

「下水・処理水の付加価値を生かした持続可能な都市の再生」

日本下水道施設業協会協力

開催趣旨：

下水及び下水処理水は、都市内に豊富に存在するエネルギー及び水資源としてその価値が注目され、下水道熱利用及び下水処理水の再利用が進められて来ましたが、しかしながら、その普及の度合いは、技術開発面、コスト面及び社会的認知度などの問題があり、まだ十分ではありません。

本研究集会では、このような情勢を踏まえ、この分野の学識者や先進事例を持つ自治体の方がたにより、下水道熱利用及び下水処理水の再利用の到達点と課題、ならびにその社会的意義について紹介いただきます。そして、総合討論では、今後の再利用システムの発展方向や需要者への働きかけ方などについて議論いただきます。

開催日：令和4年11月2日（水）13:30～17:10

会場：馬事畜産会館大会議室 東京都中央区新川 2-6-16 2F

研究集会プログラム：

リスク管理型再生水利用を目指す世界の動き

京都大学名誉教授、信州大学工学部特任教授

田中宏明氏

東京都における下水熱及び再生水の利用

東京都下水道局計画調整部エネルギー・温暖化対策推進担当課長 宗吉統氏

下水処理場の全面リニューアルでMBRの導入と水辺の魅力空間づくり（大阪市）

～「水都大阪」の水辺魅力の向上をめざして～

大阪市建設局下水道部設備課長

西本裕二氏

総合討論

コーディネータ

21世紀水倶楽部 昆 久雄氏



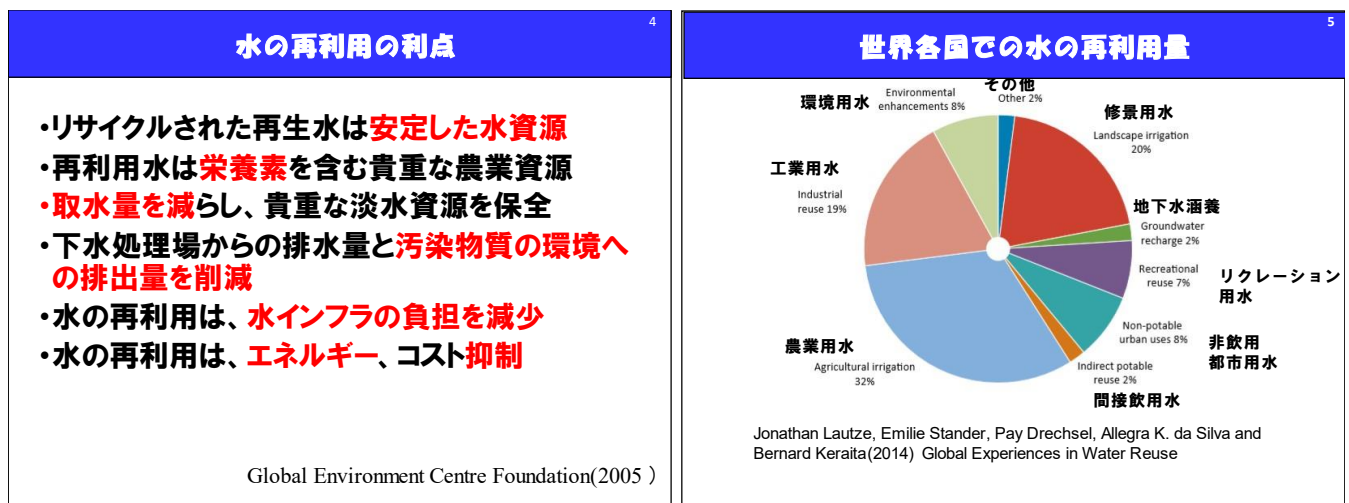
下水・処理水の付加価値を生かした持続可能な都市の再生

京都大学名誉教授、信州大学工学部特任教授 田中宏明氏

本日は、日本の下水再利用について東京都、大阪市からの発表があるので、私からは世界の再利用の動きについて、その安全性や実施可能性について、どのような取り組みがなされてきたのか紹介する。

・世界的に高まる水の再利用

国連の「持続可能な開発目標」の目標6「安全な水とトイレを世界中に」は安全な飲み水と衛生設備の確保が目標となっているが、世界中での水のリサイクル率を上げ、安全な水の再利用を実現するという内容も含まれている。水の再利用の利点としては、左図に示すような項目に整理される。



また世界各国での水の再利用は、右図に示すように農業用水、工業用水が多いが、飲料水利用につながる地下水涵養の項目が注目される。世界の下水再利用の量は、年間 400 億 m³ と見積もられておりこれは下水量の 11.3 %に相当する。

再生水利用の課題としては、ヒトから排泄される病原微生物の除去、ならびに医薬品類や化粧品など日常使用される化学物質等が下水処理水に含まれているため、これらを利用目的に応じた適切なレベルにまで除去する必要がある。しかし、除去に要するエネルギーやコストは、除去レベルとトレードオフの関係がある。こうした安全性の確保と再生水の輸送を含むエネルギー/コストのトレードオフを解決するため、処理技術・評価技術の開発と供給計画の立案が、再生水の利用推進のために必要となってくる。

・農業利用

再生水の農業利用をふくめた非飲用利用の再生水基準では、病原微生物の除去を意識している、米国カリフォルニア州で設定された Title22 が著名である。再生水分類は、再生水との接触レベルと市民がどの程度接触するかによって再生水の大腸菌群数と処理法が分類されている。最も接触レベルが問題となる再生水利用では、生物処理水を Title22 での凝集沈殿-ろ過-消毒処理し、最確値法で陽性検体がない大腸菌群数 2.2/100 mL がクリアされるレベルで、生食用作物にも灌漑可とされる。このレベルの再生水は公園やゴルフ場などの都市域での灌漑に非制限的に利用できる他、トイレ用水や人が触れる作業水にも使用できる。この Title22 を満足する再生水では、大腸菌群数では表現できないウイルスの安全

性が当初から議論されていたが、再生水から検出されないレベルでも感染リスクが無視できない。そのため、1990年代に我々は定量的微生物感染リスク評価（QMRA）手法を使って、この再生水利用が米国水道水で想定している許容感染リスク（年間 10^{-4} ）よりも小さいことを初めて明らかにした。

一方2006年WHOでは、農業用再生水ガイドラインを改訂し、再生水による耐用リスクとして、傷害調整生存（損失）年数（DALY）が 10^{-6} DALYpppyとなるよう、再生水の大腸菌群数の他、下水中の病原微生物の必要な対数除去率を6~7Logと定めた。この除去レベルを達成するために、再生水処理、環境死滅、農作物の洗浄、灌漑方法などを組み合わせて対処することとしている。

またEUでも2021年に農業灌漑用水基準をEU指令として定め、作物ならびに灌漑方法をクライテリアとして、大腸菌数の再生水水質と最低限の除去レベルが提示された。この中では、生食する農作物の灌漑には、細菌、ウイルス、原虫の指標微生物が下水の再生水処理で少なくとも5~6Log除去されていることを求めている。

わが国においても、我々は再生水の病原微生物リスクに関するパイロットスケールでの研究をJST CREST事業で行った。とくにUF膜処理技術をコアに農業利用や都市利用に実施した。その結果、生食用生物の農業用水利用でWHOの 10^{-6} DALYpppyの安全度の確保には、Title22の他、UF膜処理後にUV処理あるいはNFやRO膜処理付加によって達成されることが明らかとなった。しかし、UF膜+UVの方がTitle22やUF・RO膜よりもエネルギー消費が小さく最も適することが分かった。この研究成果を基に沖縄県糸満市において再生水の農業利用に関するB-DASHプロジェクトを2015-2016年度に実施し、1000m³/日スケールでUF膜+UV消毒の実証実験を行った。その結果、従来技術（凝集沈殿+砂ろ過+UV消毒）に対する優位性が確認できるとともに、再生水の価格競争性、再生水灌漑による農作物への農家、流通業者、消費者の受容性が確認できた。

・飲用利用

再生水の飲用利用は、①工学的バッファを置くだけの直接飲用利用、②地下水層や貯水池に数か月滞留させるプロセスを経る間接飲用利用、③河川に一旦放流そして取水という非意図的（de facto）飲用利用、に分けることが出来る。米国では頻発する渇水が新たな水資源の開発に拍車をかけ、種々の形態の飲用利用の再生水プロジェクトが進行中である。

中でも図に示すカリフォルニア州オレンジ郡のWater Factory 21の間接飲用利用プロジェクトは著名で、二次処理水をUF、RO膜処理後、UV+H₂O₂による促進酸化した再生水を直接被圧地下水層に注入しながら、少し離れた地点から地下水を揚し、浄水処理して飲料水を得ている。

米国東南部で進んでいるプロジェクトでは、オゾン処理+活性炭吸着をベースとした再生水処理プロセスが用いられている。水道水源となる貯水池上流あるいは貯水池に直接下水処理水が導入されるものであり、前者はヴァージニア

州ポトマック川Occoquan貯水池で、後者はジョージア州ウェイン川Sidney Lanier湖で実施されてい



る。

シンガポールで 2010 年代に開始された NEWater プロジェクトでは、下水処理水が MF+RO+UV 処理され、マレーシアから輸入された河川水、海水淡水化水、雨水と併せて貯留され、浄水処理された後、飲用水として利用される。しかしながらその 90%は工業用水としての利用となっている。

オーストラリアでは少し前に渇水問題が顕著になり、ブリスベン市では下水処理水を凝集沈殿+MF+RO+UV/H₂O₂の処理プロセス後に貯水池に返す間接飲用利用プロジェクトが用意されたが、その後大雨が降って事業は一時ストップしている。欧州でも以上の事例にかなり近い非意図的飲用利用対応の事例が出てきている。ドイツ、ベルリンウォーターでの de fact 飲用利用がその例で、ベルリン市の上水源となるテーゲル湖に流下する河川上流には大量の下水処理水が流入するが、この河川水はテーゲル湖流入直前に凝集剤・粉末活性炭添加沈殿ろ過の直接浄化が行われている。スイスでも下流上水源の微量化学物質、薬剤耐性対策のために河川最低流量の 10%以上の放流量のある下水処理場で、オゾンあるいは活性炭処理が 2035 年までに実施される予定である。

わが国でも、淀川における非意図的飲用利用の実態がかつて大きく取り上げられ、上流域の下水を専用に流下させる淀川流水保全水路の建設が計画されたが、上流の下水道整備の進捗ならびに処理レベルの向上、上水道の高度浄水処理により、淀川区間については大阪府の同意のもと事業を中止した。結果的には、下水道の普及と高度処理によって、バイパスされる予定だった下水処理水 16m³/s（現時点では 8m³/s）が水道水水源になった。まさに de fact な飲用利用である。

一方、下水再生水を一旦環境に流すことをせず、直接飲用に利用する事例もあり、アフリカ ナミビア Windhoek 市で始めた例が世界初（1968 年）である。Windhoek 市の上水の約 3 分の 1 量が高度に処理された下水処理水で賄われている。この直接飲用利用は、米国でも 2013 年テキサス州 Big Spring 市で実施されることとなり、高度に処理された下水処理水が約 20%の割合、直接上水源にされている。カリフォルニア州でも、コロラド川、オーエンズバレーからの導水の削減要請、サンフランシスコ湾デルタ地域の環境問題、アンドレアス断層地震によるカリフォルニア導水の脆弱性、海水淡水化の超高コスト、これまでの間接飲用利用で決定的な問題が出ていないということにより、100 万 m³/日以上の本格的な大規模な直接飲用利用プロジェクトがロサンゼルス市で計画され、まさに建設されようとしている。

直接飲用利用の利点としては、①エネルギーとコストの節約、②超高度処理の優れた水質が維持される、③地下水層や貯水池の確保が不要。欠点としては、環境バッファがないため、処理障害検出と対応時間の短縮化が必要となることが挙げられている。

・工業利用（食品加工）

再利用水の利用は欧州（スウェーデン、ドイツ）、米国において、ビール醸造水まで広がっている。国内では、我々が沖縄南部地域で UF+RO で高度に処理された下水処理水を工業用水に付加することのアンケート調査を行った結果、現状でも硬度調整などを自社で行っているため、現在工業用水が利用できない利用者は、水道水の料金よりも安ければ（食品加工を含めて）使用したいということであった。当地での再生水原価は工業用水よりも高いが、水道水料金以下と計算されるので、実施可能性があるといえる。

・都市用水利用

米国で最近注目を集めているのは、ビル単位で行われるオンサイトの非飲用利用の下水再利用である。

下水からの再生水生産に対する病原微生物の削減目標は、細菌で6.0-Log、クリプトスポリジウムで7.0-Log、腸管系ウイルスで8.5-Logとされるが、これらの条件は、MBR+UV+塩素消毒の処理技術システムで十分達成可能である。オーストラリアのシドニー市では下水道管から下水を取水してオンサイト再生水処理システムを用いて水洗用水及び修景灌漑用水を再生利用している例があり、これをSewer Mining(下水管採掘)と称している。

中国の青島市では、2012年青島園芸万博に合わせて建設された周辺住宅地(27.2ha)に於いて、下水は、雑排水とし尿系を分離して高度処理をして緑化用再生水として利用し、下水処理から発生する汚泥は厨房廃棄物と合わせて消化し、バイオガス回収し、発電し、電気と熱を処理プロセスで利用するというプロジェクトが実施されている。

国内では、大阪市の‘あべのハルカス’は2015年に建設されたが、ここでは雨水は砂ろ過後、雑排水はMBR処理後、塩素消毒されトイレ用水等の非飲用再生水として利用される。また厨房排水は、MBR余剰汚泥とともに浮上分離で固形物が回収され、デイスポーザ処理の生ゴミと合わせて消化処理され、生成したバイオガスから電力と熱が回収され、排水は最終的には下水道に許容されるレベルまで下げて放流されている。このようにオンサイトで下水、廃棄物から水、電力、熱を回収するシステムが構築されつつある。

・まとめ

本日の発表の内容をまとめてTake Home Messageとして示す。

52

Take Home Message

- 水の再利用は、水資源管理 水環境管理, エネルギー管理などの視点から世界的に重要だが、リスク管理と費用・エネルギーのトレードオフ解決必要
- 欧州では農業利用にリスク管理を含む再生水規制を導入
- 飲用利用が米国を中心に注目、間接利用に加えて、直接利用が実装されつつある
- 食品製造への工業利用の障壁は下がってきている
- 非飲用都市利用では、小規模化、集中型との連携、エネルギー利用の視点が重要

東京都における下水熱及び再生水の利用

東京都下水道局計画調整部エネルギー・温暖化対策推進担当課長 宗吉 統氏

東京都では、区部で発生する下水の処理と雨水排除および多摩地区における下水処理(流域下水道事業)を、20 か所の水再生センターおよび 87 か所のポンプ所で日々休みなく行っている。これらの水再生センターでは 1 日当たり約 558 万 m^3 の下水と約 20 万 m^3 の汚泥を処理している。下水道の従来目的である汚水処理による生活環境の改善、雨水排除による浸水の防除、そして公共用水域の水質保全に加えて、最近では下水道が持つ資源・エネルギーの利用や下水道施設の上部空間利用を通じて、良好な都市空間の創出など新たな役割を果たしつつある。

このように環境改善に貢献する一方で、下水道施設では多量のエネルギーを消費するだけではなく、水処理過程や汚泥焼却過程で、二酸化炭素の 300 倍もの温室効果を持つ一酸化二窒素が発生する。東京都には知事部局等、交通局、水道局、下水道局があり、温室効果ガス排出の割合は下水道局が 35%を占めている。ただし清掃事業は含まれていないので、他の自治体とは割合が少し異なるかもしれない。いずれにしても温室効果ガスを減らすことは必要不可欠である。このため、2030 年度までに温室効果ガス 30%以上の削減(2000 年度基準)を目標とする「アースプラン 2017」を策定しており、この一環として下水熱の回収・利用を行っている。

下水熱の利用：下水は、外気温に対して夏は冷たく冬は暖かいという温度特性を持っており、この特性を冷暖房に利用することによって、省エネや温室効果ガス削減も期待できる。

3. 下水熱の概要（下水熱利用の導入効果）

省エネルギー

- ・未利用エネルギーである下水熱利用により省エネへ貢献

低CO₂排出

- ・電力、化石燃料使用量削減による温室効果ガス削減に貢献

ヒートアイランド対策

- ・下水（処理水）への廃熱によりヒートアイランド対策へ貢献

地球環境、都市環境にやさしい熱供給システム

6

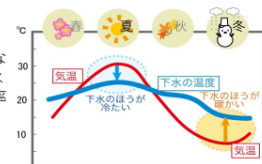
3. 下水熱の概要（下水熱利用の特徴と効果）

省エネルギー効果

下水は年間を通じて温度変化が少なく、ヒートポンプの熱源水、冷却水として活用することで、冷暖房効率の向上が可能

経済効果

- ・冷暖房用エネルギー費の低減
下水熱により効率が向上し、冷暖房用の燃料費や動力費が低減
- ・冷却水費用の削減
夏季の冷房利用時には、下水を冷却源として利用することで冷却塔で消費する水道使用量を抑制



7

また下水(処理水)への廃熱によりヒートアイランド対策にも貢献する。一方、下水熱の利用は省エネ効果だけではなく、冷暖房費の削減や冷却塔で使用する水量の削減による経済効果も期待できる。下水熱のポテンシャルについて、2021 年度における下水処理量(区部)は約 16.7 億 m^3 、この下水が持つエネルギー(温度差を 5℃と仮定)は約 35,000TJ であった。この全量を冷暖房として利用することはできないが、可能性という意味で非常に大きな数字である。国交省がまとめた全国での下水熱利用の件数は 2020 年 8 月には 32 件あり、うち 14 件が未処理下水の利用であった。東京都は処理水の利用が中心だが、未処理下水は夾雑物があるため、その利用は容易ではない。それからして 14 件というのは結構高い割合だと思う。利用方法としては、空調の熱源、融雪用水、プール用水、温室暖房など、各自治体の特色を生かした熱利用をしていることが窺われる。

利用方法の内訳を示す。水再生センター等での利用が昭和 62 年からと最も古く、次に後楽地区や新砂地区での地域冷暖房、そして 2 つの個別ビル、続いて中野区との連携で体育館における熱利用と続いている。こ

れからの取り組みとしては、虎ノ門・麻布台地区第1種市街地再開発事業(虎ノ門・麻布台プロジェクト)での熱利用を令和5年に開始する。

区部には13センターあるが、そのすべてで熱供給を行っているわけではない。都心部の芝浦や中野、砂町で行われている。今後の広がりを見ると各水再生センター周辺で行なえばいいが、実際にはセンターの近くにはビルが少ないなどの事情がある。水再生センター周辺ではなく、水再生センターに流入する下水道管から下水の熱利用が可能になったので、23区の中で将来はそれもターゲットにしていきたいと考えている。

ここから各事例について説明したい。熱利用は昭和62年に始まって下水処理水を冷暖房の熱源(アーバンヒート)として使ってきた。水再生センターだけではなく、銭瓶町ポンプ所に流入する未処理下水を熱源とする空調設備を、再開発事業で本年4月に完成した銭瓶町ビルで使用している。近年、各階ごとに温度制御するシステム(ネオアーバン)を開発し利用している。

熱利用の別の例として、以下に示すような地域冷暖房に取り組んでいる。平成6年には後楽一丁目において、国内初で唯一の未処理下水のみを熱源として冷温水を製造し、東京ドームホテルなど7施設に熱を供給する地域冷暖房に着手している。二つ目の事例として、平成13年から新砂三丁目で砂町水再生センター近隣に建設された高齢者福祉施設や医療施設などに、処理水や焼却炉の廃熱を熱源として平成13年から熱を供給している。三つ目の事例として、平成27年からは芝浦水再生センターからその上部にある品川シーズンテラス(商業ビル)に処理水由来の熱を供給している。このビルは環境性能の非常に高いビルとして知られていて、その一環を、下水を熱源としていることが担っている。これらの事業では、東京都下水道局と民間企業の共同出資会社である東京下水道エネルギー株式会社(TSE)が熱供給を行っている。

これまで述べた地域冷暖房を実施している場所の延べ床面積は約50万㎡で、後楽一丁目については以下(左)に示す黄色の線で囲まれた部分がそれにあたり、破線部分が熱供給プラントを示している。白く見える東京ドームの右にある高い建物が東京ドームホテルである。熱は地下4階に当たる高さにある熱供給施設から導管で供給されている。一方、砂町水再生センターの熱供給プラント(以下の写真右の左)から福祉医療施設に熱を送る導管を赤色の線で示している。処理水の熱だけではなく、焼却炉の洗煙排水の熱(約70℃)も利用しているので非常に効率の良いものといえる。この地域には平成10年代初頭の同じ時期に複数の施設が建設されたため、供給側としても熱供給しやすく、経済的にもメリットがある。

5. 東京都におけるこれまでの下水熱利用の取組

(2) 下水熱を利用した地域冷暖房(後楽一丁目地域)



14

5. 東京都におけるこれまでの下水熱利用の取組

(2) 下水熱を利用した地域冷暖房(新砂三丁目地域)



16

品川シーズンテラスの場合は、熱を必要とする施設が熱源である処理水を供給する水再生センターの上部にあるため、熱を容易に効率的に供給できる。処理水放流きよの手前にある塩素接触槽から処理水の一部を

引き抜いて、ヒートポンプにより熱を取り出して上部ビルに送っている。またソニーシティや中野区立体育館のように、各水再生センターは処理水を熱源として供給する一方、需要者側では熱を取り出した後の処理水を水再生センターに返送するという事例もある。

熱利用のさらなる拡大に関して、水再生センターの近隣に熱源を必要とする施設があればよいが、なかなかそうはいかない。しかしながら平成 27 年に、民間事業者が下水道管内に熱回収設備を設置できるように下水道法が改正されたため、下水熱利用はより容易になってきた。(以下、左) 都は、この機会をとらえて、民間事業者が熱利用をより容易に取り組めるよう、利用ガイドやポテンシャルマップを用意して、令和元年 6 月に利用受付を開始した。以下に示すマップ(以下、右)においては、管径の小さい管きょではなく、熱利用の可能性が高い、ある程度大きい管きょがわかるように工夫されている。その後、対象である民間事業者からは質問や問い合わせが来ている。

6. 下水熱利用拡大に向けた新たな取組

(1) 利用拡大に向けた動き

利用拡大にあたっての課題

熱源から利用施設までの距離が離れるほど、導入効果が減少するため、事業化できるエリアが限定

＝ 利用者の身近に存在する下水道管からの熱利用を推進する必要がある

平成 27 年 5 月 下水道法改正

下水道管理者の許可を受ければ、民間事業者等が熱交換器等を下水道管内に設置可能に

下水熱利用がより容易に

下水道管からの熱利用 (イメージ)

6. 下水熱利用拡大に向けた新たな取組

(2) 東京都の取組

- 使用許可基準等を定めた利用規程を整備
- 許可基準・申請手続き等を示した「下水熱利用ガイド」、目安となる熱量を示した「下水熱ポテンシャルマップ」をホームページで公表

▶ 令和元年6月より民間事業者等から熱利用の受付を開始

下水熱利用ガイド

下水熱ポテンシャルマップ

手続まの許可基準の明確化

検討に必要な情報の提供

この結果、令和 3 年 6 月に虎ノ門・麻布台プロジェクトにおいて下水道管から回収した下水熱を地域冷暖房に利用する国内初の事例として、都と民間事業者が熱利用の協定を締結し、令和 5 年 4 月に事業を開始する予定である。協定締結に至る過程においては、下水道管内に熱交換器を設置するのに、交換器の材質(もし将来、破損して管内を流下したらどうなるか)、設置する機器の大きさ、位置や設置による水流の阻害などが課題になった。それらを一つずつ解決しながら締結にこぎつけた。初めての事例なので、都と事業者とは何度も協議を繰り返して合意に達したものである。最終的に材質をポリエチレンとしたために熱交換器が長くなったので、今後その点が議論となることが予測される。

次に再生水利用について説明する。利用に際して、通常の処理に加えてろ過やオゾン処理などが必要になる。再生水の用途としては、トイレ洗浄や植栽への灌水、あるいは水量が枯渇した河川への送水(清流復活事業)などがあげられる。昭和 35～45 年の高度成長期には給水量が急激な伸びを見せた。特に昭和 39 年の東京オリンピックの前に玉川水系が大渇水に見舞われ、円滑に給水するために給水制限が実施された。このような背景から都市活動には安定的な水供給が不可欠と考え、昭和 47 年ごろから東京都では渇水対策として処理水の利用に着目し、トイレ洗浄水に使えるか、などの検討を開始した。現在、区部と多摩地域で 1 日当たり約 5 百万 m^3 の下水を処理しており、検討の結果、現在では清流復活、トイレ洗浄、車両洗浄など様々な用途に処理水の一部が使われている。

令和 3 年度の実績として、区部では再利用水として約 43 万 m^3 /日(処理水量の約 11%)が使用されている。用途の内訳は下水道局施設内利用、トイレ用水、清流復活用水である。一方、多摩地域でも 10%弱の処理水

を利用しており、目的は下水道局内施設利用と清流復活用である。再生水は2次処理水を高度処理としてろ過、オゾン処理の後に消毒して供給するが、最近では2次処理水を生物膜ろ過、オゾン処理、セラミック膜ろ過を経て再生水としている。オゾン処理は脱色や消毒を目的として、セラミック膜は濁度を除去することによってトイレの給水器具等でのトラブルを防ぐために、それぞれ用いられる。

また昨今では、ユスリカの卵を除去する必要もある。以下、左の写真は各工程における下水と供給する再生水の外観を示している。有明水再生センターの例で、生物膜ろ過を行ってから処理水として放流している。この写真では少しわかりづらいが一番右が再生水で、オゾン処理をしているので色度はほぼゼロとなっている。



区部の再生水事業は、芝浦、有明、落合の3か所の水再生センターで作られた再生水を用いている。(上写真の右)最初は新宿副都心への供給(落合)、次に臨海副都心への供給(有明)、そして芝浦地区への供給(芝浦)である。新宿副都心での再生水事業は1984年10月にモデル事業として始まった。都庁舎のトイレも再生水を使っており、壁にそれを示すステッカーが貼られている。再生水利用の令和3年度実績としては、対象区域は1,160ha、供給される対象は198施設、利用水量は6,350 m³/日となっている。コロナ禍前の水量は約10,000 m³/日だったので、6割に減少したことになる。清流復活事業としては、区部で落合水再生センターの再生水が目黒川などに、多摩地区では多摩川上流水再生センターの再生水が野火止用水などに、それぞれ供給されている。目黒川では水がよどんでいたが、再生水の供給で水量が回復してBOD値が大きく改善されている。また渋谷川では、壁泉という新たな水辺空間の創出に貢献している。また落合水再生センターではその上部に公園を設けてせせらぎの里と名付け、RO膜を通した再生水を供給している。

最後に、毎年の行事として再生水を用いた「打ち水大作戦」を実施して事業のPRを行っていることを紹介する。



国土交通省資料より(H27)

「下水処理場の全面リニューアルで MBR の導入と水辺の魅力空間づくり ～「水都大阪」の水辺魅力の向上をめざして～」

大阪市建設局下水道部設備課長 西本裕二氏

1. 中浜下水処理場の概要

大阪市では明治 27 年に下水道事業に着手しました。大正、昭和と整備を進めるなか、水質汚濁に対応するため市内の約 96%で合流式下水道を採用しています。現在、12 の下水処理場と汚泥を集約し処理する舞洲スラッジセンターがあります。

中浜下水処理場は市の東部城東区にあり、津守・海老江に続き 3 番目に、1960 年（昭和 35 年）に供用開始しました。横長の配置の東池、西池 2 系列からなり、計画処理水量は 255,000m³/日です。このうち、今回更新した東池は 40,000m³/日です。

東池の横にあるせせらぎの里は、毎年の花見イベントの際は市民の憩いの場となります。大阪市は処理場毎にシンボルツリーを定めていますが、中浜下水処理場は桜の木です。これからもサクラに親しめる処理場でありたいと考えています。

2. 改築更新における MBR 導入の背景・目的

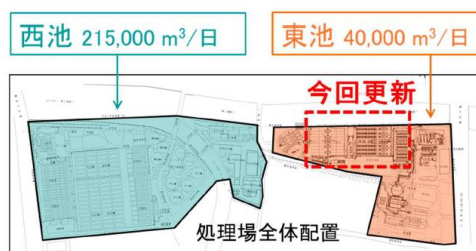
中浜下水処理場では供用開始後 50 年が経過し、施設が老朽化したなか、合流改善対策と高度処理化を目的とした大規模改築が必要となりました。東池は周辺が住宅に囲まれ、敷地内一杯に施設があり、狭隘な敷地内での更新が課題となりました。

検討の結果、増設スペースがないなか、晴天時の高度処理と雨天時の

中浜下水処理場の概要

中浜下水処理場の概要

住 所	大阪市城東区中浜1丁目
敷地面積	84,061 m ²
計画処理水量	255,000 m ³ /日 (うち、東池:40,000 m ³ /日)
処理方式(既設)	標準活性汚泥法
通水年月	1960年(昭和35年)5月



中浜下水処理場の概要



中浜下水処理場（東池）（改築前）

改築更新における MBR 導入の背景・目的



図 東池下水処理施設の施設配置（更新後）

合流改善を目的として、施設をコンパクト化することで処理能力を増強することが必要となり、高速ろ過とMBR（膜分離活性汚泥法）を採用しました。

既設の土木構造物を活用でき、コスト削減にもなります。最初沈殿池跡に高速ろ過を、生物反応槽跡にMBRを設置しました。また、工事期間中は沈殿池以降の機能を停止するため、流入下水は放出処理場へ送水し、送水量を超過する場合は西池に送水することとしました。

3. 処理施設全体の概要

MBRは常設のものとしては国内最大です。高速ろ過は合流改善の機能向上とともに、後段のMBRの膜の保護の役割も果たします。また、MBRは硝化脱窒型で凝集剤添加を併用することで高度処理の機能向上を果たします。

設計・建設を一括発注するDB（デザインビルト）方式を採用し、2017年3月から2021年10月まで設計・施工を行いました。引き続き、性能評価検証を実施しており、2023年9月まで継続する予定です。

晴天時は40,000m³/日を処理し、第二寝屋川若しくは東横堀川に放流します。また、雨天時の高速ろ過での処理は576,000m³/日で、第二寝屋川に晴天時12倍の480,000m³/日を放流するとともに、MBRでは晴天時2.4倍の96,000m³/日を処理することができます。

4. 高速ろ過施設について

高速ろ過施設は浮上ろ材を用いた上向流方式を採用しました。晴雨兼用施設であり、3系列のうち晴天時は沈殿池代替施設として1系列を、雨天時は合流改善施設として最大3系列を使用します。施設のコンパクト化が可能となり、従来の沈殿処理と比べ処理能力が向上しました。

ろ過工程は夾雑物の除去率がほぼ100%であり、MBRの前処理として最適です。また、特殊ろ材は凝集剤が不要であり、千島処理場での10年以上の実績から、安定した処理ができることを確認しています。

5. MBR 処理施設について

高濃度約10,000mg/LのMLSS運転が可能なることから、反応槽容量を縮小し既存の施設内に設置することができました。最終沈殿池は不要で大腸菌を100%除去することができます。また、膜ユニットは空気洗浄によ

処理施設全体の概要

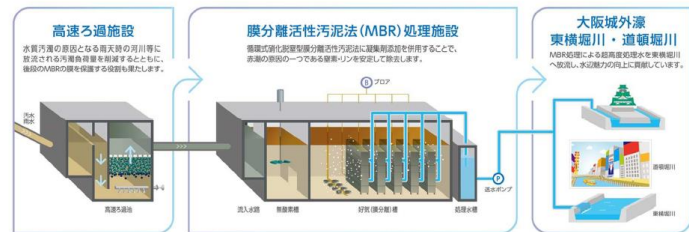
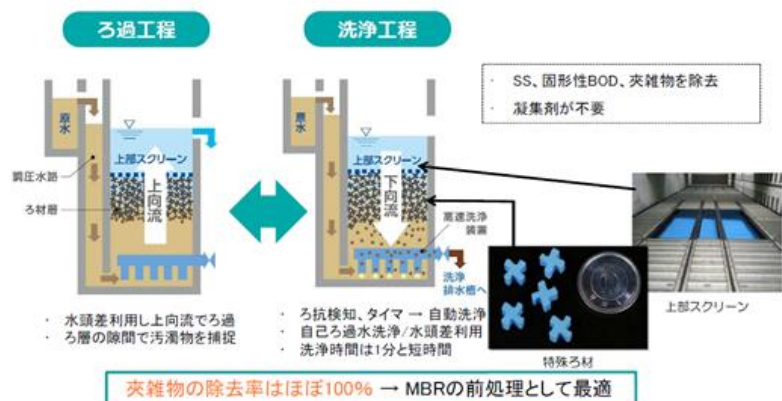


図 東池水の水処理フロー（高速ろ過+MBR）

◆処理機能の向上

	既設	更新	処理機能向上
①	沈殿池	高速ろ過	合流改善
②	反応槽 (標準活性汚泥法)	MBR	高度処理

高速ろ過施設について



夾雑物の除去率はほぼ100% → MBRの前処理として最適

今後の主な検証項目は、雨天時の処理性能、処理水質の変動、季節ごとの運転データ、膜の薬品洗浄頻度などについて確認を予定しています。また、高度な維持管理方法について、運転マニュアルの確立に結び付けたいと考えています。

7. 建設工事進捗の流れ

高速ろ過施設は、2018年8月から機器撤去、2019年2月から既設躯体撤去、4月から新設躯体築造を開始しました。沈下が確認されず躯体が健全と判断し、既設躯体の中壁を撤去、外壁をかさ上げし、3系列の計30池を築造しました。

MBRは2019年8月から躯体上部を撤去、2020年1月から新設壁を築造しました。不等沈下を確認したため、検討を行った結果、既設躯体の中壁を利用し、8池から6池に改造するとともに、重量軽減化対策を実施しました。その後、設備を設置し、2021年9月に水処理施設が完成し、10月から性能評価検証を実施しています。

8. MBR処理水による水辺魅力向上、水利用の取組み

「水都大阪」の名の通り、堂島川、土佐堀川、木津川、道頓堀川、東横堀川は、世界的にも稀な都市部を囲む川

として、カタカナの「ロ」の字型をかたどっています。水都大阪の再生を目指して、水辺の賑わい向上・創出、水都大阪のブランド力アップに取り組んでいます。

東横堀川、道頓堀川では、水質を改善し水辺魅力の向上を目指しています。具体的には、水門操作によりきれいな大川の水を導入するとともに、雨水貯留管の整備を行った結果、2015年3月から雨天時汚濁物の越流がほとんどなくなりました。

超高度処理水である中浜 MBR 処理水の送水も実施することとしています。既設の大阪城外濠への送水管を活用し、東横堀川へ送水管を延長します。東横堀川放流口は下水道に興味をもってもらうため、人が集う場所として整備し、光るマンホール蓋を設置します。

また、1期送水管に続き、今後、2期送水管の発注施工により、東横堀川へ合計4万m³/日の送水を予定し、2025年の大阪万博までに整備することを想定しています。さらに、中浜下水処理場そばには大阪公立大学のキャンパス予定地があり、MBR 処理水の熱利用や雑用水利用が計画されています。

建設工事進捗の流れ



MBR処理水による水辺魅力向上、水利用の取組み



総合討論

コーディネータ
パネラー

21 世紀水倶楽部副理事長 昆 久雄氏
京都大学名誉教授 田中宏明氏
東京都下水道局担当課長 宗吉 統氏
大阪市建設局下水道部設備課長 西本裕二氏

昆：21 世紀水倶楽部の昆です。総合討論を始めたいと思います。それでは、今回の研究集会の協力団体の堀江専務理事からご挨拶をお願いします。

堀江：日頃から 21 世紀水倶楽部の皆さんは積極的に活動されており、会場について貢献ができて我々も光栄です。脱炭素の高い目標が掲げられ、下水道の価値に注目が集まる貴重な機会、我々も、技術開発する一方で、下水道への投資拡大や意欲的な創エネ計画を、国や議員、自治体などに呼びかけております。今日のこの場が有意義なものになりますよう期待します。



昆：それでは、総合討論に入りますが、最初に田中先生の方から、世界の再利用の話がありました。それに関連しまして、当倶楽部理事の村上さんの方から、再利用の ISO の話があります。

村上：水の再利用に関する ISO 規格がどんどんできてくる状況です。この ISO は国際機関みたいな認識をお持ちでしょうが、実は、民間非政府組織でジュネーブに本部がある機関です。この ISO には、TC（テクニカルコミュニティ）があり、水の再利用は、282 と 200 という TC で担当しています。議長は、イスラエルの方で、事務局長は中国の方です。サブコミュニティは 4 つあり、灌漑利用がイスラエル、都市利用が中国、リスク性能評価が日本、工業利用が、中国、イスラエルが事務局です。投票権のある P メンバー国が 23、ウオッチのみの O メンバー国が 26 あります。ただし、非飲用利用が対象であり、田中先生の説明にあった飲用利用は対象外です。TC282 の規格策定状況ですが、リスク性能評価に関して、9 つの企画が出されています。これはオゾン ISO ですが、こういったものが出版されています。具体的な水質基準や仕様は、政府や WHO 担当部局が決めるもので、規格の中では示されていません。

（この後、主要参加国のスタンスが話された。フランス：某社の利益はフランスの利益、ポルトガル：自分から規格の提案はしないが、真面目に規格に取り組む、中国：一帯一路政策への貢献、自国規格を世界基準に、カナダ：自国技術を押し出す意思はなし、イスラエル：自国技術を押し出したい（UV や MABR 等）、シンガポール：あまり発言はしない、トップランナーの余裕か、米国：時々出席する程度、熱心なメンバーではない）

昆：これは、本日のテーマが下水及び処理水の再利用及び熱利用と範囲が広いので、講演内容を 2 枚にまとめたものです。私は今年で 74 歳になりますが、今から約 40 年前に日本で最初の「下水処理水の再利用技術指針（案）」の作成に携わりました。その当時は、トイレ用水とか親水利用用水などが主でした。今回の講演では、飲用利用とか MBR の設置による大阪市の象徴的な道頓堀川の浄化用水など、時代が変わったと感じています。

それでは、会場から質疑をお願いします。

栗原：3 人の多彩なご講演ありがとうございました。大阪市の西本さんからの、中浜下水処理場の老朽化、合流式改善、高度処理導入さらに狭小という条件下で、MBR によって改築更新した結果、価値の高い再生水が生

み出されたわけです。これまでは、処理場の地先に放流して、下流の環境基準を守るという、やや消極的な姿勢だったと思いますが、今回は、良い処理水をどこに放流するか、それによって都市の水環境全体を変えていくのに貢献する。その象徴が今回の事例であると認識しております。そこで建設費についてですが、東横堀川までの放流管及び将来の放流管の費用はどこが出すのか、今回の事業について、どのように整理されたかお聞きします。

西本：今日の放流施設の事業については、基本的に下水道事業会計で建設費、維持管理費は対応しております。道頓堀川、東横堀川が市管理河川であり、下水道、道路、河川部局の方向性が一致していることもあり、下水道事業会計で対応しています。

中西：東京都の方に伺いたいのですが、再生水供給エリア 7 地区がありますが、このコスト計算は、全部合わせて行っているか、箇所別に分けて行っているのですか。

宗吉：再生水の利用料金が一律の単価になっていますので、それで同じ単価で負担をお願いしております。

中尾：田中さんにお伺いいたします。ナミビアのお話の中で、死んだ人はいない、平均寿命が短くなったというデータはないんですね。

田中：ナミビアの実情はあまり詳しくは知らないんですが、ドイツ系のエンジニアリングが入っていたと思います。水道水源のダムがあるんですが、すごく富栄養化していたらしいです。その水質は TOC が 1mg/L まで下がっていないと思います。それに比べて再生水を水道水源として使うため、その当時としてはかなりのレベルで処理技術と評価技術の開発をやっていたと思います。ナミビア以外では、米国コロラド州デンバーで、高度処理した再生水の安全性を確認するため、動物実験をやっていて、何とか大丈夫という結論が出ていたようです。

中尾：もう 1 点ですが、11 枚目の WHO の農業用再生水のガイドラインですが、大腸菌群数で作業者と消費者で一桁違っていますが、これは何を意味しているんですか。

田中：作業の方が浴びる量が大きく、消費者の方は食べ物を介して浴びるので、WHO が定性的に決めたものです。ウイルスの問題は、リスクベースで考え方を入れたと思います。

本永：私の仕事は、河川の水とか流量とかそういうデータの配信をしています。本当に面白い話ありがとうございます。私のような素人としては、安全面他、味の方はどうなのかお聞きします。

田中：DPR（直接飲用利用）の水は飲んでいませんが、IPR（間接飲用利用）に使っている水は飲みました。処理は、下水処理後、メンブランろ過してその後 RO している。RO を通せば、有機物はほとんどなくなり塩類もなくなります。ウイルスは 99% 取れるがゼロではないので、念のため UV と過酸化水素を加えています。最後にリカーボネーションしています。飲んだ感じでは、味はほとんどありません。他の DPR でも多くの場合は、DPR100% でやっている訳でなく、表流水や地下水をブレンドしています。だから味からいうと、日本に比べ、そういう国では、硬度が高いので、あまり美味しくは感じないと思います。DPR がこれだけ進んできたのは、アメリカにおいても、上流側でいろんな都市があって、その排水が何%か入っており、コロラド川でも 10%、20% ぐらい入っている。ロサンゼルス市で飲んでも、あまり気にならない、アクセプトできるようになってきたと思います。

高橋：今アメリカでは、PFAS（パーフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物）が問題になっていますね。例えば、泡消火剤、フッ素加工フライパンに含まれていますね。測定できない濃度でも危険だと言われていますね。

田中：ありがとうございます。非常にホットな話題ですね。国内でも、やっと水道水で暫定目標値 50PPT（1

兆分の1) ぐらいですね。アメリカのカリフォルニアでは、PPT のもっと下でコントロールしなければならないと意見が出されています。いずれにしても、議論中の話なのでどのように影響してくるかわからないですが、サブ PPT レベルの問題が出て来て、水道の方でそれを目標にすると下水の排水そのものがないことになり、RO を通さないといけないことになります。体の中にはかなり蓄積していて、これから水道の方は非常に気にされると思います。排水の方にも、この問題が飛び火しているものと思います。

昆：下水熱の方の話が出ていないのでお願いします。

佐藤：現在の大きな流れとしては、カーボンニュートラルというか、エネルギー問題をどう解決するかが、大きな課題です。下水の中の熱量が結構大きいものと認識しました。東京都の宗吉課長から、下水の熱量が約 35, 000TJ/年あるということで、現在行われている下水熱利用事業の量は、どの程度に当たるのでしょうか。それから、2030 年、2050 年を目指してどのように進めていくか、ロードマップ的なものについて教えてください。

宗吉：下水道にはいろんなエネルギーのポテンシャルがあると思っています。有機物のエネルギー、消化ガスのエネルギー、余熱利用などいかにこれらを総動員するかということです。東京都においても、カーボンハーフに向けて検討しています。ポテンシャルだけを見ると、非常に大きなものがありますが、それを変換していくと、小さなものになってしまいます。いかに変換しないでストレートに使うことが重要と思っています。下水熱は、供給と需要のマッチングが重要です。区部には、13 センターありますが、芝浦水再生センターと砂町水再生センターで使っていますが、その他のセンターでは、あまり近隣に需要がない状況です。このため、下水道管から開発事業者が利用できるようにしていかなければと思っています。国交省も法改正していただいていますので、制度を活用し広げていきたいと思っています。

佐藤：ありがとうございます。下水熱を使いやすい方法、問題解決の糸口を見つけていければと思います。

昆：私の方からですが、道頓堀川への放水ですが、あそこは大阪市民にとって象徴的で親しみのあるところですね。効果は関西テレビを見ても、非常に奇麗になって、ほとんど外来種ですが魚も戻ってきています。市民の感想などわかりましたら、教えてください。

西本：関西テレビでは、今年度も何度か放送されています。過去すごく汚濁されている映像があったが、近年では奇麗になっていると思います。今後在来種が住めるような川になるよう、下水道事業、河川事業を進めていこうと思っています。ただ、ハロウィンの時などの飛び込みへの対応など、安全についても皆さんに理解していただきたいと思います。

昆：最後に 3 人の方々に一言、お願いします。

田中：下水熱利用の問題ですが、これはかなりポテンシャルがあるのですが、日本の縦割り社会では難しい。下水道事業の中だけで使うのは限界があり、地域全体で利用することが重要です。また、建物との連携が必要で、下水、し尿、雑排水がありますが、風呂用水など生活系の消費エネルギーの 3 割ぐらいが水を温めるために、エネルギーが使われています。そこは、下水道の世界とは関係ない世界になっていますが、あるベンチャー企業なんかは、シャワーを繰り返し使用すると、投入するエネルギーはほとんどいなくなる。このようなシステムの発想は、建物と下水道との境にあるので、ISO のような形で統合していかないと、根本的な解決ができないと思いました。ありがとうございました。

宗吉：今日は貴重な機会を頂きありがとうございました。近代下水道として水処理を始めたのは、三河島下水処理場が国内初で、今年で 100 周年になり、この間私も 100 年史の策定にかかわってきました。先人の方々が非常にご苦労されて、下水道の基本的役割をクリアしたと思います。今後は私たちが、脱炭素等々の課題を着実に進化しなければと思います。どうもありがとうございました。

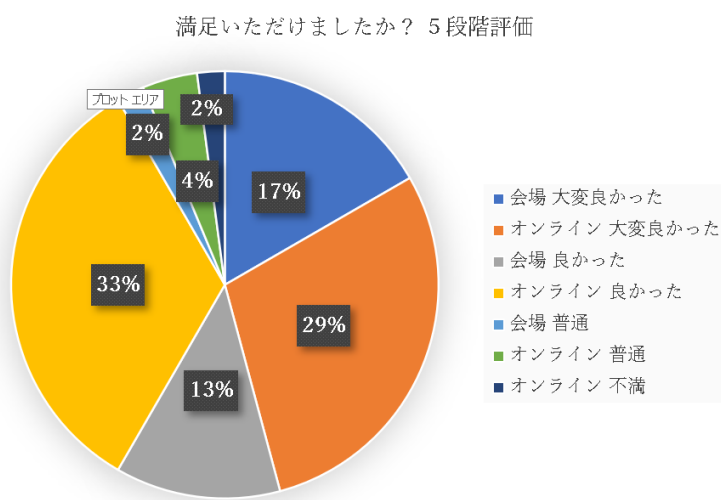
西本: 本日はどうもありがとうございました。私の方からは、MBR に特化したお話をさせていただきました。老朽化した施設の改築更新という視点で、大阪市で一番古い海老江下水処理場でも、MBR の施工を今後進めて、綺麗な再生水を生み出し活用していく予定です。当面、2025 年関西万博に向け、大阪としては下水道事業以外にもカーボンニュートラルの取組が必要です。私ども消化ガスという視点で、メタネーション技術について、研究レベルの取組ですが、何らかの実用効果が出来れば、エネルギーの有効利用になると思います。

昆: ありがとうございました。今日、貴重な質疑が出来たと思います。何としても下水道の持つ資源を本当に考えると、かなり効率的に使えんと思います。ゼロカーボンにするためには、あらゆる分野であらゆるところで努力しないと達成できないと思います。今日の討論を踏まえて、皆さんそれぞれが活躍していただきたいと思います。ありがとうございました。

以上

(アンケート結果)

今回の研究集会にご満足いただけましたか? 「5段階評価」



今回の研究集会への感想

集会の内容について：主なもの

- 事業体の生の声を聴く事が出来て、勉強になりました。
- ISO の内容は、総合討論の中ではなく、講演の中で良かったのでは？
- 色々と話が多彩で良かった。
- 処理水の再利用は、下水道の有効活用の基本的事項です。大変良い企画であったと思います。
- 海外+国内事例と言う事で、網羅的に理解出来ました。
- 最新の知見を紹介いただき、大変役に立ち面白かったです。

集会の運営方法などに関して：主なもの

- 会場でのパワーポイント映写画面(スクリーン画面)周辺の照明を落とす事は出来ないか？
- 会場参加者とオンライン参加者との一体感が図れない。何か工夫が必要では？
- 会場の設備運営は、音声が明確に聞き取ることができず、改善が必要と思われます。
- ハイブリッド式で、会場のリアルな議論の感じと、オンラインでの聴講が併えて大変良かった。
- 会場における発言が聞きづらい。発言をマイクで拾っているためと思われますが、何か改善策はないでしょうか？