

2. 余剰地下水等の利用に関する調査

2.1 余剰地下水等を利用した暑熱対策技術

本節では、余剰地下水等の水を利用した暑熱対策技術に関する情報を収集し、その熱環境改善効果や導入の際の留意事項等についてとりまとめた。情報収集には、既往調査文献収集、メーカー等からの情報収集のほか、試験体による調査を行った。情報収集を行った技術を下表に示した。

表 2.1 水を利用した暑熱対策技術

天井面への対策	2.1.1 天井冷房システム
地表面等への対策	2.1.2 保水性舗装
側面等への対策	2.1.3 アルミ親水加工冷却ルーバー
	2.1.4 緑化冷却ルーバー
椅子座面への対策	2.1.5 冷却ベンチ
空間への対策	2.1.6 微細ミスト
	2.1.7 水景施設

2.1.1 天井冷房システム

① 概要

天井冷房システムは、天井に設置された冷却フィン、および、冷却フィンの結露水を受け取るドレン、天井面の化粧ルーバーからなる（図 2.1、図 2.2）。

冷却フィンに地下水等の冷水を通水し、冷却フィンの表面温度を低下させることで、下向きの自然対流を生み出し、空間内に均一で冷涼な環境を形成することを意図した設備である。冷水温度の調整により、冷却フィン表面温度を露点温度以下まで冷却することで、結露水を除去し、一定の除湿力も有するとされている。

一般的には屋内向けの製品として販売されているが、駅空間などの半屋外環境においても効果が期待できる対策技術である。



図 2.1 天井冷房システム

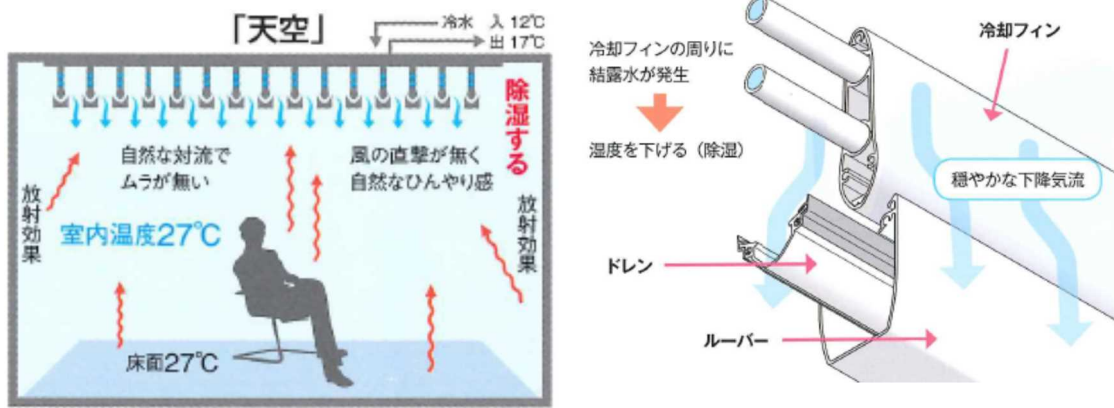


図 2.2 天井冷房システムの概念図と仕組み¹

② 熱環境改善効果

天井冷房システムによる熱環境改善効果を把握するために、平成 27 年 8 月 12 日～16 日に天井冷房システムの組立工場にて空間冷却効果確認のための実測調査を実施した。実測調査の詳細は巻末の参考資料 1 にまとめた。結果として、水温度を地下水と同程度の 17°C に設定して循環させたところ、外気温がピークとなる 32°C 程度の時間帯で、天井冷房システム下のいずれの測定点においても空間内は 28°C 程度に保たれていた。

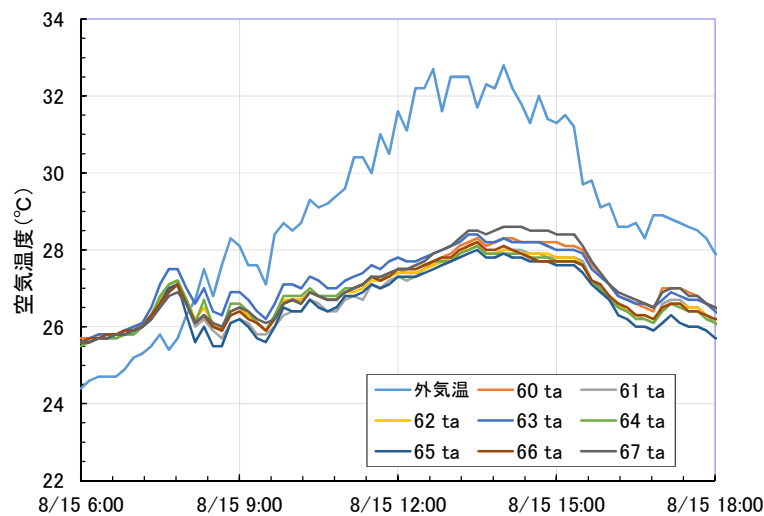


図 2.3 天井冷房システムの実測調査結果
(外気温と天井冷房システム下の気温)

③ 導入の際の留意事項

- ・ 自然対流の効果を得るために、気流速度が低く空気が滞留しやすい空間への設置が望ましい。そのため、導入箇所の熱環境、および、気流性状の把握が重要である。
- ・ 天井部分に設置するため、既設の天井に比べ設備高さ分 (330mm) 低くなる。そのため、既設天井の高さによっては、案内サイン等への視認性への配慮が必要となる。
- ・ 天井冷房システムの冷却に伴う結露水の排水配管が必要となる。

¹ メーカー資料

2.1.2 保水性舗装

① 概要

路面を濡れた状態に保つことで、気化熱を利用して路面等の温度上昇を抑制・冷却する対策である。

保水性舗装には、開粒度タイプアスファルトに吸水・保水性能を持つ保水材を充填したものや、多孔質材を骨材とした保水性の高い舗装材やブロック等がある。保水性と透水性を兼ね備えた製品もある。また、公園内の遊歩道等で利用される土系舗装にも、保水性能がある。

降雨の有無にかかわらず効果を維持するためには、定期的に給水する必要がある。給水方法は、散水車によるものと道路脇に散水設備を設ける二つの方法があり、歩道等では舗装材下部から給水するタイプもある。



図 2.4 保水性ブロック舗装の製品写真²⁾と導入事例(右：新橋西口駅前広場³⁾)

② 熱環境改善効果

日中は、日向での表面温度が、通常のアスファルト舗装と比べて 10～15℃程度低く、概ね降雨後 3 日間は散水無しで表面温度低減の効果を得られる。表面温度低減の効果を調査した結果の例を以下に示す。

高瀬ら (2009)⁴⁾の調査では、最高気温約 30～32℃の 4 日間に毎日 4 時に 5 リットル/m²程度の給水を行った場合、保水性ブロック舗装はアスファルト舗装と比べ、表面温度が低く推移し、給水した日の日中では 10～15℃の温度差が見られた。

古橋ら (2005)⁵⁾の調査では、最高気温 37℃程度するとき、1 時間おきに降雨 10mm 相当の散水をしたところ、表面温度の最高値は、アスファルトが 65℃程度に対し、保水性アスファルトで 49℃程度となり、15℃程度の温度差となった。

²⁾ メーカー資料より

³⁾ 環境省, ヒートアイランド対策マニュアル, 平成 24 年 3 月

⁴⁾ 高瀬ほか, 給水型保水性舗装による屋外暑熱環境緩和の実験による評価 : (第 1 報) 実験概要と表面温度・アルベド測定結果, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 平成 21 年(1), 565-568, 2009-08-18

⁵⁾ 古橋ほか, 環境配慮型道路舗装面の熱収支に関する研究: その 1 測定結果, 日本建築学会近畿支部研究報告集. 環境系 (45), 213-216, 2005-05-23

三坂ら (2007) ⁶の調査では、8月の13時頃(日最高気温 35℃近く、南方向からの風が卓越し風速が大きい)、アスファルト舗装の表面温度が 54℃程度に対し、その日の9時に 1.1 リットル/m²の量を散水した保水性舗装の表面温度は 40℃程度となり、14℃程度の温度差となった(図 2.5)。

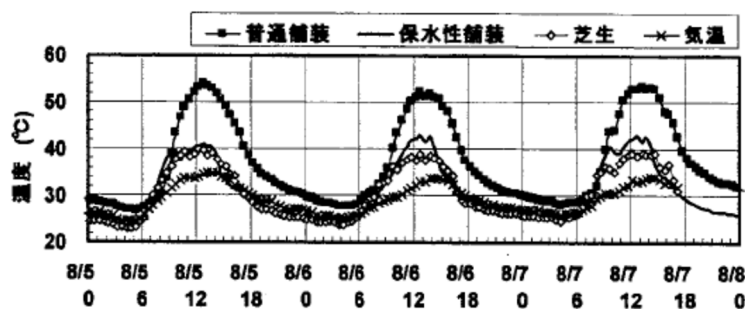


図 2.5 表面温度の経時変化 (2006年8月5日～7日) ⁶

橋本ら (2014) ⁷の調査では、降雨3日後の比較舗装(保水性舗装でない、密粒度舗装または低騒音舗装)と比べた保水性舗装の路面温度低減量は 4.9℃(9箇所平均値)であった。

また、体感温度指標 SET*の低減効果を調査した研究で、長野ら (2012) ⁸の調査では、実測値から得た高さ 1.5m 地点の SET*(日射を加味した平均放射温度から算出、10日間の13～15時の平均値)は、密粒度アスファルトと比べて保水性舗装の方が 0.5～1℃程度低かった(図 2.6)。

⁶ 三坂ほか, 都市内緑地における芝生・舗装面の熱収支実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集.D-1 2007, 669-670, 2007-07-31

⁷ 橋本ほか, 遮熱性舗装と保水性舗装の路面温度低減性能について, 東京都土木技術支援・人材育成センター年報, 43-52, 2014

⁸ 長野ほか, 道路舗装上の体感温度と被験者の心理反応:各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2012(環境工学 I),865-866,2012-09-12

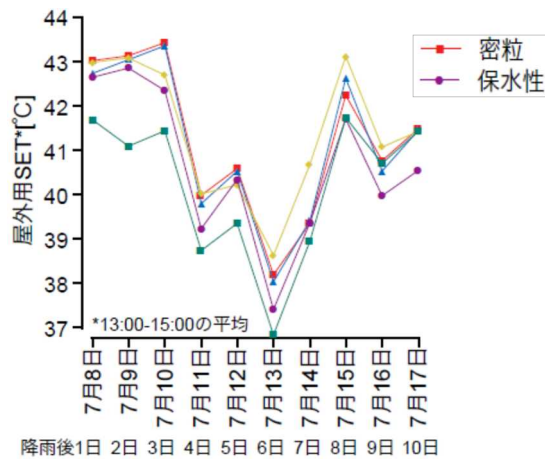


図 2.6 SET*の経日変化 (2011年7月8日～17日) ⁸

梅田ら (2006) ⁹の調査では、日最高気温 30～31℃程度、日中の風は南寄りで風速が約 1～3m/s のとき、保水性ブロックを施工した歩道の SET*はアスファルト舗装の歩道と比べて、高さ 0.6m 地点では最大 2℃低く、高さ 1.1m 地点では差が見られなかった。

③ 導入の際の留意事項

<水に関する留意事項>

- ・ 給水に用いる水には、水資源の有効な活用に配慮し、下水再生水や雨水等を利用することが望ましい。
- ・ 一度に多量の散水をして保水されずに排水されてしまうため、表面が湿潤となる適量を数回に分けて散水することが望ましい。例えば、散水車による方法については、適切な散水量が降雨量で 2～5mm 相当¹⁰ とする報告がある。
- ・ 歩行者や一般車両の安全走行への影響を考慮して、散水時刻等を計画する必要がある。

<その他の留意事項>

- ・ 保水材および保水性舗装の構造によって施工方法が異なるため、施工にあたってはその特性を十分把握した上で行う必要がある。
- ・ 舗装材下部から給水するタイプについては、耐荷重の制限があるため、導入場所への車両通行頻度等について予め検討する必要がある。
- ・ ブロックを新たに設置する場合は、既設舗装部分との段差が生じないように配慮する必要がある。

⁹ 梅田ほか、太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究、日本建築学会環境系論文集(605), 71-78, 2006-07-30

¹⁰ 小作ほか、保水性舗装に散水した場合の気温・湿度への効果、東京都土木技術センター年報 2008年, 141-152, 2008



図 2.7 スプリンクラーによる給水例¹¹

2.1.3 アルミ親水加工冷却ルーバー

① 概要

多孔質材と光触媒により吸水性・親水性を有する表面塗膜を施したアルミルーバーで、最上段から水を供給した際に部材の表面全体に水が濡れ拡がり¹³、気化熱により表面を冷却する。通風性を有するため、通過する風を冷やすことができる。



図 2.8 アルミ親水加工冷却ルーバーの設置事例（左¹²）とルーバー表面の様子（右）

② 熱環境改善効果

日陰に設置した場合、日中、風上と比べて、風下側の気温が1～1.5℃程度低下する。気温低減の効果を調査した結果の例を以下に示す。

平山ら（2015）¹³の調査では、8月（日最高気温 34℃程度、風速 2 m/s 程度）に実施した実験結果で、生垣と戸建住宅壁に囲まれた空間に面積 4.9 m²のルーバーを1面設置した場合

¹¹ メーカーホームページより

¹² 大阪府高槻市の商店街での設置事例

¹³ 平山ほか,パッシブクーリングアイテムによる戸建住宅街区のクールスポット創出に関する研究(その3) 開発初期の住宅地における屋外熱環境の検証,日本建築学会 学術講演梗概集 2015(環境工学 II), 523-524, 2015

に、そこが日陰となった時間帯（気温約 34℃）に日向のアスファルト道路と比較して MRT は約 10℃前後、周辺気温は 1～1.5℃低くなった。

平山ら（2015）¹⁴の調査では、10月（日最高気温 30℃程度、風速 1～2m/s 程度）に実施した実験結果で、ルーバーの風上側は気温低下が見られず、風下側は代表気温より低くなり、有風時（風速 0.6～1.2m/s 程度）では最大約 1.2℃低下した（図 2.9）。

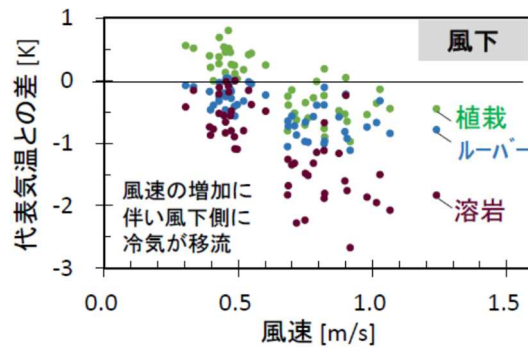


図 2.9 アルミ親水加工冷却ルーバー近傍の温度変化（10月3日）¹⁴

③ 導入の際の留意事項

<水に関する留意事項>

- ・ 運用中は、1.8 リットル/時・ m^2 前後の水を常時給水する。
- ・ 人が触れる可能性があり、風が強い場所に設置する場合には風下に水滴が飛散することもあるため、給水する水の水質に配慮する必要がある。
- ・ 給水のためにポンプを使用する場合等には電気代が必要となる。
- ・ 下水道料金については、給水した水が公共下水道に流れ込まない場合、地方自治体によっては減免される場合があるが、当該自治体に問い合わせる必要がある。

<その他の留意事項>

- ・ 高台や沿岸部等の非常に風当たりの強い場所への設置を検討する際は、製品の耐風性能等に留意する必要がある。

¹⁴ 平山ほか、パッシブクーリング技術を複合したテラス空間の設計とクールスポットの形成評価、日本ヒートアイランド学会全国大会第10回、2015

2.1.4 緑化冷却ルーバー

① 概要

多孔質のリサイクル材料を利用した緑化基盤をルーバー状に配置した製品。緑化基盤は多孔質材料で保水力が高いことから、植物のポットを配置することで、ルーバー状の緑化基盤によって生育させることが出来る。

保水性、蒸発性の高い緑化基盤をルーバー状に配置することで、緑化基盤が保水した水分を蒸発し、気化冷却効果を期待する暑熱対策技術である。



図 2.10 緑化冷却ルーバーの設置イメージ写真（左：全景、右：近景）

② 熱環境改善効果

開発メーカーによる室内実験では、気温 30℃、ルーバー風上側の風速が 0.2m/s のときルーバーから 100mm 風下側の気温が平均 1.0～1.1℃低下することがわかっている。

また、屋外での効果を把握するために平成 27 年度に試験体を施工し、測定を行った。試験内容は巻末の参考資料 2 にまとめた。

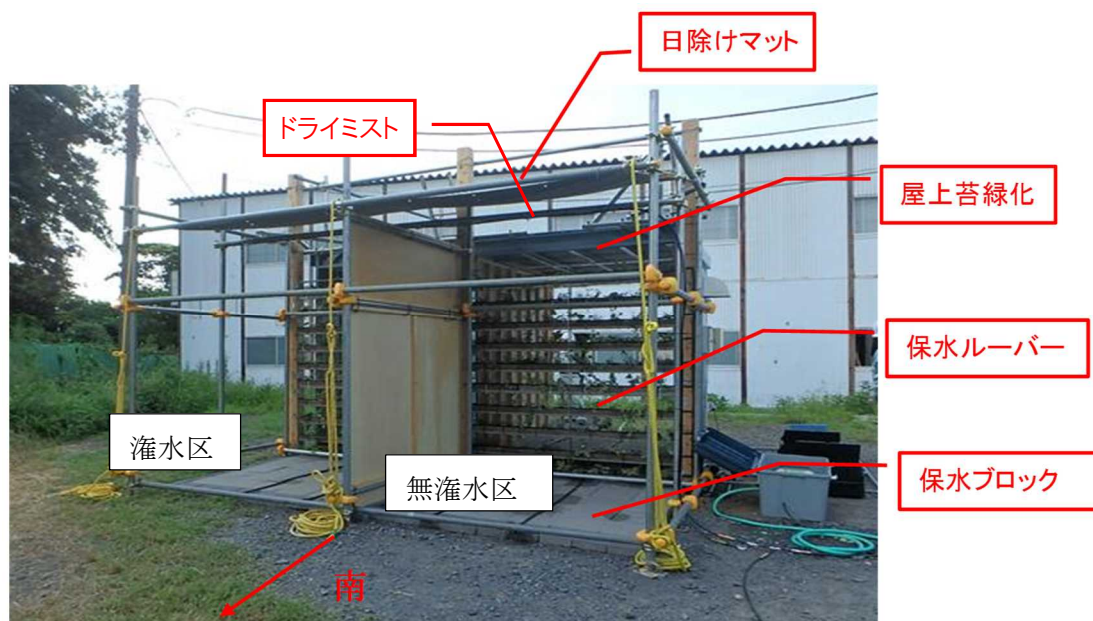


図 2.11 試験体の様子

試験体内（写真北側）において温湿度の計測を行った結果、10月8日の気温の経時変化をみると、気温の上昇過程である午前中に約1℃の気温上昇抑制効果があることがわかった。

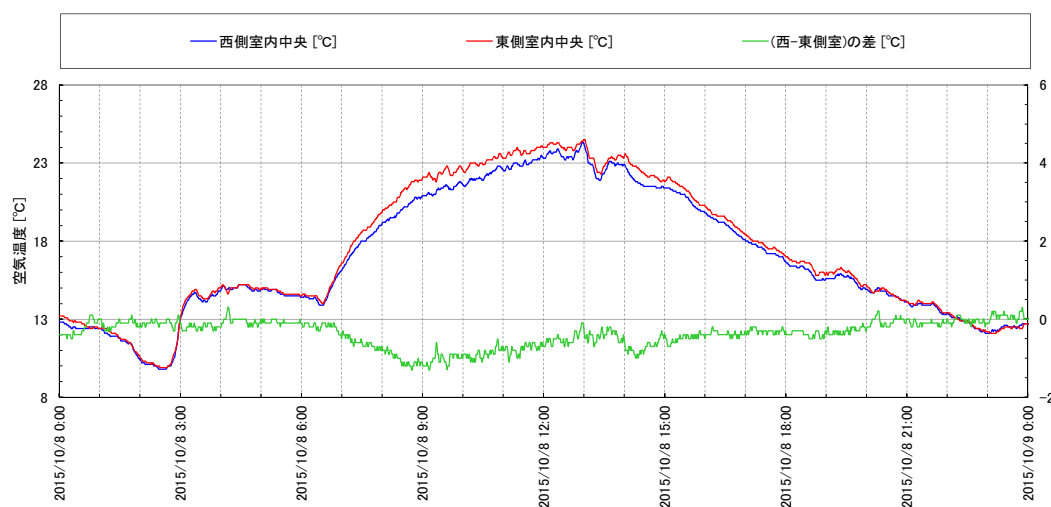


図 2.12 試験体西側・東側室内における気温の変化

③ 導入の際の留意事項

- ・ 熱環境改善効果を保つために緑化冷却ルーバーの基盤を湿潤に保つための管理が重要である。
- ・ 緑化冷却ルーバーは植物による視覚的な効果も期待できる暑熱対策技術であるが、適切な灌水が必要である。灌水設備の故障などによる植物の枯死に留意する必要がある一方、水分の過多にも留意が必要である。

試験体では、プミラ、エアープランツに枯死がみられ、ヘデラ、ハツユキカズラはほとんど枯れていなかった。採用する植物も植物の性質を考慮したうえで選定する必要があることがわかった。枯死した植物には、根の周りの土がジクジクと湿潤して根腐れを起こしているものもみられ（図 2.13）、水分過多にならないようポットの土の排水性などにも留意する必要があることがわかった。



図 2.13 植物のポットの状況

(上：湿潤状態の土／下左：枯死した植物／下右：健全な植物の根毛)

- ・ルーバーの保水量を考えた適正な灌水量の推定が必要である。試験体でも、多すぎる灌水で、緑化冷却ルーバーの緑化基盤を固定しているボルトの穴から水が流れ落ちる状況がみられた。

2.1.5 冷却ベンチ

① 概要

水冷ベンチはアルミ芯材の中空構造となっており、水を通水して座面を冷やす技術である。座る人の臀部を直接冷やし、伝導放熱により人の熱負荷の低減を狙う。



図 2.14 水冷ベンチのイメージ（右は断面図）¹⁵

② 熱環境改善効果

水冷ベンチによる熱環境改善効果を把握するため、生理・心理反応実験を行った。実験の詳細は巻末の参考資料3にまとめた。以下に概要を示す。

被験者8名について、日向で5分間歩行後、熱環境の異なるベンチ（日向/日陰の水冷ベンチ）に15分間着座し、その後、室内（28℃設定）に移動し座位にて20分間安静にするという条件で、心拍数などの生理反応（心拍数測定）と主観申告を得た。なお、この時のSET*は日向が40℃以上、日陰が35℃前後であり、ベンチの表面温度は日向で概ね50℃以上、日陰の水冷ベンチでは概ね30℃前後であった。

生理反応では、歩行により心拍を上げた後、日陰の水冷ベンチに座った場合には、日向に座った場合の心拍数と比べて有意な差があり、安静時と同程度の心拍に落ち着いた。

主観申告のうち、温冷感と快適感については図2.15、図2.16のようになり、日向ベンチでは28℃室内と比べて「暑い」「不快」寄りに申告されたのに対して、水冷ベンチでは屋外の暑熱環境下にもかかわらず、28℃室内と同程度の申告が得られた。

¹⁵ メーカー資料より

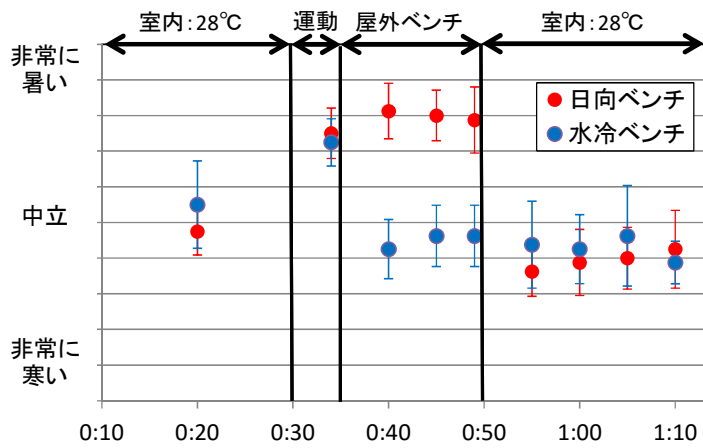


図 2.15 主観申告結果 (8人の平均値) 温冷感

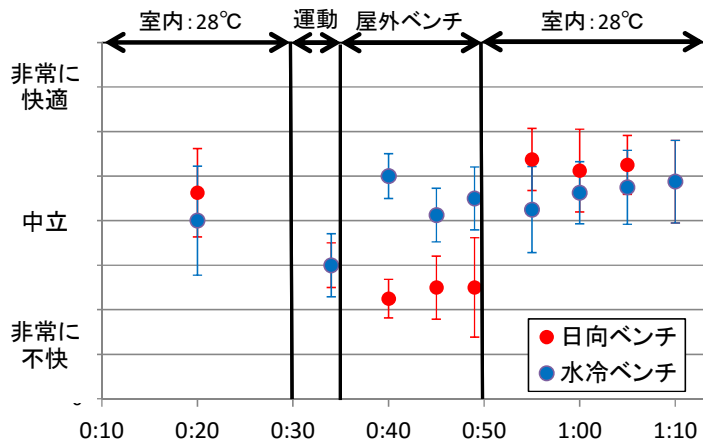


図 2.16 主観申告結果 (8人の平均値) 快適感

なお、ベンチ温冷感については座面温度との明確な関係が見られ、水冷ベンチの座面温度については、冷たい刺激が強くなり過ぎない 29°C程度が適当と考えられた。

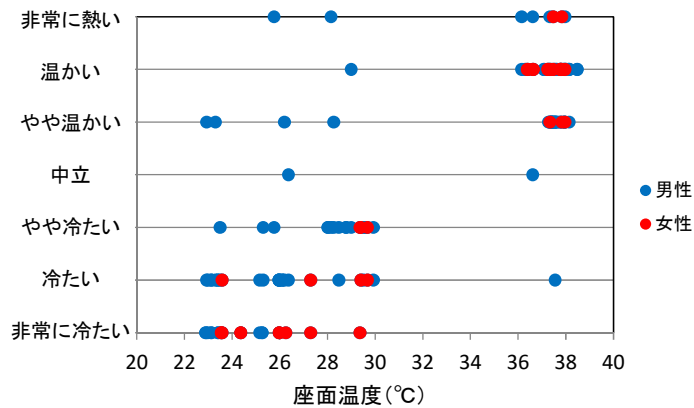


図 2.17 座面温度とベンチ温冷感

③ 導入の際の留意事項

- ・ ベンチの表面が冷えすぎて露点温度に近づくと結露し、座面が濡れる恐れがある。
- ・ ベンチの表面温度が 28℃を下回ると、冷たい刺激が強くなり過ぎる可能性がある。

2.1.6 微細ミスト

① 概要

大気中へ微細なミストを噴霧し、噴霧直後に蒸発することで気化熱を利用して局所的に気温を低下させる。

噴霧の方法には、圧力をかけて水を噴射する(一流体)方法と、圧搾空気とともに水を放出する(二流体)方法とがある。噴霧されるミストの粒子径は、製品によって異なるが 10~30 μm と微細であり、短時間で気化するため人が濡れを感じることなく暑さを和らげることができる。微細ミストが噴霧される光景は涼しげで、民間の集客施設や公共施設等で導入例が見られる。

送風ファンと組み合わせた物もある。



図 2.18 微細ミストの導入事例（左）と送風ファン併用型の製品例（右）¹⁶

② 熱環境改善効果

日陰で微細ミストを噴霧した場合、ノズルから風下側の水平方向に約 5 m の範囲内（弱風時）の気温が平均 2℃低下する。送風ファンと組み合わせた場合は、ミストによって即時に皮膚温が 1~3℃低下する。気温および皮膚温の低減効果を調査した結果の例を以下に示す。

河野ら（2012）¹⁷の調査では、屋外の実験フィールドで微細ミストを噴霧したところ、ミスト噴霧前後で 3℃程度の温度差が生じたが、噴霧中に風速が 1 m/s 程度まで強まると、フィールド内の気温がフィールド外と同程度まで上昇することが確認された。

¹⁶ メーカーホームページより

¹⁷ 河野ほか、微細水ミスト噴霧空間が及ぼす心理的影響に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 2012(環境工学 II),561-562,2012-09-12

成田ら（2015）¹⁸の調査では、屋根面に布製の遮蔽材を取り付けた空間で、約 360g/分あるいは約 720g/分の量の微細ミストを噴霧したところ、ノズル直下のノズル下 1.75m付近において、微風時は1秒ごとの測定では最大5℃程度、1分平均では2℃程度の気温低減効果が確認され、風速が大きくなると気温低下はほとんど見られなかった。（図 2.19） また、瞬時的な気温低下の大小は、相対湿度が高くなるにつれて小さくなった（図 2.20）。

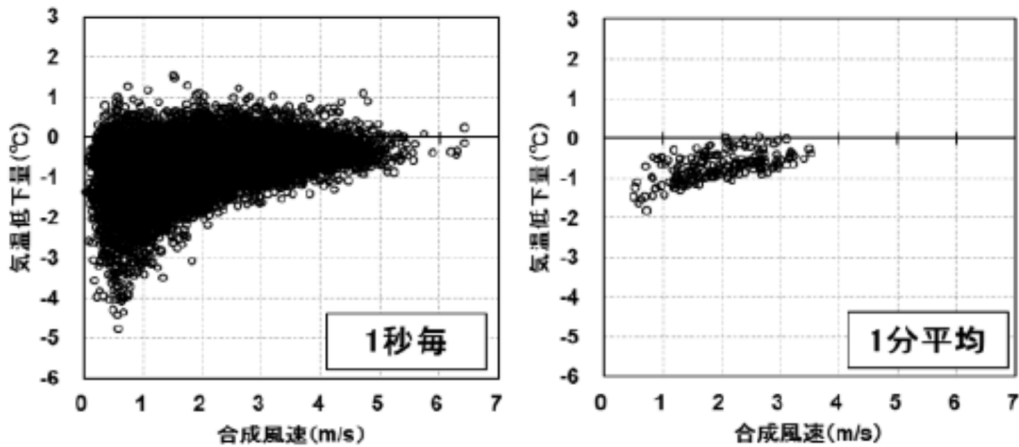


図 2.19 微細ミストノズル直下*の気温低下量と風速の関係¹⁸
 (*ノズル下 1.75m)

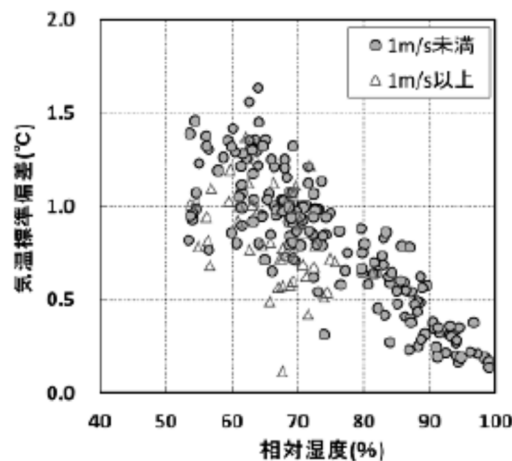


図 2.20 ノズル直下*における相対湿度による気温変動の大きさの変化¹⁸
 (*ノズル下 1.75m)

河野ら（2013）¹⁹の調査では、「暑熱対策として効果を感じる」と申告する被験者の割合が、日射遮蔽率 25%の日射遮蔽のみの場合は7%に対して、そこにミスト噴霧を組み合わせた場合は63%に向上した。また、日除けの有無や種類にかかわらず気温が25℃以下では

¹⁸ 成田ほか、微細水ミスト噴霧による気温低下領域の実測超音波風速温度計の多点計測による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 2015(環境工学 I),617-618,2015-09

¹⁹ 河野ほか、日射遮蔽を考慮した微細水ミスト噴霧環境の快適性評価に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 2013(環境工学 II),499-500,2013-08-30

ミストを噴霧すると不快になる傾向が見られた。

Farnham ら (2015)²⁰の調査では、風速約 3m/s 前後の送風がある場所での皮膚温の低下が、送風のみでは 0.5℃だったのに対し、微細ミストを併用すると 10 秒以内に 1～3℃の低下が見られた (図 2.21)。

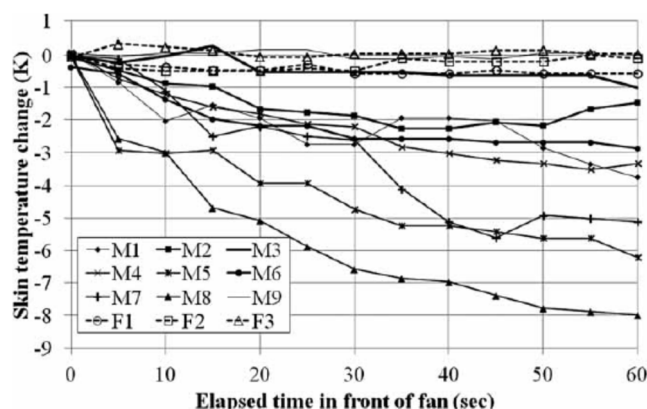


図 2.21 送風ファン曝露後の皮膚温の推移 (5 秒間隔)²⁰

(M1～9 は送風+微細ミスト、F1～3 は送風のみ、いずれも曝露風速は 3m/s 前後)

③ 導入の際の留意事項

<水に関する留意事項>

- ・ 商業街路等で実施する場合、店舗の商品等によっては、わずかな濡れも適さない場合があるため、噴霧場所に留意する必要がある。
- ・ ミストが人の口に入ったり吸引されたりする可能性が高く、水源の選定やタンク・ホースの維持管理により、ミストの水質の安全性を確保する必要がある。
- ・ 給水装置として水道に接続する場合には、水道法施行令第 4 条第 2 項の規定に基づく「給水装置の構造及び材質の基準に関する省令 (平成 9 年 3 月)」に適合させる必要がある。

<その他の留意事項>

- ・ 相対湿度が高い場合には気温の低下量が小さいため、相対湿度が比較的低い日中の利用が適している。閉鎖空間での使用は相対湿度が高くなるため適さず、半屋外空間においても、相対湿度が高くなりすぎないように、ある程度の換気量が確保される場所で利用するとよい。
- ・ 風があるとミストが飛ばされてノズル下で気温低下の効果を得られないこと、また気温が 25℃以下ではミストを噴霧すると不快になる傾向が確認されていることから、気象センサーを設置して、一定の気象条件で噴霧するよう制御することが望ましい。
- ・ ポンプと一体型の移動式製品の場合、ポンプは直射日光や雨が当たるところには設置しないよう留意する。

²⁰ Farnham et al, Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan, Building Research & Information, 43(3), 334-345, 2015

2.1.7 水景施設

① 概要

噴水や水景施設などを設置することにより、地表面温度の上昇を抑制するとともに、水分が蒸発する際の気化熱によって風下の気温が低下する。公園の噴水のほか、まちなかの公開空地等に噴水や水盤を設置して憩いの空間を提供している事例等が見られる。

② 熱環境改善効果

噴水付近の湿潤面の表面温度が、日向面と比べて 20°C 以上低くなる。風下側の気温が $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 低くなる。表面温度および気温の低減効果を調査した結果の例を以下に示す。

環境省（2007）²¹の調査では、8月の日中（外気温 31.6°C ）水利用施設の給水面は、日向の石貼舗装面と比較して表面温度が 10°C 前後低かった（図 2.22）。

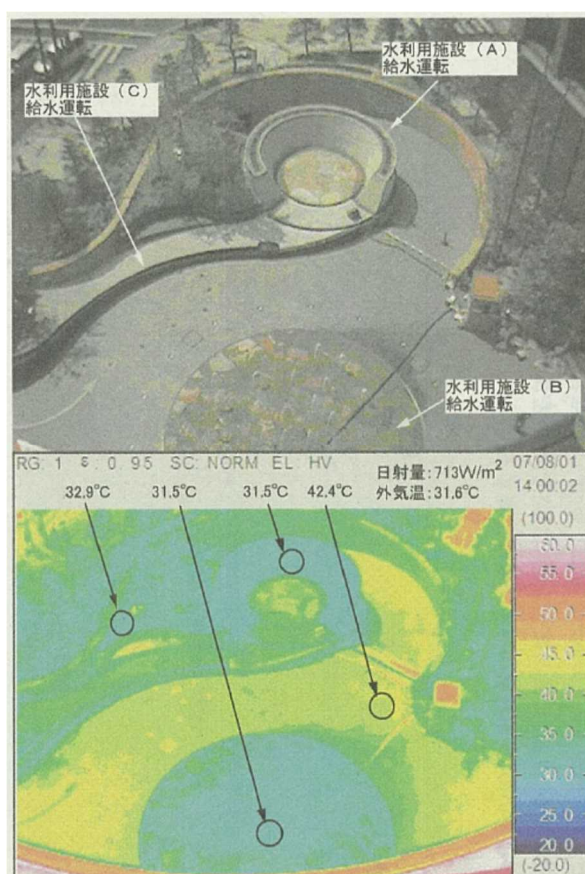


図 2.22 水利用施設の表面温度（2007年8月1日）²¹

安藤ら（2009）²²、三坂ら（2009）²³の調査では、厚さ $3\sim 5\text{mm}$ 、面積 360 m^2 の水盤（毎

²¹ 環境省，クールシティ中枢街区パイロット事業（ザ・ペニンシュラ東京），平成19年度

²² 安藤ほか，水景施設を活用した暑熱環境改善に関する研究：その1 調査概要と暑熱環境緩和効果の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1 2009，885-886，2009-07-20

²³ 三坂ほか，水景施設を活用した暑熱環境改善効果に関する研究：その2 温熱快適性と熱収支

日 11～18 時に流水) において測定を実施したところ、7月の日中(最高気温 35℃程度)のピーク時に、水盤の表面温度が、流水しない平板舗装面より最大約 15℃低くなった(図 2.23)。12 時以降は水盤上で舗装上よりも SET*が 2～3℃低く推移した(図 2.24)。

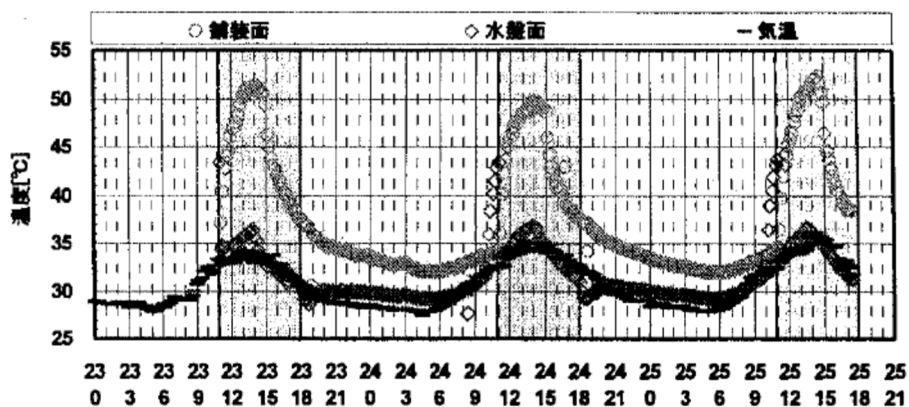


図 2.23 気温と表面温度の経時変化(2008年7月23日～25日)²²

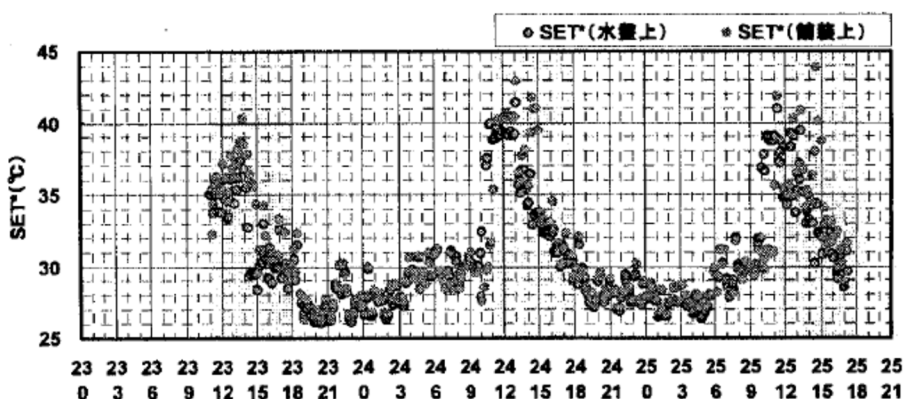


図 2.24 SET*の経時変化(2008年7月23日～25日)²³

Nishimura ら(1998)²⁴の調査では、公園の水景施設の風下側の気温が、公園内の平均気温(35℃)よりも 1～2℃低くなった。

③ 導入の際の留意事項

人が触れる可能性がある場合、水質に配慮する必要がある。浄化方法の選定にあたっては、水景施設の規模、目的等の項目を検討した上で決定する必要がある。

の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集. D-1 2009, 887-888, 2009-07-20

²⁴ Nishimura et al., Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology, Solar Energy, 197-207, 1998

2.2. 余剰地下水等の適切な利用に関する調査

平成 26 年 7 月に施行された水循環基本法では、健全な水循環を維持することが基本理念として掲げられており、健全な水循環とは「人の活動と環境保全に果たす水の機能が適切に保たれた状態での水循環」と定義されている。そのため、夏季における人の活動を支える「暑熱対策」としての水の利用についても、環境保全に果たす水の機能を阻害せずに利用することが条件となる。また、利用する水の質や量についても、導入する暑熱対策技術に適したものをを用いる必要がある。そこで、暑熱対策に利用できる比較的清浄な水資源について、各種水資源の特性や関連する法規制、利用技術、賦存量等を調査し、適切に利用するための情報を整理した。

都市における清浄な水資源として、上水、地下水が挙げられる。また、都市特有の水源として、下水再生水や、地下構造物への漏えい地下水、雨水貯留水などが挙げられる²⁵。そこで、以下では上記 5 種類の水資源を対象として情報を整理した。

2.2.1. 水資源の特性

1) 上水

水道法による水道のことを指し、法律で定められた水質基準を満たす人の飲用に適した水である。許可を受けた水道事業者が必要な塩素処理などを施して供給している。水道水の質は飲用に適するほど清浄で、暑熱対策のどのような利用にも適すると考えられる。また、水温は気温と同様に変動し、夏季には 28℃程度まで上昇する場合がある。日内変動は少なく、日中と夜間で 1℃程度の違いである。

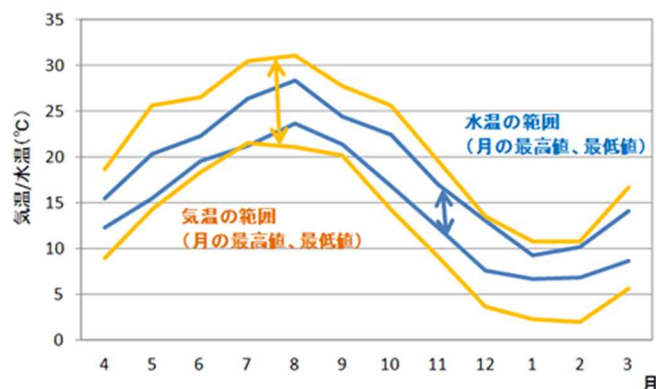


図 2.25 水道水の水温（東京都庁付近）と東京（大手町）の気温（平成 26 年度）²⁶

²⁵ 環境省地球温暖化影響適応研究委員会、「気候変動への賢い適応－地球温暖化影響・適応研究委員会報告書－」、第 3 章水環境・水資源分野、2008 年 6 月

²⁶ 東京都水道局 水道水の水温 <https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/topic/03.html>

2) 地下水

地下水は、一般に水質が良好で水温の変化が少なく、大規模な貯水・取水・給水施設を要しない等の優れた特性を有している。そのため、生活用水や工業用水等の様々な用途に利用されてきたが、過度な利用により地盤沈下等が発生するなど、その利用には留意すべき点が多い。

地下水温はその場所の地温と同程度になるが、地面下 50cm で日変化が、地面下 10m で年変化がほぼなくなり、日本では地面下 10m～15m に恒温層があり、恒温層の地温はその地域の年平均気温より 1～3℃程度高いのが一般的である²⁷。恒温層以深では、深くなるに従い地温が上昇する。東京の場合、年平均気温が 15℃程度であるため、恒温層の地下水温は 16～18℃程度になる。

地下水は「被圧地下水」と「不圧地下水」に分けられ、被圧地下水は上下が難透水層で挟まれた地下水で、不圧地下水は上部が不透水層に覆われていない地下水であり、それぞれ「深井戸」、「浅井戸」と呼ばれる。不圧地下水は降雨などにより水位が上下し、地上から汚染物質が浸透しやすい地下水である。

深層の被圧地下水の過度の利用は地盤沈下等の地下水障害を引き起こしやすく、地域や深度によって、鉄分やマンガンが多く含まれる帯水層があるため、井戸を整備する際にはどの帯水層にストレーナを挿入するか等について検討が必要になる。浅層の不圧地下水の利用は、地上からの汚染物質の有無に注意する必要がある。

3) 地下構造物への漏えい地下水

都市の地下には、建物、道路、地下鉄など様々な地下構造物が存在し、地下空間の利用が進んでいる。また、その利用は浅い地下から進み、地下鉄の最大深度は開業年が新しくなるにつれ深くなる傾向にある。

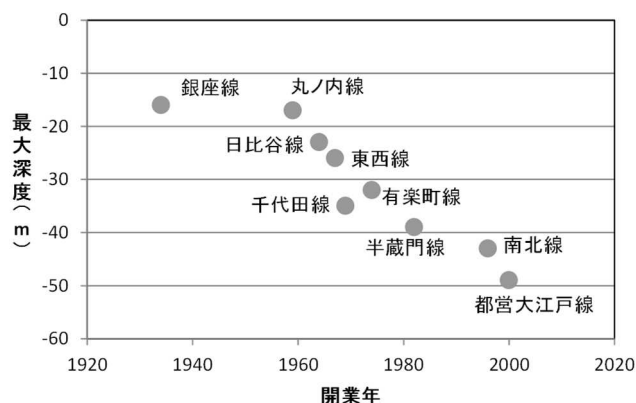


図 2.26 東京の地下鉄におけるトンネル部の最大深度の推移²⁸

一方、地下水については、工業用水法と建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）ならびに地方公共団体の条例による揚水規制が進められてきた。その効果として、東京都で

²⁷ 公益社団法人日本地下水学会 地下水に関する疑問・質問

<http://www.jagh.jp/jp/g/activities/torikichi/faq/#FAQ>

²⁸ 国土交通省 大深度地下とは http://www.mlit.go.jp/toshi/daisei/crd_daisei_tk_000007.html から作成

は近年、被圧地下水の水位が上昇しており、地下水位の大幅な低下時に建設された JR 東京駅、上野駅の地下部分では、地下水の強い浮力を受け、地下ホームにアンカーを打ち込み浮力を抑えるとともに、東京駅周辺の地下構造物内に漏えいする地下水を排出する対策が平成 13 年から進められている。

地下構造物への漏えい地下水の水質はおおむね良好ながら、東京駅周辺の漏えい地下水の場合は塩水化（約 0.3%：海水の 1/10 程度）しているため、環境用水としてそのまま利用するには様々な問題があり、東京都、品川区、JR 東日本旅客鉄道(株)は、塩分を含む漏えい地下水を影響の少ない立会川に導水することとした²⁹。

また、複数の漏えい地下水を調査した事例³⁰では、親水用水、散水用水の水質基準等と比較し、34 地点中 30 地点で散水利用が可能、11 地点で親水利用（せせらぎ）が可能としている。しかし、貯水槽にその他の「排水」が混入する場合には環境用水としての利用には適さない。

4) 下水再生水

下水再生水は、通常の下水处理に加え、ろ過処理やオゾン処理などさらに高度な処理を行った水で、トイレ用水や散水用水、洗浄水など必ずしも飲料水と同等の水質を必要としない用途として循環利用するものである。再生水の用途としては、水洗トイレなどの雑用水、環境用水などが想定されており、東京都の下水道局では、再生水の用途のひとつとしてヒートアイランド対策を目的とした道路散水を示している³¹。再生水の水量、水質は安定しており、水質の基準は、以下のように定められている。

表 2.2 再生水の水質基準（再生水利用事業実施要綱（東京都））

大腸菌	検出されないこと
水素イオン濃度	水素指数 5.8 以上 8.6 以下
臭気	不快でないこと
残留塩素	保持されていること
外観	不快でないこと

東京の場合、23 区内には 13 箇所の水再生センターがある。以下では、このうち最も都心部に位置する芝浦水再生センターから給水される再生水について情報を収集した。

芝浦水再生センターでは、平成 22 年 4 月から、国内で初めて再生水処理工程のろ過材にセラミックを用いた再生水製造施設を稼働させ、周辺地区の建物等に水洗トイレ用水などとして水を供

²⁹ 東京都環境局 東京駅周辺のトンネル地下漏水を立会川に導水
<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/press/60B37200.HTM>

³⁰ 布田友康ら（2006）東京都心部におけるトンネル湧水活用に関する調査研究：日本建築学会関東支部研究報告書

³¹ 東京都下水道局 <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyousaiseisui/youto.html>

給している。

表 2.3 芝浦水再生センターから再生水が供給されている5地区（平成26年度）

区域名	品川駅東口地区	大崎地区	汐留地区	永田町及び霞が関地区	八潮及び東品川地区	合計
供給開始	H9年度	H10年度	H14年度	H19年度	H20年度	
供給面積 (ha)	106	67	31	138	57	399
供給件数	21	14	16	10	10	71
供給実績 (m ³ /日)	1,706	842	1,168	383	603	4,702

また、再生水の水温は、水再生センターからの放流水温は夏季（7～9月）に27～29℃であり、地中の管路（鑄鉄管）を流れ、中継地（永田町霞ヶ関地区）の貯留槽内に貯水されている水の水温は0.6～1.2℃低下している状況がみられる。下水処理場の水温を観測した研究事例³²では、下水処理場へ流入する水と放流水の水温は類似の挙動を示し、放流水の水温は冬は約18℃、夏は約28℃になるとしている。

表 2.4 芝浦水再生センター供給水水温（平成20年度、芝浦水再生センター提供）

	センター側放流水水温	永田町霞ヶ関地区側水温
4月	20.5	15.4
5月	22.9	19.7
6月	24.6	22.3
7月	27.6	26.6
8月	28.9	28.3
9月	27.4	26.2
10月	25.2	22.9
11月	22.9	19.4
12月	20.5	15.3
1月	18.7	12.7
2月	18.6	12.5
3月	19.2	13.4

5) 雨水

平成26年5月に「雨水の利用の推進に関する法律」が施行された。この法律において、雨水の利用とは、雨水を一時的に貯留するための施設に貯留された雨水を水洗便所の用、散水の用その他の用途に使用することをいう。雨水の利用は水資源の有効な利用を促進するだけでなく、下水道、河川等への集中的な流出の抑制にも寄与する。

我が国は世界でも有数の多雨地帯であるアジアモンスーン地帯に位置し、年平均降水量は

³² 中山ら，下水処理場での水温観測に基づく都市下水道の水・熱輸送に関する研究，水文・水資源学会誌，20(1)，25-33，2007

1,718mm であり、世界の年平均降水量約 970mm の約 2 倍となっている³³。ただし、北海道が少なく、北陸が多いなど、地域的には 2 倍程度の降水量の違いが見られる。東京都の年間降水量は 1,529mm と日本平均より若干少なく、6 月～10 月にはいずれも月降水量は 150mm を超えている。

表 2.5 東京の降水量³⁴

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
降水量(mm)	52.3	56.1	117.5	124.5	137.8	167.7	153.5	168.2	209.9	197.8	92.5	51.0

雨水利用では、雨水そのものの水質だけでなく、集水施設を通じて集められた水の水質、さらには貯留槽に溜められた水の水質に注目する必要がある。雨水の主成分は、日本の場合、海水の主成分とほぼ同じと考えることができる³⁵。ただし、pH については、東京の年平均値で 5.03（平成 25 年度）³⁶と、酸性化している。

また、集水施設での水質を調べた事例では、屋根面からの貯留槽に入る前の雨水の COD（化学的酸素要求量）と SS（浮遊物質濃度）を経時的に調べたところ、降雨開始時点で高い値を示していた SS も時間とともに小さくなっている。そのため、屋上部の汚れた初期雨水を排除するよう初期雨水排水弁を設置している場合がある。

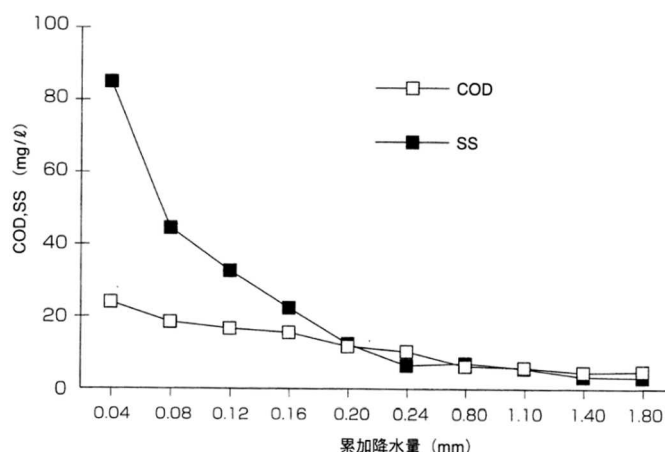


図 2.27 累加降水量と水質の変化（屋根面）³⁵

貯留槽内の水質は、日常的に使用することで清浄に保たれるが、貯留槽に日射が差し込むと藻が発生するなどの問題が生じる場合がある。また、水温については、適切に測定されたデータは見られず、貯留槽の設置場所や、地下に設置してある場合には埋設深さなどによって異なるものと考えられる。

³³ 国土交通省 水の循環と水資源

<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/index-4/11/11-1.html>

³⁴ 気象庁 東京の平年値（統計期間：1981～2010）

³⁵ （社）雨水貯留浸透技術協会「雨水利用ハンドブック」1998 年

³⁶ 環境省 平成 25 年度酸性雨調査結果について

<http://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/h25/index.html>

2.2.2. 水資源の利用に関する法規制等

各種水資源を利用する場合に留意すべき関連法規制等を整理した。

1) 上水

都市においては上水普及率はほぼ 100%となっており、水道を利用する際の制約等は少ない。ただし、水道を利用する暑熱対策技術・製品については、水道法施行令第 4 条第 2 項の規定にもとづく「給水装置の構造及び材質の基準に関する省令(平成 9 年 3 月)」に適合させる必要がある。同省令第 5 条に逆流防止に関する基準が示されており、水道に直結する場合には、逆流防止の装置等を備え、性能試験を満足する必要がある。もしくは、給水装置が吐出口を有する場合は、吐出口から受水槽までの吐出空間を一定程度設ける、いわゆる「縁切り」をすることで基準を満たすことができる。縁切りに必要な吐出口空間を以下に示す。

表 2.6 必要な吐出口空間（給水装置の構造及び材質の基準に関する省令、別表第 2）

呼び径区分	近接壁から吐水口の中心までの水平距離	越流面から吐水口の最下端までの垂直距離
13mm 以下	25mm 以上	25mm 以上
13mm を超え 20mm 以下	40mm 以上	40mm 以上
20mm を超え 25mm 以下	50mm 以上	50mm 以上

下水道料金の算定の対象となる汚水排出量については、水道水、地下水などの使用水量をもってみなすこととなっている。しかし、暑熱対策として水道水などを使う場合には、路面に散水する、空气中に気化させるなどにより公共下水道に流れ込まない分について、減免される場合がある。

例えば、東京都の場合には、下水道料金の「減量」を申請することができる。東京都の場合、減水量が総使用量の 10%以上を占める場合に対象となり、審査基準として以下の 5 つが挙げられている。

散水の場合の減量認定審査基準（東京都下水道局）

- (1)減量査定申請者と給水申込者が同一であること。
- (2)散水した水が排水設備を通じて、公共用下水道に排除されないこと。
- (3)散水量が適正に計測できる位置に、計測装置を設置していること。
- (4)計測に用いる計量器が計量法で定められた検定証印等の有効期限内のものであること。
- (5)設置する計測装置が、設置場所に適した計測装置「流量・水温等に適応しているもの」であること。

2) 地下水

過剰な地下水利用は、地盤沈下等の地下水障害を生じさせることから、地下水の利用には多くの法規制等が関係する。国の法律は工業用水を対象とした「工業用水法」、冷暖房用、水洗便所用等を対象とした「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（ビル用水法）の2つがあり、用水二法と呼ばれている。これらの法律は、地盤沈下等の地下水障害が発生した地域（工業用水法：10都府県62市区町村、ビル用水法：4都府県39市区町）において、揚水機の吐出口の断面積が6cm²を超える井戸を対象として地下水の採取を規制している。また、地盤沈下防止等対策要綱が、筑後・佐賀平野、濃尾平野、関東平野北部でそれぞれ策定されており、地盤沈下を防止するための地域の実情に応じた総合的な対策が図られている。

国の地下水規制は一部の地域に限られるが、その他の地域の地盤環境保全については、地方自治体が条例等によってきめ細かい規制等を実施している。条例等では、用水二法の白地部分について、その地域の実情に応じて特別の規制を加えることとなるが、用水二法よりも規制地域を拡大する、揚水量の規制を加える、また、工業用水、ビル用水以外の用途に広げるなどの対応が図られており、地下水利用を検討する場合には、各地域の条例等を参照する必要がある。以下では、東京都と、本事業で地下水を利用する予定となっている埼玉県（熊谷市）の制度を整理した。

①東京都

昭和の始めから30年代、40年代にかけて著しい地盤沈下を経験し、地下水の採取については厳しい規制を講じている。江東地区など8区は「工業用水法」の指定、「ビル用水法」は23区が指定を受けているが、用水二法の指定地域外においても、新たな地盤沈下の発生を防止するため、昭和44年に「東京都公害防止条例」、昭和47年「天然ガス採取規制」を制定した。その後、平成に入り、揚水量の削減は頭打ちとなったが、揚水施設の能力向上等による揚水量の増加が懸念されたため、平成12年に、「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例（環境確保条例）」に改正された。特徴的な規制・管理内容等を表に整理した。

②埼玉県

県南部において、昭和38年に「工業用水法」の指定、その後の指定地域の拡大（8市）、昭和47年に「ビル用水法」の指定（7市）を受けた。昭和40年代後半になると、工業用・水道用水源として地下水の揚水量が増加し、顕著な地盤沈下現象は、県東部などへ移ったため、昭和46年「公害防止条例」により、県の東側全域で揚水規制を行った。その後、周辺部でも地盤沈下が進んでいたため、平成14年には「生活環境保全条例」を制定した。

特徴的な規制・管理内容等を表に整理した。

表 2.7 東京都と埼玉県における地下水採取規制等の整理

	東京都 (都民の健康と安全を確保する 環境に関する条例：H13)	埼玉県 (生活環境保全条例:H14)
1.地下水・地盤 環境に関する地 域の状況	(地下水障害) ・昭和の始めから 30 年代、40 年代にかけて 年間 20 cm以上の著しい地盤沈下を経験して いるため、現在では沈静化しているものの、 地下水の採取については厳しい規制を講じて いる。 (地下水利用) ・平成 17 年現在、井戸本数は 3,560 本、揚水 量は 549 千m ³ /日、井戸は毎年約 50 本増加し ている。	(地下水障害) ・昭和 30 年代から 40 年代初頭にかけて、県 南部一帯で著しい地盤沈下を示したが、昭和 54 年以降は、県全域にわたり年間沈下量が 10cm をこえる基標は認められていない。ま た、季節変動を繰り返しながら、地下水位は 上昇傾向を示している。 (地下水利用) ・平成 15 年現在、水道用水と工業用水として 720 千m ³ /日が揚水されている。
2.制度の目的	(目的) ・現在及び将来の都民が健康で安全かつ快適 な生活を営む上で必要な環境を確保するこ と。	(目的) ・地下水の過剰な汲み上げによる地盤沈下の 防止。
3.管理対象範囲	(対象地域) ・用水二法指定地域を除く、15 区 24 市町村 (対象用途、対象施設) ・全用途、地下水を揚水するもので、揚水機 の出力が 300W を超えるもの	(対象地域) ・規制区域は、用水二法指定地域及び山岳部 を除く県全域を揚水規制の対象とし、第 1 種 指定地域（地盤沈下が顕著であった地域）と 第 2 種指定地域（今後、地盤沈下のおそれの ある地域）の 2 区分としている。 (対象用途、対象施設) ・全用途、施設基準が該当するもの。ただし、 家庭用と農業用（灌漑用）でストレーナーの 位置が 30m より浅の揚水施設除く。
4.施設構造基準 の区分	(許可基準) ・工場の場合（新設時の認可） 構造基準：吐出口断面積の上限を 21 cm ² （吐出 口断面積は事業所で合算）。 6 cm ² を超える場合はストレーナーの位置を規 制（400～650m 以深）。 6 cm ² 以下の場合には出力 2.2KW 以下、揚水量は 最大 20 m ³ /日、10 m ³ /日（月平均）以下。 (届出基準) ・工場以外の指定作業場と全てのもの。 届出基準は許可に同じ。	(許可基準) ・第 1 種指定地域で、吐出口断面積 6 cm ² 超が 対象、吐出口断面積は事業所合計 21 cm ² 以下、 ストレーナー位置 650m 以深。 (届出基準) ・第 1 種指定地域で、吐出口断面積 6 cm ² 以下： 出力 2.2kw 以下、日最大採取量 50 m ³ /日以下 ・第 2 種指定地域で、吐出口断面積 6 cm ² 超、 事業所合計 21 cm ² 以下。 ・規制対象を全用途とし、事業所（個人を含 む）にかかわらず全ての用途を対象。

表 2.8 東京都と埼玉県における地下水採取規制等の整理（続き）

	東京都	埼玉県
5. 地下水・地盤環境の把握と計画策定	<p>(地盤環境・地下水位)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地盤沈下監視体制は、東京都土木技術センターと国土地理院が水準測量（対象面積 1020k m²、測量延長 623km、水準点 468 点）実施。 ・観測井による地下水位と沈下量については東京都土木技術センターが 42 箇所、91 井戸（浅井戸を含む）を観測。（揚水量報告） ・出力 300W を超える揚水機を有する揚水施設を設置する者（新設、既設を問わない）に対し、量水器の設置、年 1 回の揚水量報告を義務づけ。（とりまとめ） ・毎年、土木技術センターが「水準基標測量成果表」及び「地盤沈下調査報告書」を発行。 ・毎年、東京都環境局が「地下水揚水量調査報告書」を発行。（計画） ・なし 	<p>(地盤環境・地下水位)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地盤沈下監視体制は、埼玉県、国土地理院、さいたま市が水準測量（測量延長 1321km、水準点 671 点）実施。 ・地下水位は 37 箇所、64 井の井戸を設置し、常時観測。 ・「地盤沈下緊急時対策要綱」（H14）の施行に伴って緊急時の措置として、4 箇所の観測所に「テレメータ」の設置による地下水位の常時観測を開始。（揚水量報告） ・許可及び届出対象者に、水量測定器の設置および地下水採取量の年 1 回報告を義務付け（とりまとめ） ・毎年、県が「地盤沈下調査報告書」、「地下水位報告書」を作成。（計画） ・なし
6. 揚水抑制措置	<ul style="list-style-type: none"> ・近年は、揚水量がほぼ一定の状況にあること、及び、地盤沈下も沈静化傾向にあることから、地下水利用合理化や揚水量の減少勧告を行う状況にないため、現条例施行以降現在まで、地下水利用合理化・揚水量減少勧告は発動していない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「埼玉県地盤沈下緊急時対策要綱」では、平成 6 年の渇水時の地盤沈下の経験（年間 2cm 以上の地域が 300k m²を超えた）などから、地下水採取の抑制措置を要綱に定め、地下水採取抑制を要請する。 ・具体的な措置としては「地盤沈下注意報」「地盤沈下警報」の発令基準を地域毎（4 区分）、対象事業者毎に設けている。 ・対象事業者は、大量地下水利用者（1,000 千 m³/年以上）、地下水利用者（100 千 m³/年以上 1,000 千 m³/年未満）の工業用、建築物用、水道事業者用に供するもの

条例等の規制は国の規制よりも指定地域や揚水規模などの対象範囲が広いが、吐出口の大きさや揚水機の出力など、国と同様に一定程度以上の揚水量が見込まれる場合を対象としている。

東京都の場合では揚水機出力 300W 以下、埼玉県の場合はストレーナーの位置が 30m より以浅（家庭用）の場合は管理対象外となる。暑熱対策として地下水を使う場合、その使用方法によるが、散水や蒸発気化等の目的で使用する場合、その量は必ずしも多くないことから、条例等の対象となるか否かについては各地域の自治体に問い合わせる必要がある。

ただし、健全な水循環を維持するという趣旨からは、暑熱対策として地下水を少量でも利用しようとする場合、地域の地盤地下等の地下水障害の歴史的な背景等を踏まえ、使う場合にも浅層の地下水に利用を限定し、使い切らない水は地面に浸透させる、暑熱対策として路面を保水化させる場合などには浸透性能も有する材料を使うなどの配慮が求められる。

3) 地下構造物への漏えい地下水

地下構造物への漏えい地下水については、本来、地中のより深い層へ涵養されるはずの水であり、これを放置しておくことは従来からの諸施策に基づく地盤沈下対策の実効を損なう恐れがあるとして、東京都では「地下構築物への漏えい地下水の取り扱い指導指針」（10 環水規第 343 号平成 11 年 3 月 24 日）を策定している。同指針では、健全な水循環を確保するため、「地下構築物への漏水量を可能な限り減少させる最善の漏水防止対策を実施すること。」とされており、対策をしたにもかかわらず漏えいする地下水は、「地盤環境の保全に資する環境用水」として使用することとされ、環境用水として使用できない場合に限り、雑用水等に用いることができる。東京都では漏えい地下水の利用については個別に協議することとしている。

また、漏えい地下水を「地盤環境の保全に資する環境用水」として使用する場合、下水道告示区域では、下水道法第 10 条第 1 項のただし書きに基づく「排水設備設置義務の免除」に関する手続き等が必要になる。

4) 下水再生水

下水再生水を使う場合は、再生水供給事業者と個別に契約することになるが、上水と異なり、再生水の利用には一定の制約がある。まず、供給区域が限られており、東京都の場合では臨海副都心地区など 7 地区の合計 1,160ha が対象となる。また、東京都の再生水利用事業実施要綱の第 4 条によると、供給の対象は次のいずれかに該当する場合とされている。

- ・延べ床面積 10,000 m²以上（ただし、住居の用に供する面積を除く）の建築物
- ・1 日当たりの汚水排水量 50 m³以上（ただし、住居部分の汚水排出量を除く）の建築物

また、上水と同様に、給水装置の設置基準が設けられており、適切な吐出口空間を確保することなどが必要になる。下水道使用料金についても上水と同様に減量の手続きをとることが考えられる。

5) 雨水

雨水利用については、様々な促進策がある。

雨水貯留利用施設に係る割増償却制度は、国土交通省が所管し、民間事業者が設置する雨水貯留浸透利用施設に係る法人税・所得税の割増償却制度（5 年間 2 割増償却）について、対象区域を特定地域都市浸水被害対策計画（仮称）に定める区域として、適用期限（平成 27 年 3 月 31 日）を 2 年間延長することとしている。その他にも雨水貯留浸透施設の整備にあたっては、以下のような支援制度がもうけられている。各採択要件等を確認して活用を検討したい。

- ・まちづくり交付金
- ・地域住宅交付金
- ・住宅市街地基礎整備事業
- ・下水道総合浸水対策緊急事業
- ・新世代下水道支援事業制度（水環境創造事業水循環再生型）
- ・総合流域防災事業（流域貯留浸透事業）
- ・エコビル整備事業融資

- ・雨水貯留浸透施設整備促進税制

また、地方自治体では様々な助成等の制度をもうけているため、各自治体の制度を確認する必要がある。

2.2.3. 水処理の方法と利用コスト

1) 雑用水等に求められる水質

暑熱対策として散水等に水を用いる場合、どの程度の水質を満たす必要があるのかについて、国土交通省の「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）」を参照する。同マニュアルでは、下水処理水の利用用途として、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し、以下の4種類を対象としている。

①水洗用水

水洗便所においてフラッシュ用水用途に用いる水

②散水用水

植樹帯、芝生、路面、グラウンド等への散水用途に用いる水

③修景用水

景観維持を主たる目的としており、人間が触れることを前提としない用途に用いる水

④親水用水

レクリエーションとしての利用を主たる目的としており、人間が触れることを前提としている用途に用いる水

なお、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」利用として扱うとしている。微細ミストの噴霧等についてもこれに該当すると考えられる。

それぞれの水質基準を次頁に示す。

大腸菌、濁度、pH、外観、色度、臭気、残留塩素の各項目からなり、用途に応じた適切な水質が示されている。また、以下のような誤飲防止対策等を講じるよう求めている。

- ①再生水使用標示を行うこと。特に修景用水利用においては、接触による誤飲防止のため、再生水使用標示等の対策を徹底すること。
- ②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の対応により、利用者が飛沫を吸引しないように留意すること。

表 2.9 水質基準等及び施設基準（下水処理水の再利用水質基準等マニユアル）

	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		不検出 ¹⁾	不検出 ¹⁾	備考参照 ¹⁾	不検出 ¹⁾
濁度		(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	2度以下
pH	再生処理施設出口	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
外観		不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
色度		— ²⁾	— ²⁾	40度以下 ²⁾	10度以下 ²⁾
臭気		不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾	不快でないこと ³⁾
残留塩素		(管理目標値) 遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁴⁾	(管理目標値 ⁴⁾) 遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁵⁾	備考参照 ⁴⁾	(管理目標値 ⁴⁾) 遊離残留塩素0.1mg/L又は結合残留塩素 0.4mg/L以上 ⁵⁾
施設基準		砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	凝集沈殿+砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること
備考		1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培地法) 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 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	1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培地法) 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない 5) 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	1) 暫定的に現行基準(大腸菌群数1000CFU/100mL)を採用 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上乗せ基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 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及び人間が触れることを前提とししない利用であるため規定しない	1) 検水量は100mLとする(特定酵素基質培地法) 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上乗せ基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない 5) 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

地下水を飲用井戸として使う場合は、衛生管理上、以下の項目について年に1回以上検査が必要になる。

表 2.10 井戸の水質検査項目と基準値³⁷

項 目	基 準 値
一般細菌	100 個/mL 以下
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L 以下
塩化物イオン	200mg/L 以下
pH 値	5.8 以上 8.6 以下
臭気	異常でないこと
濁度	2 度以下
大腸菌	検出されないこと
亜硝酸態窒素	0.04mg/L 以下
有機物	3mg/L 以下
味	異常でないこと
色度	5 度以下

また、地域の特性や周辺地下水の状況等からトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等に代表される有機溶剤や、ヒ素などの検査を追加する必要がある。

2) 水処理の方法

地下水が有害物質に汚染されている場合は、暑熱対策としての使用から除外されるが、その他の汚濁物質等は、様々な水処理の方法が開発されている。

①鉄とマンガンの処理

地下水に溶解している鉄やマンガンを除去するには、酸化させて不溶解性として処理する方法と生物処理で除去する方法がある。鉄は空気に触れるだけでも酸化し、鉄が析出する。一方でマンガンは空気中では析出しないため、塩素などを投入してマンガン砂に通すことで除去することができる。

②活性炭による処理

通常の浄化処理では除去が困難な異臭味、色度、有機物等を活性炭の吸着特性を利用して除去する

③膜による処理

無数の微細な孔を持つ膜によって、膜を通過する際に不純物質をろ過する方法である。近年、膜処理技術の開発と利用が急速に進んでいるが、不純物質の確実な除去や浄化施設の小規模化が可能なことなどがその理由である。一方で膜の交換等、処理水量に対するコストが高いこと

³⁷ 水質基準に関する省令（平成15年厚生労働省令第101号）

などが課題となっている。

④塩素消毒

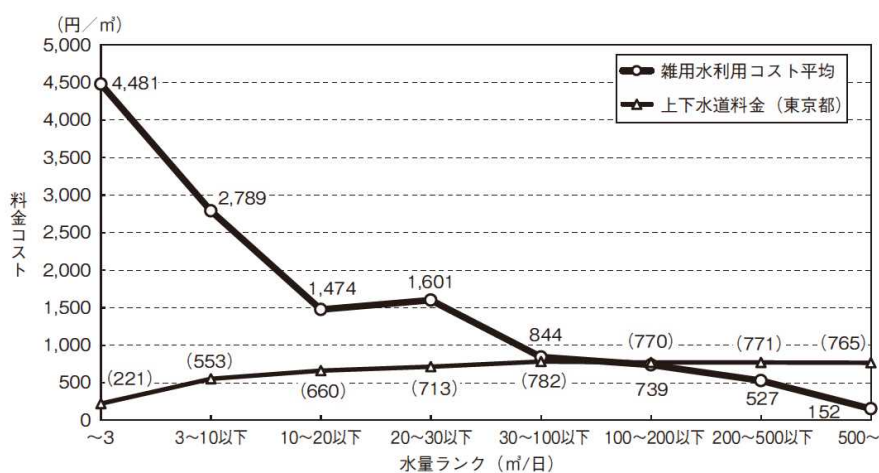
塩素剤は、原水の病原生物等の微生物に対して優れた殺菌力を持っている。人が触れたり、飛沫が口に入る可能性がある場合などは、塩素による殺菌が有効である。水道水の消毒は水道法第 22 条に基づく水道法施行規則により「給水栓における水が、遊離残留塩素を 0.1mg/L（結合残留塩素の場合は 0.4mg/L）以上を保持するよう塩素消毒すること」とされている。

⑤雨水の処理

雨水には空気中の塵や大気汚染物質などが溶け込み、また集水場所の屋根の汚れなどが含まれる。特に降り始めの雨には様々な汚濁物質が混じっており、初期雨水除去装置が有効である。雨水の水処理は、沈殿やろ過装置が基本になる。また、雨水の pH が低いケースがあるため、アルカリ剤により中和したり、塩素で殺菌することも考えられる。タンクに貯留された水に光を透過させないことも、タンク内の水質を悪化させないためには重要である。

3) 雑用水利用のコスト

雑用水利用³⁸には様々な方式があるが、下水道処理場から広域で循環させる方法や雨水のようにその場で貯留して使用する場合などがあるが、それぞれに必要な設備機器等を整備するコストや維持管理コストがかかる。水量規模別に雑用水利用コストと上下水道料金を比較してみると、水量規模が大きくなれば雑用水利用のコストが低くなる傾向にあるが、概ね 100 m³/日以下では、上水を用いる方が低コストである。



(注) 1. 国土交通省水資源部調べ (2003年度調査)
2. 雑用水利用コストは建設費 (耐用年数15年) と維持管理費から計算

図 2.28 雑用水利用コストと上下水道料金³⁹

東京都下水道局では下水再生水の使用料金は住宅を除く施設の場合、1 m³あたり 260 円 (税別)

³⁸ 雑用水利用とは、冷却用水、水洗トイレ用水、洗車、冷房用水などの用途に、水道用水と比べて質の劣る下水等の再生水や雨水などを利用することをいう。

³⁹ 国土交通省、平成 19 年度版 日本の水資源

であり⁴⁰、再生水を1月あたり2,000 m³使用した場合、水道料金（口径100 mm）と比較すると、年間約500万円のコスト削減が可能としている（東京都下水道局）

2.2.4. 賦存量（利用可能量の検討）

ここでは、暑熱対策に利用可能な量という視点で情報を整理した。

1) 上水

全国の生活用水⁴¹の使用量の推移を見ると、経済活動の拡大とあいまって、生活用水の使用量は1965年から約3倍に増加したが、1998年頃をピークに緩やかに減少傾向にある。

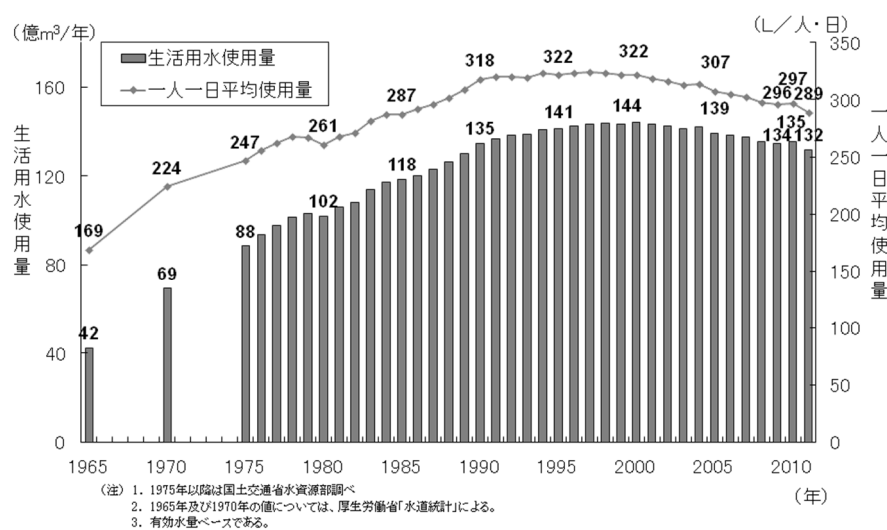


図 2.29 生活用水使用量の推移⁴²

一方で、河川水を対象とした水道用水の開発水量は増加傾向にあり、現在、120億m³を超えている。生活用水としては他に地下水を水源とするものが30億m³程度あることから、全国的には生活用水の需要を満たす供給能力がある。

⁴⁰ 東京都、再生水利用事業実施要綱

⁴¹ 家庭で使用される水を家庭用水、オフィス、ホテル、飲食店等で使用される水を都市活動用水といい、これらをあわせて生活用水と呼ぶ。

⁴² 国土交通省、日本の水資源

http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/c_actual/actual03.html

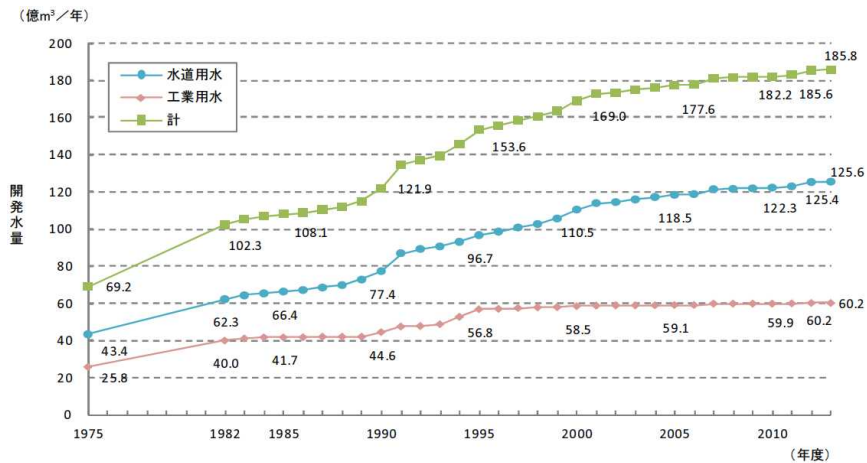


図 2.30 完成した水資源開発施設による都市用水の開発水量⁴³

東京都における水道需要についても同様に減少の傾向にあり、一日最大配水量は現在では 500 万 m³を下回っている。

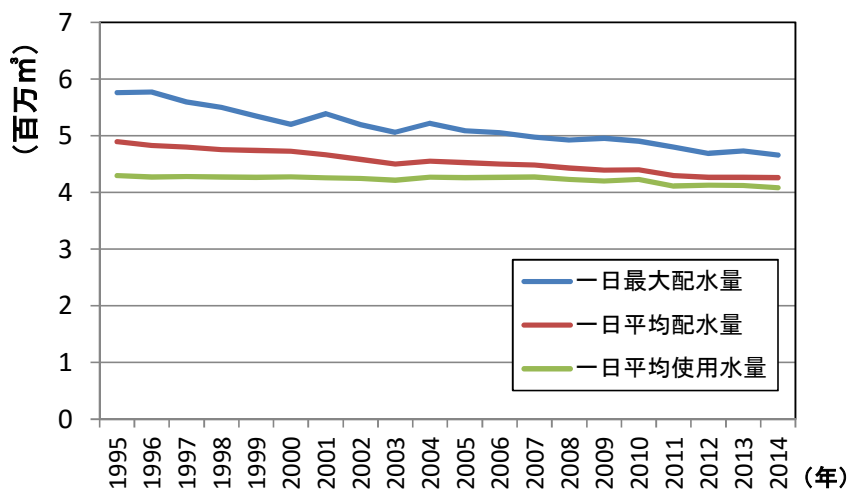


図 2.31 東京都における水道需要量の推移⁴⁴

一方、「東京水道施設再構築基本構想（平成 24 年 3 月策定）」では、一日平均使用水量は平成 30 年（2018 年）にピークを迎えるとしており、ピーク時の一日最大配水量は概ね 600 万 m³と見通している。施設の老朽化による補修工事や水質管理の強化等に伴う能力低下（日量 80 万 m³程度）を考慮すると、確保する施設能力は 680 万 m³程度とすることが示されている。

これは、現在の東京都が保有する浄水場の施設能力 686 万 m³と同程度であり、今後も同等の供給能力を維持する計画となっている。湯水期などを除いては、需要量に対して十分な供給能力を有しており、水需要が増加する夏季においても、100 万 m³程度の余裕があると考えられる。

⁴³ 国土交通省、平成 26 年度版日本の水資源

⁴⁴ 東京都水道局、事業概要 平成 27 年度版

2) 地下水

地下水の賦存量は地球上の淡水の約3割を占めるほどである。しかし、地下水の過剰な利用は地盤沈下等の様々な障害を招く。地下水障害を発生させずに利用できる量を一律に評価することは難しい。地域の地層や帯水層の状態、地覆の種類や涵養の程度、降水量などの気象条件、また過去の地盤沈下の状況等、様々な要因が影響する。

過去に、東京でヒートアイランド緩和に地下水を活用した場合の地下水水位に及ぼす影響を調査した事例⁴⁵がある。散水水源として千代田区紀尾井町の千代田区立清水谷公園の地下水を利用し、都心地域（丸の内地区と周辺地域）の保水性舗装と通常舗装箇所への散水を行っている。平成17年7月8日から同年10月31日までのうち40日間実施し、揚水または取水は、毎分20～25リットル、約10m³/日、総揚水量は406m³、取水した地下水は、原則として平日2回、1回あたり約5m³を目安に散水車に給水している。なお、給水作業では貯留タンク内の消毒のため次亜塩素酸ナトリウムを投入している。

散水は、丸の内地区は毎日、周辺地域（同公園前面）は週1回・1時間。また、揚水後、地下水位は翌日までに平衡状態に回復し、地盤沈下を生じるような兆候は把握されなかった。

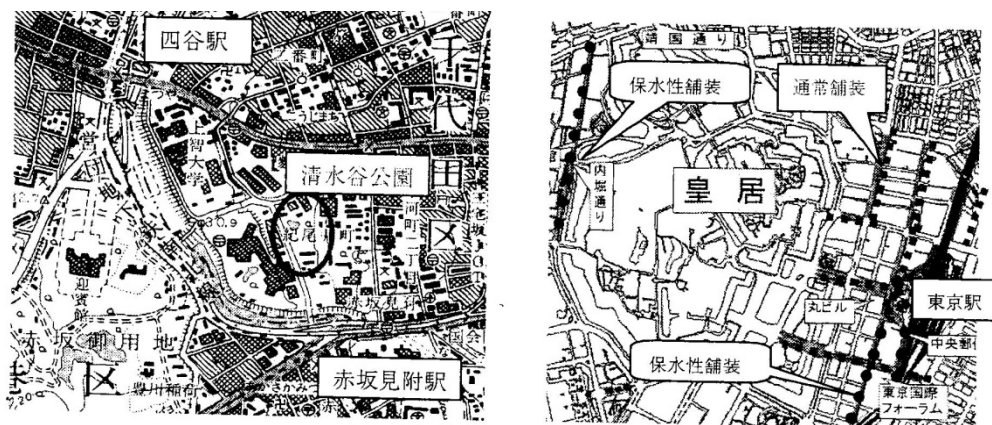


図 2.32 調査対象地域図 (左) 散水地点図 (右) ¹⁹

上の事例では、約10m³/日程度の揚水量では問題が生じなかったが、このことが東京全般に当てはまるわけではない。上述のように地下水障害を生じさせない地下水利用については、地域によって、また季節によって大きく異なり、地下水の利用可能量はケースバイケースで検討する必要がある。その際、暑さ対策に利用する場合は、法令や条例等を遵守し、水位等をモニタリングしながら地下水の状態に大きな変化がないことを確認しつつ進めることで、地下水障害等の影響がない地下水利用が可能となる。

⁴⁵ 石原成幸ら (2006) ヒートアイランド対策への地下水 (井戸水) の活用に関する実地調査、平成18年東京都土木技術センター年報

3) 地下構造物への漏えい地下水

地下構造物への漏えい地下水は、その実態が明確になっておらず、その漏えい量を正確に把握することは難しい。東京都心部における地下構造物への漏えい地下水を調査した研究事例⁴⁶⁾によれば、鉄道、道路、共同溝等のトンネルを管理する7つの事業者を対象に調査したところ、トンネル内の漏えい地下水は都心東側の地域で多く確認され、34箇所の総量は12,336.6 m³/日であった。

ただし、これらの漏えい地下水の中には、既に河川の水質浄化や水量確保などに活用されているものがあり、新しく用途を検討する対象とはならない場合がある。特に水量の多い東京駅付近の銭瓶排水所からの水については上述のように立会川に導水している。

表 2.11 都心5区のトンネル湧水⁴⁶⁾

番号	湧水地点	m ³ /日	番号	湧水地点	m ³ /日
1	新練池袋	208.8	18	大手濠	175.2
2	日暮里立杭	216	19	銭亀排水所	4500
3	下谷立杭	24	20	蠣殻町	122.4
4	根津場内	225.6	21	外苑前	76.8
5	護国寺下	79.2	22	南青山2丁目	74.4
6	上野	98.6	23	赤坂山王	74.4
7	江戸川橋	108	24	日枝神社下	168
8	飯田橋	172.8	25	国会議事堂前内	100.8
9	湯島場内	91.2	26	東銀座	120
10	水道橋駅三崎町	1830.4	27	有楽町立杭	2500
11	中野新橋	96	28	代々木公園	88.8
12	九段下駅付近	110	29	渋谷場内	74.4
13	新御茶ノ水構内	112.8	30	神谷町	76.8
14	万世橋	232.8	31	東銀座	120
15	馬喰町排水場	-	32	恵比寿	290
16	市ヶ谷	86.4	33	田町立杭	-
17	新宿7丁目	82	34	芝浦立杭	-

この他にも、建物地下部分への漏えい水などが存在する可能性はある。しかし、法規制の整理で述べたが、地下構造物への漏えい地下水については、東京都では漏えい防止策をとるよう指導しており、この水を積極的に活用していくことは想定されていない。

4) 下水再生水

下水処理水は、平成23年度(2011年度)には全国で約2,100の下水処理場から約148億m³/年が発生している。下水処理水の処理場外再利用は約310の処理場で行われており、その水量は約1.9億m³/年となっており、下水処理水の約1.3%に相当する。

⁴⁶⁾ 布田友康ら(2006)東京都心部におけるトンネル湧水活用に関する調査研究：日本建築学会関東支部研究報告書

表 2.12 下水処理水の用途別再利用状況の推移⁴⁷

再生利用用途	再利用(万m ³ /年)					再利用割合 (2011年度)	処理場数 (2011年度)
	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度		
1. 水洗トイレ用水(中水道・雑用水道等)	704	715	757	736	728	3.9%	72
2. 環境用水							
1) 修景用水	5,896	5,389	5,601	5,192	5,182	27.7%	106
2) 親水陽水	603	632	391	453	382	2.0%	19
3) 河川維持用水	5,827	6,326	5,966	5,201	5,161	27.1%	11
3. 融雪用水	3,863	3,241	4,406	4,180	3,931	21.0%	37
4. 植樹帯・道路・街路・工事現場の清掃・散水	79	471	40	75	47	0.2%	156
5. 農業用水	1,398	1,666	1,437	1,645	1,585	8.5%	32
6. 工業用水道への供給	302	243	189	162	170	0.9%	4
7. 事業所・工場へ供給	1,612	1,458	1,638	1,556	1,552	8.3%	58
計	20,284	20,141	20,425	19,200	18,738	100%	311

東京都では、区部で 462 万 m³/日、多摩地域で 94 万 m³/日の下水を処理している。最も都心部に位置する芝浦水再生センターの下水処理量は 65 万 m³/日であるが、その 0.7%にあたる 4,820 m³/日が地域内ビル等の水洗トイレ用や修景用水等として供給されている。芝浦水再生センターでは、平成 22 年 4 月には、再生水処理工程のろ過材にセラミックを用いた設備が稼働しており、再生水の供給能力は 11,300 m³/日であり、点検等の影響を考慮（供給能力の 8 割程度が現実的な供給能力）すると、供給能力に対して約 4,000 m³/日の供給余力があると考えられる（いずれも 2014 年度の数字で、芝浦水再生センターへのヒアリングによる）。

5) 雨水

雨水の利用については降水量がその目安になるが、集水できる水の量はそれぞれの被覆別の流出係数と集水面積による。利用可能な雨水量 Q (m³/月) は以下の式で求めることができる。

$$Q = 1/1,000 \times \text{流出係数} \times \text{降水量 (mm/月)} \times \text{面積 (m}^2\text{)}$$

表 2.13 被覆別の流出係数⁴⁸

被覆種類	流出係数
樹林地	0.05～0.25
芝地	0.05～0.25
水面	1.00
舗装面	0.80～0.90
建物	0.85～0.95
砂利地	0.10～0.30

例えば、1日 1 m³、月に 30 m³程度の利用を想定する場合、建物の屋根面を集水面とすると、必要な集水面積はおよそ 200 m²となる。

ただし、実際にこれを利用するには集水した雨水を貯留する施設が必要になる。この施設を地下等に埋設するための物理的な空間の制約やコストを考慮しつつ雨水の利用を進めることになる。

⁴⁷ 国土交通省、平成 26 年度版 日本の水資源

⁴⁸ (社) 日本下水道協会「下水道施設計画・設計 指針と解説」1994 年