生水の供給施設も、毎年約 10 箇所程度増えており、供給区域の面積と供給施設数ともに、日本一となっている。

また、再生処理施設は、供給区域の拡大や再生水利用者の増加に合わせて、段階的に施設を増強することにより、効率的且つ効果的な整備を行っている。

平成 28 年度末現在、供給区域 1,457ha において、供給施設 435 箇所に対し、1 日平均約 5,500m³の再生水を供給している。(図-4)

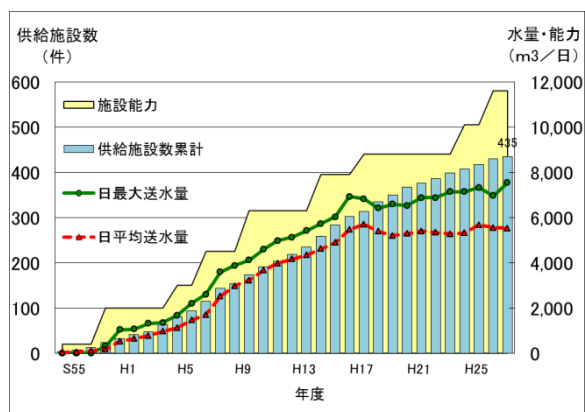


図-4 再生水の全体供給状況

4. 再生処理施設

再生処理施設は中部・東部水処理センターの 2 箇所内に設置しており、各々の地区に再生水管を布設し、利用先の需要量に合わせて、加圧ポンプの圧力制御で供給を行っている。

以下に再生処理施設の概要を示す。(図-5)

	中部再生処理施設	東部再生処理施設
施設外観		
供用開始	昭和55年6月1日	平成15年7月7日
施設能力	現有能力 10,000m ³ /日 認可能力 10,000m ³ /日	1,600m ³ /日 1,600m ³ /日
処理フロー	凝集沈殿+ろ過+オゾン+塩素消毒+仕上げろ過	凝集沈殿+オゾン+生物膜ろ過+塩素消毒

図-5 再生処理施設の概要

ここでは、中部再生処理施設の処理方式を代表して説明する。嫌気好気活性汚泥法による二次処理水を原水として、①凝集沈殿処理（ポリ塩化アルミニウム添加による不純物の除去）、②前繊維ろ過（繊維ろ材により不純物をろ過）、③オゾン処理（オゾンの酸化力による脱色・脱臭）、④塩素消毒（次亜塩素酸ナトリウムによる消毒）、⑤仕上げ繊維ろ過（繊維ろ材と目幅 32 ミクロンのスクリーンを通して不純物を最終ろ過）をして供給するシステムとしている。

以下に中部再生処理施設の再生処理フローを示す。

(図-6)

再生水事業は国土交通省の補助金と利用者からの料金収入により運営を行っており、再生水管は利用者からの要請に合わせて布設し、再生処理施設の整備は送水量の伸びに合わせて段階的に増強するなど効率的且つ効果的な整備を行っている。

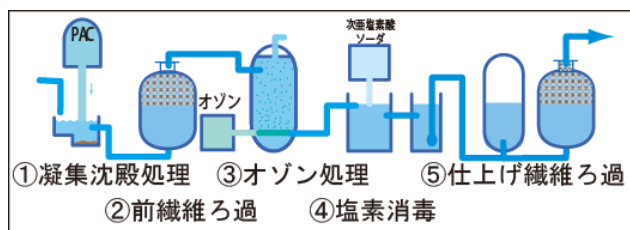


図-6 再生処理フロー（中部）

5. 再生水管

再生水を水処理センターから離れた市街地で使用するには、水道同様にパイプが必要になる。

現在、再生水管はφ75mm～350mm のダクタイル 鋳鉄管を公道に布設しており、その総延長は 100km を超えている。

再生水の供給区域内では、同じ道路の中に再生水管と水道管が混在する形となるので、再生水管は一目で再生水とわかるように、管の外面に黄色の塗装を施

し、外面の腐食防止と識別を兼ねた黄色のポリエチレンスリーブを巻き、道路掘削の際にも再生水管を破損させないように上部に標識テープを入れて布設している。以下に再生水管布設状況を示す。(図-7)



図-7 再生水管布設状況

6. 条例化

当初、「節水要綱」による節水型都市づくりの一環として始めた「再生水事業」は平成元年からの民間ビルへの再生水供給を皮切りに「下水処理水循環利用モデル事業実施要綱」(後に、「福岡市再生水利用下水道事業実施要綱」(以下、「再生水要綱」という。))により、需要者と契約書を取り交わして供給を行ってきた。

しかし、①市民と一体となった節水の更なる推進(地区循環型雑用水道がなくなり、雨水利用等新たな視点での対応が必要となった。) ②法的根拠の明確化、普及促進(建築基準法の改定に伴う民間の指定機関での建築申請が可能になり要綱での指導が困難になった。)

③地方自治法の改正(地方分権一括法の施行により、「義務を課し、又は権利を制限するときには、条例によらなければならない」と規定された。)などから、「節水要綱」を条例化しなければいけない状況となった。

併せて、「再生水要綱」も同時に条例とすることとし、平成15年12月1日付けで日本初となる雑用水道の設置を義務付けるなどの「福岡市節水推進条例」と再生水利用に関する手続き、料金等を明記した「福岡市再生水利用下水道事業に関する条例」(以下、「再生水条例」という。)を施行した。

「再生水条例」に規定する料金は、利用者が水道水と再生水を併用利用する際に、水道水のみ利用より2~4割程度安価になり(基本料金無しの3段階従量料金制)かつ、インシヤル・ランニングコストを回収できる料金設定とした。以下に水道料金と再生水料金の比較を示す。(図-8)

●水道(上水)料金

基本料金	従量料金
40 mm 10,920円	10m ³ まで 17.5円/m ³
50 mm 21,000円	11m ³ ~30m ³ 24.3円/m ³
75 mm 59,700円	31m ³ ~100m ³ 33.5円/m ³
100 mm 129,200円	101m ³ ~300m ³ 41.6円/m ³
150 mm 319,000円	301m ³ ~1,000m ³ 49.7円/m ³
200 mm 511,000円	1,001m ³ 以上 54.2円/m ³

●再生水料金

基本料金	従量料金
0	100m ³ まで 1.50円/m ³
	101m ³ ~300m ³ 3.00円/m ³
	301m ³ 以上 3.50円/m ³

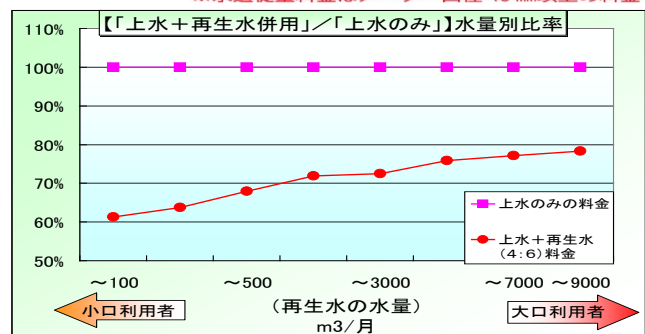
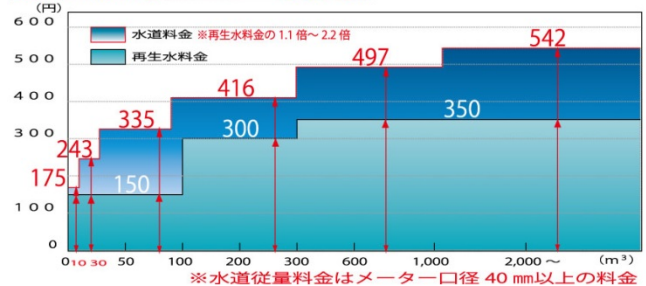


図-8 水道料金と再生水料金の比較

7. おわりに

福岡市の再生水事業は、昭和55年の供給開始から35年以上を経過し、様々な課題を乗り越えながら、現在に至っている。

福岡市における再生水事業は、今後も積極的に推進していく必要があり、既存建築物の建て替え計画や再開発等による土地利用計画の見直し等を注視し、区域の拡大や将来の需要見込みに合わせた管網整備、再生処理施設の増強や最適化を行うことにより、効率的かつ効果的に事業を実施していく。

下水再生水の利用による農業用水推進の課題

京都大学 田中 宏明

Challenges of Municipal Water Reuse for Agriculture Irrigation, by Hiroaki Tanaka (Kyoto University)

1. はじめに

21世紀は水の世紀といわれ、世界的には増大する人口、生活水準の改善を求める経済成長、都市への人口、成長の集中、それを支えるための水、食料、エネルギーの確保が世界的課題であり、食料、エネルギー確保のためには水は不可欠である。一方、食料、エネルギー生産によって水は、水循環や温暖化や気候変動による影響を受ける。特に進行しつつある気候変動は、水にとって大きな課題であり、エネルギー節約と低炭素社会づくりは、気候変動への適応とともに重要な課題である。また世界的な人口と経済成長によって資源は将来的な枯渇や高騰が懸念される。水の再利用は、国連の持続可能開発目標 (SDG) ¹⁾に重要性が初めて明記されたほか、水循環基本計画 ²⁾や今後の水資源政策の在り方 ³⁾でも水資源としての意義のほか、水環境管理やエネルギー管理においても重要な方策であることが認識されてきている。しかし、わが国においては、事業場内での水の再利用と比べ、都市レベルでの水の再利用は1%と極めて低い。普及促進を進めるためには、水の再利用の意義の理解と計画論の確立、技術の開発、安全性の評価、そして利用者の再生水利用の協力が必要である。

2. 沖縄中南部での再生水ニーズと JST CREST での合理的な灌漑用水利用

年間 2000mm の降雨がありながら、高い人口密度と短小な河川しかない沖縄本島中南部は、水不足が際立つ地域である。沖縄本島北部でのダム水資源開発は、主に都市に水を供給してきたが、環境問題などからこれ以上の開発は期待できず、代替水資源として、再生水が期待される。沖縄本島中南部の農業用水開発は遅れており、多くの農地は天水でも栽培ができるサトウキビが中心であるが、水資源が確保できると、生産性が高い野菜、果樹、花卉など沖縄の特色のある農業にシフトできる。

2000年頃、那覇市の下水処理場から沖縄本島南部の 2000ha 余りの畑地に再生水を供給する国営かんがい事業計画が立てられた。計画当初から、野菜等を栽培するため、下水処理後に 5-log 以上のウイルス除去を要求する米国カリフォルニア州再利用基準 (Title22) に準じる方法を推薦し、わが国の本格的な農業水利用の実現のため、協力してきた。しかし、隣接地域で開発された地下ダムでの農業用水よりも再生水価格が高く、また再生水への安全性に対する風評被害が懸念されたため、計画は休止した。

2010年、JST CREST プロジェクト ⁴⁾が採択され、コストを下げながら処理の信頼を向上させる方法をパイロットスケール(10m³/日)で様々検討した。最終的に、生食用作物の灌漑利用には、下水処理水を無凝集で限外ろ過 (UF) 膜 (公称孔径 0.01 μm) をろ過した後、紫外線 (UV) 消毒を行う再生水処理システムを開発した。再生水の畑地灌漑に Title22 型の再生水システムに比べ、エネルギーの削減が可能で、水質的には濁質と病原細菌をほぼ完全に除去できるうえ、野菜や果樹、花卉などの栽培で最も懸念されるウイルスについても、Title22 と同等以上の除去率を達成できることが明らかになった。また、再生水に含まれる栄養塩類も農業生産に活用でき、省スペース、省人化も可能である。さらに再生水の利用を強く望む糸満市北部の畑地農家に近い糸満浄化センターの処理水を利用し、計画規模を縮小することでさらに使用エネルギーは小さくできることが明らかになった。また、沖縄の環境問題にサンゴ礁の劣化があり、下水処理場放流水の栄養塩類の除去も、将来必要となる可能性がある。このため、再生水の栄養塩が農業利用されれば、高度処理費用の削減にもつながる。沖縄県民や糸満市市北部の農家に、CREST プロジェクトの成果 ⁴⁾と意義を説明するシンポジウムなどを行うとともに、意見交換を行い、再生水の利用は、慢性的な農業用水不足を解消し、高付加価値な農作物を安定的に収穫できる可能性があることから、糸満市、農民からも期待が高まった。

3. 国土交通省下水道革新的技術実証 (B-DASH) 事業での再生水技術の検証

2015年、新たに国土交通省の支援を受けて、糸満市、民間企業とともに実証規模(1000m³/日)の再生水施設を建設し、実証規模でのエネルギー・費用の検証と再生水の安全性を確認することとなった。B-Dash 事業の施設建設での起工式、通水式を実施し、再生水利用を望む糸満市北部の土地改良区の農家、JA おきなわなどの関係者、糸満市の主婦団体、マスコミなどに再生水利用の意義、施設見学と説明を行った。

B-DASH プロジェクトでは、信頼性の高い病原微生物管理を目指すため、UF モジュールで 0.1~1%の中空糸膜が、万一破断した時の検知方法や処理水質への影響をパイロットスケールで検討した。この結果、膜破断は圧力減圧試験で検出できるが、連続的な検出には、高感度濁度計の利用が有効であることが分かった。また UF 膜が破断した場合、大腸菌は膜ろ過水に直ちに検出されるが、後段の UV 消毒で不活化され、検出されないこと、モデルウイルスである大腸菌ファージ MS2 は、UF 膜の阻止率が 1~3log 程度であり、膜破断による除去率の低下は若干みられるが、後段の UV 消毒での不活化で、5-log の効果が確認できた(図-1)。

また、実証規模での UF+UV でのウイルス除去率を確認するため、下水処理水に含まれている F-RNA ファージを ICC-PCR によるタイピング手法で、5-log 以上の除去があることを確認した。また Title22 型の再生水施設(図-1)に比べて、維持管理コストも大きく削減できることが確認できた。この再生水技術は、「UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水の創水システム導入ガイドライン(案)」⁵⁾としてまとめられている。

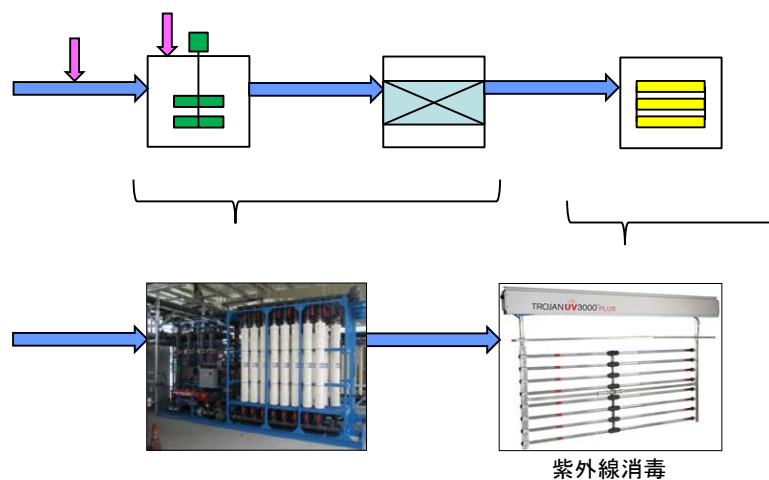


図-1 従来法のカリフォルニア州再利用基準の再生水製造方法 (Title22) と B-DASH 事業の再生水プロセス

4. 沖縄県南部農林事務所(以下、沖縄県)を中心とした農業用水への再生水利用調査

沖縄県は、JST CREST の成果を踏まえつつ、糸満市北部地域を対象とした再生水を中心とした農業用水の基本調査を 2014 年に開始し、沖縄型水循環システム導入に向けた再生水利用検討委員会を設置した。当方は、その委員会に参画し、対象地域での農業の活性化を図るため情報提供と技術指導を行った。この再生水利用検討委員会の下に再生水農業利用リスクコミュニケーション部会と環境効果検討部会が設けられた。再生水農業利用リスクコミュニケーション部会では、京都大学地球環境学堂とも連携し、農家、消費者の再生水利用への意向調査や啓蒙活動に協力した。

糸満市民の一般消費者に対して行った再生水事業についてのアンケート調査では、事業主体側から再生水やその安全性・意義についての情報提供を行った上で、一般消費者がどのようなリスク認知を行い、農産物購入に対する態度を示すかを聞き、望ましい情報提供のあり方を検討した。この結果、再生水の安全性と必要性・意義の説明で、再生水利用の野菜を気にせず購買意欲する人が 4 割弱から 6 割に増え、説明の効果が確認された。再生水による栽培を気にしない人も気にする人も、再生水に含まれる化学物質・蓄積性物質や

管理体制に対する関心が高く、このことをいかに伝えるかがリスクコミュニケーションの鍵であることが示唆された。

さらに、3. で述べた B-DASH 事業で製造した再生水を沖縄県、再生水導入を希望する農家と連携し、B-DASH 施設からタンク車で輸送し、貯水タンクに貯留して再生水で栽培していただいた。農業排水路などから取水した場合と比較して、再生水で栽培した方が、育ちが良い結果が得られた。再生水で栽培された農作物を JA 直売所で販売し、販売方法による消費者の反応を京都大学地球環境学堂がアンケート調査した。この結果、地元県産の再生水で栽培した野菜は、他県産の野菜よりも商品価値としての評価が高い結果となった。価格が同じであれば、再生水に関するネガティブな情報が出回らない限り、沖縄県産野菜を再生水利用のものに切り替えたとしても、沖縄県産の売れ行きが極端に落ちることは考えにくいことが示唆された。また 1 枚のパネルに再生水の概要、安全性、意義を示した場合に、再生水を利用した野菜の売れ行きが向上したことから、販売に当たって消費者へ再生水利用の情報提供が有意義であると思われる。

沖縄県は、「沖縄県における都市下水道処理水の畑地灌漑利用の計画及び管理マニュアル」⁹⁾として、計画と管理方法をまとめた。沖縄県での農業用水への再生水利用は、最近まとめられた農業用水用途の再生水 ISO ガイドライン⁷⁾に従い実施するが、糸満市北部地域での再生水利用地域では、生食作物の灌漑に下水処理水を再利用するため、消費者や流通業者の再生水に対する嫌悪感や風評被害の払拭と再生水コストの低減が重要としている。このためには、B-DASH で実証された UF+UV 技術が望ましく、下水道管理者と灌漑用水の供給者の事業区分の明確化、消費者などへのリスクコミュニケーションや緊急時のクライシスマネジメントの重要性を述べている。

5. おわりに

沖縄本島南部地域における再生水の生食用作物栽培への展開状況を述べた。この例からは、再生水で求められる安全性と再生水の生産と供給の費用削減の重要性、再生水利用と連携した水需要の調査、利害関係者の安心確保の努力、実証施設の建設と再生水利用者や消費者、流通業者との連携強化、さらに、再生水を利用する意義と社会的・環境効果の利害関係者への説明が、わが国における再生水利用には重要であることが示唆される。今後、利用農家の意思や事業採算性の確認と地元農家や消費者への水の再利用の啓蒙活動を糸満市ら関係者とともに、さらに進め、本格的な事業展開を図るよう働きかける予定である。

参考資料

- 1) United Nation(2015) Sustainable Development Goals, Targets and Indicators of 6 Water and Sanitation, 2017 年 7 月 16 日アクセス <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6>
- 2) 内閣府水循環政策本部(2015)水循環基本計画 2017 年 7 月 16 日アクセス http://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/pdf/honbun.pdf
- 3) 国土交通省 国土審議会 水資源開発分科会(2015) 今後の水資源政策のあり方について, 2017 年 7 月 16 日アクセス <http://www.mlit.go.jp/common/001084364.pdf>
- 4) 京都大学・東レ・メタウォーター・国土技術政策総合研究所・土木研究所(2015) 21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価、土木技術資料
- 5) 国土技術政策総合研究所(2017)UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水の創水システム導入ガイドライン (案)、国土技術政策総合研究所技術資料 (印刷中)
- 6) 沖縄県南部農林土木事務所(2017)沖縄県における都市下水道処理水の畑地灌漑利用の計画及び管理マニュアル
- 7) ISO(2015) Guideline for treated wastewater use for irrigation, ISO 16075

下水再利用のための MBR+RO システム事例紹介

一般財団法人造水促進センター ○大熊 那夫紀

Membrane Treatment Technology for Water Reuse, by Naoki OHKUMA (Water Reuse Promotion Center)

1. はじめに

世界の水需要の伸びの予測に対してダムや河川などの在来水源では対応できないことが予想され、非在来水源である海水や下水、排水の利用が必須になってきている。こうした中、2017年3月22日の「世界水の日」に国連は、排水の処理と再利用を促進すべきとの報告書を提出している。非在来水源の再利用には、膜技術が欠かせない技術となっている。

ここでは、下水や排水の再利用技術として欠かせない MBR (Membrane BioReactor) と再利用の用途拡大に必要な RO (Reverse Osmosis) を組み合わせたシステムの事例を紹介し、非在来水源の活用方法について考えることとする。

2. MBR の世界動向

2008年に300億円といわれた MBR 膜の市場も年を追うごとに急拡大している。大規模下水処理場が次々建設され、アメリカでは15万9千 m³/d が日本製の膜で稼働を開始した。さらに、中国¹⁾では2016年11月に65万 m³/d の地下式 MBR が稼働した。また、スウェーデンでは86万 m³/d の MBR 設備が建設中である。2017年初頭にシンガポールでは120万 m³/d の計画が発表された。特に中国は、巨大なマーケットが明らかになってきた。黄教授によると2016年には750万 m³/d になると予想されている。

一方、欧州では、一部で MBR の展開が鈍化している²⁾。膜の更新時期を迎えたオランダでは、下水処理水の水質規制強化が進まず、MBR 設備の欠点である消費エネルギーの問題がクローズアップされ、処理水の再利用を行っている設備以外を停止している。ドイツにおいては近年の電力代の高騰のため新設の MBR が導入されておらず、下水処理場全体でのエネルギー回収検討を進めている。一方、韓国、中国では地下式の MBR が多数ある。MBR は標準活性汚泥法と比べて地下部の掘削量をミニマム化できるため、MBR 施設を地下に建設し、地上部を公園等に利用し、再生水を利用する都市部ならではの下水処理方式として注目されている。

3. MBR+RO システムの概要

MBR は、再利用に適した排水処理技術といえる。再利用の用途は、かんがい利用用途が最も多いが、工業

利用、とりわけボイラー用水などへの再利用には脱塩処理が必要になるなどもう一段の処理を行うことで、再生水の用途拡大が図れる。これまでは、従来法である活性汚泥処理の処理水(下水二次処理水)を UF 膜、RO 膜で処理をして再利用している例が多いが、今では、MBR 法を用いることで省スペースに加えて、経済性の面でも有利になってきている。図1に MBR+RO システムの特長を示す。

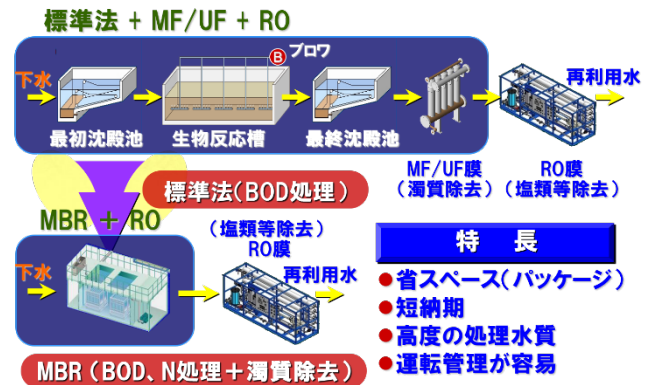


図1 MBR+RO システムの特長

4. MBR+RO システムの事例

4.1 中東における事例

(1) 噴水用水・空調用水への再利用³⁾

中東・UAE の世界最高層ビル「ブルジハリファ」の周りに池があり、この噴水に使用する水は、この地域住民の3,000 m³/d の生活排水を MBR+RO システムで処理した再生水である。原水である生活排水は下水管から直接取水し、RO の濃縮水と余剰汚泥は下水管に戻している。地域住民や噴水の周りのレストランなどの衛生面を考え、また蒸発量が非常に多い地域であるため、RO 設備で脱塩した再生水が使われている。さらに一部は地域冷房用の補給水としても利用されている。

(2) 水再利用ビジネス³⁾

UAEのドバイ首長国において、2009年2月から生活排水を収集して処理し、処理水を再生水として販売する水再生事業会社が稼働している。このビジネスモデルは、ドバイ首長国において、都市の開発ラッシュに伴う労働者の急増という社会背景に負う側面がある。公共の下水処理場では、急激な人口増加に対応できないため、労働者の生活排水はタンクローリーで数十km離れている下水処理場ま

で運搬し処理されていた。タンクローリによる交通渋滞も社会問題となっており、また、水道は、大部分を海水淡水化施設で賄っているため、高い水道料金を支払って工業用水などに使用していた。こうしたことから、労働者の生活排水を収集して処理費を徴収し、生活排水の排出源に近い場所に処理設備を設置し処理をして、近くの工場の工業用水として水道水より安い料金を供給できれば事業として成り立つことになる。処理設備は、MBRとROを組み合わせている。セメント工場内に処理設備を設置し、近隣の生活排水を収集し、処理水はセメント工場内の工業用水に利用している。

(3) NEDO 事業⁴⁾

UAEのラスアルハイマ首長国内のアルガイル工業団地では、水道水をタンクローリで運搬し、生活用水と工業用水に使用し、生活排水はタンクローリで数十km離れた下水処理場に運搬、処理していた。ここでは、2,000 m³/dのMBR設備と1,000 m³/dのRO設備を設置し、生活排水の処理と工業用水の製造を行い、生活排水の処分費と工業用水の販売費を収入源とする事業運営を目指すNEDO実証事業として実施した。

4.2 再生水の飲料化

(1) 米国における再生水飲料化

ニューメキシコ州クラウドクロフトは、人口850人ほどの小さな集落であるがリゾート地として知られており、行楽シーズンには人口が2,000人に膨れ上がる。降水量が少なく水源となる地下水が限られているため、夏の行楽シーズンには飲用水が不足することが深刻な問題になっており、下水の直接飲用再利用への関心が高まっていた。新しい水再生処理場の計画は2000年代前半から始まっており2005年には建設工事が開始されたが、一部住民の反対・建設請負に関する問題が起り、建設は2007年に一時中断された。

処理フローを図2に示す。下水処理場はトリックリングフィルターを二次処理に用いた比較的単純な施設であり、MBR、RO膜、促進酸化といった高度処理設備を運転できる適切なオペレーターの確保とトレーニング、そして適切なオンラインモニタの選定・利用が課題となっている。

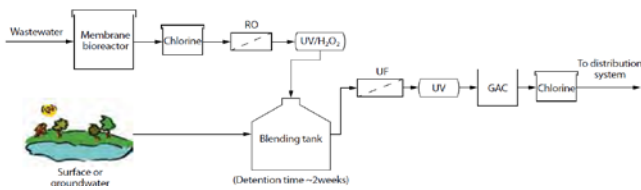


図2 クラウドクロフト DPR のフロー⁵⁾

(2) 南アにおける事業化⁶⁾

南アフリカ共和国では大規模な干ばつ等の影響によ

る深刻な水不足が発生しており、ダーバン市では一般家庭への給水制限が行われている等、市民生活にも影響を及ぼしている。

そこで NEDO は、南アフリカ共和国における水不足問題を NEDO の国内事業において確立した省エネルギー型の「海水淡水化・水再利用統合システム」の導入により解決することを提案している。具体的には、同システムの実証事業を開始することを南アフリカ共和国のダーバン市と合意し、2016年11月17日に基本協定書(MOU)を締結した。同システムは、図3に示すように下水を MBR+RO で処理をし、RO濃縮水を海水淡水化ラインに送り、海水塩分濃度を希釈し、海水淡水化を行っている。

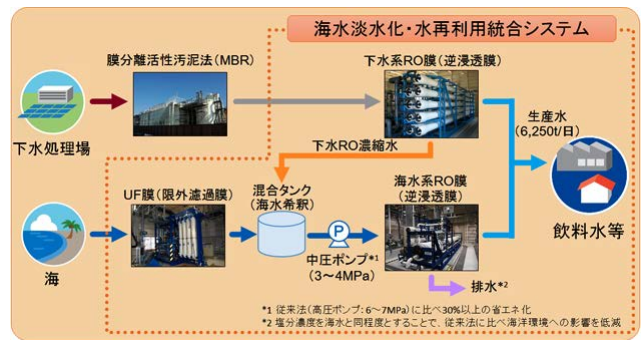


図3 南アの実証プロジェクトイメージ

5. おわりに

世界における再利用の流れは年毎に大きくなってきているが、再生水の国内市場は限定的であるといわざるを得ない。一方、再利用の技術として、膜技術の重要性はさらに増しているといえる。我が国には先進的な膜技術があり、わが国の水関連企業は海外に市場を求めて事業を展開している。MBR や RO を用いた再利用システムが、世界の水環境の改善に貢献するとともに、わが国の水関連産業の活性化を期待している。

<参考文献>

- 1) Kang XIAO, Ying XU, Shuai LIANG, Ting LEI, Jianyu SUN, Xianghua WEN, Hongxun ZHANG, Chunsheng CHEN, Xia HUANG ; *Front. Environ. Sci. Eng.*, Vol. 8, No.6, pp805-819 (2014)
- 2) 膜協会、水環境学会共催；水再利用の国際標準化戦略シンポジウム資料集、pp1-21 (2015)
- 3) 大熊、篠田；日立評論、91、(6)、2 (2009)
- 4) 尾花山；資源環境対策、47、(7)、33(2011)
- 5) Australian Water Recycling Centre of Excellence；drinking-water-through-recycling、(2013)
- 6) NEDO ニュースリリース；「南アフリカ共和国で省エネ型海水淡水化技術の実証事業を開始へ」(2016)