

地域における水資源のフロー・ストックの検討について

1. 検討の目的

懇談会の中間とりまとめにおける、「都市に流入・流出する水と、都市内にストックされている水の水質や水量に関する情報を集約し、どのような組み合わせで活用すれば効率的で高付加価値の水循環系が形成出来るかについて、関係部局と連携して検討をすすめるべきである。」との記述を踏まえ、再生水の供給面では、再利用可能な下水処理水の水量・水質・処理方法について、需要面では、地域の水循環系の実態を踏まえた再生水水量・利用用途（場所、用途、必要水量等）を視野に入れ、地域における水資源のフロー・ストックにより、再生水利用を検討する際の方法論、及び地域の水循環系の中に再生水利用を位置付けるための示唆を得ることを目的とする。

2. 高付加価値な水循環系の形成の考え方

昨今、流域の水資源系の管理に関して、従来進められてきた、需要に対応して水資源施設を開発するものから、水を持続的に活用できる社会の実現と健全な水循環系の構築を目指して、水利用の円滑化・効率化、地下水や雨水、再生水の利用、水質の向上など多面的な内容を含む総合的な水資源管理に関する議論がされている¹。再生水利用もこの一環として重要な位置づけがなされている。

これまでの懇談会における議論でも、再生水利用の社会的意義・効果として、以下の表に示す事項が挙げられている。

表 1 再生水利用の意義

再生水利用の社会的意義・効果	具体的内容の例
地球温暖化対策への貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 渇水リスクの低減（適応策） ・ 熱エネルギー利用等（緩和策）
公共用水域の水質改善等への寄与	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川維持流量の確保 ・ 公共用水域へ放流する汚濁負荷削減
うるおいのあるまちづくりへの貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・ せせらぎの創出 ・ コミュニティ形成
災害に強いまちづくりへの貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害時のトイレ用水確保 ・ 消火用水の確保

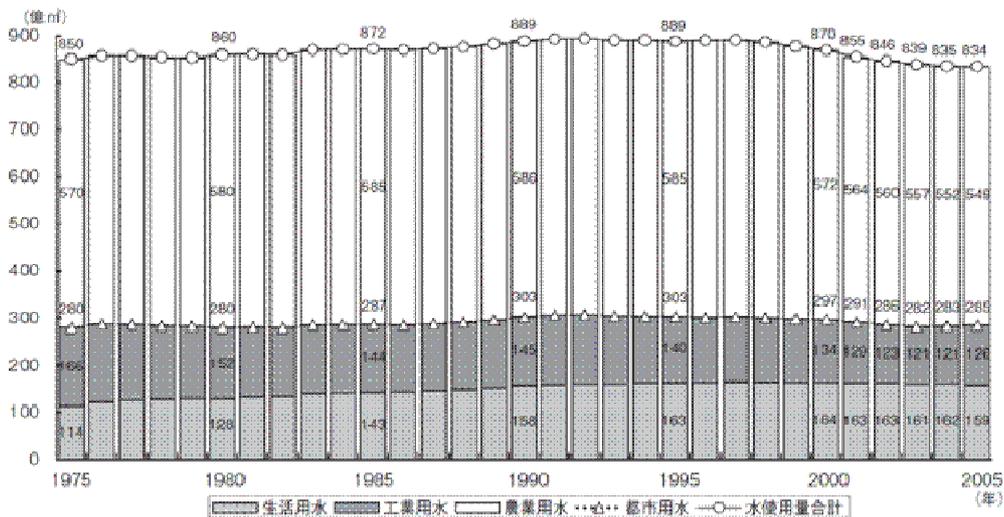
我が国の水利用は横ばいないし微減傾向である（図 1）ものの、水資源賦存量も長期的に減少傾向であり、利水安全度が低下し（図 2）、供給力が不安定になりつつあることが指摘されている。このことから新たな需要に応えるためには、水の確保が重要になっている。

流域の水循環系の中で、再生水利用は人工的な水循環系を地域規模で閉ざすことができ、適切に利用することで流域の健全な水循環系構築に寄与することが期待される。再生水は流域からの排水を原水としていることから、その創出可能な水量も莫大であり、将来の水需要

¹国土審議会水資源開発分科会調査企画部会「総合水資源管理について（中間とりまとめ）」平成 20 年 10 月

増加への対応（ただし、要求水質に依存）だけでなく、適切な用途への潜在的な需要を掘り起こし、豊かな水環境の構築に資するなど、これからの総合的な水資源管理実現のために、その役割に大きな期待がある。

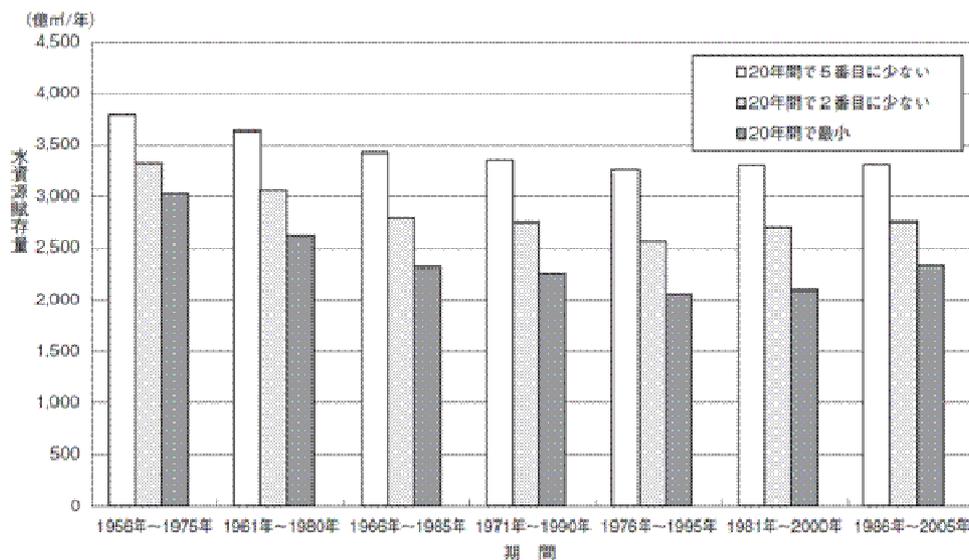
再生水利用の特性や制約条件等を踏まえ、積極的に利用することが流域の水循環系に高い付加価値を提供するものと考えられる。



(注) 1. 国土交通省水資源部の資料による取水量ベースの値であり、使用後再び河川等へ還元される水も含む。
 2. 工業用水は従業員4人以上の事業所を対象とし、排水総量である。ただし、全量事業において使用された水は含まない。
 3. 農業用水については、1981～1982年値は1989年の推計値を、1984～1988年値は1983年の推計値を、1990～1993年値は1989年の推計値を用いている。
 4. 繰越入りの関係で合計が合わないことがある。

出所：平成 20 年版日本の水資源,国土交通省土地・水資源局水資源部

図 1 水利用の推移



出所：平成 20 年版日本の水資源,国土交通省土地・水資源局水資源部

図 2 水資源賦存量の変化

3. 高付加価値な水循環形成方法の検討手順（案）

今後自治体等において、再生水を利用して、流域の水循環系を健全化する方策を検討する手順について、参考として示す。全体フロー図を p7 に示す。

（1） 現在の水需給状況等の整理

流域の現状における水需給に関して、量的側面、質的側面から充足状況を整理する。

具体的には、流域の水循環系に関する基本的事項（流域面積、流域人口、降水量、主な流域河川の流入出量等）、水需要に関する事項（表 2）等についてできるだけ定量的に把握する。その際、単なる量の充足状況だけでなく、必要とされる水質も併せて把握し、再生水利用の可能性のあるものをピックアップすることが望ましい。

また、水循環系に係る課題等についても整理する（表 3）。

表 2 現在の水需給の整理イメージ

水需要		年間 水量	既存供給水源	再生水 利用可能性
生活用水	家庭飲用	○m3	上水道	× 水質
	家庭トイレ	○m3	上水道	× 配管
	事務所飲用	○m3	上水道	× 水質
	事務所トイレ	○m3	上水道	○
	事務所散水	○m3	上水道	○
・・・				
工業用水	冷却用	○m3	工業用水道	○
	商品原水	○m3	地下水	× 水質
	・・・			
農業・水産用水	水田灌漑	○m3	河川直接取水	○
	畑	○m3	パイプライン	○
	養魚用	○m3	導水	△ 水質
	・・・			
環境用水	水路通水	○m3	河川直接取水	○
	池・噴水	○m3	河川直接取水	○
	緑地散水	○m3	河川直接取水	○
	・・・			
その他	・・・			

表 3 流域の水循環系に係る課題（例）

水量	渇水の頻発（影響期間、影響世帯数など）
水質	・水質の悪化（具体的内容） ・よりおいしい水への期待
供給施設	施設の老朽化（トラブル発生リスク）
・・・	

（2） 将来の水需給状況等の整理

将来の大規模な地域開発による水需要増加要因および水量を把握するとともに、気候変動による降雨量減少等の可能性にも留意する。

加えて、せせらぎの創出や災害時の利用など、新たな社会的要請への対応として水が必要となり、これらの需要を見込んで整理しておく必要がある。このほか、具体的な将来需要としては以下の項目が挙げられる。

表 4 再生水の利用用途と利用方法案

利用用途	利用方法
・上水道のうち、雑用水用途 (トイレ洗浄用水、散水用水等)	・建設時に上水系、雑用水系の二重配管を敷設 ・建築物までは下水処理場からの広域供給により供給
・工業用水のうち、雑用水系用途 (冷却用水、清掃用水等)	同上
・農業用水	・下水処理場あるいはサテライト処理場から、農業用水路上流部までポンプアップし、放流
・環境用水 (せせらぎ用水)	同上
・消火用水	・農業用水路に消火用水も流れている場合、農業用水と同様、水路に放流 ・給水車による防火水槽への給水
・道路散水 (夏季のヒートアイランド緩和、冬季の融雪用水)	・路上消雪装置への給水 ・路上散水車が下水処理場で給水し、散水

※下水処理場から遠く、かつ、需要に応えることのできる流量が確保できる下水道管が存在する場合は、サテライト処理施設²による送水を検討する。

(3) 再生水以外の水源による供給不足量の算定及び確保方策の検討

既定の水資源施設の整備計画及び将来想定需要をもとに需要と供給のバランスを算定するとともに再生水利用による供給可能量を見積る。

つぎに、期待される再生水利用ニーズに対応して、どのような方法で再生水を供給するかについて検討する。供給方法については、大きくわけて、下水処理場からの直接給水による方法、サテライト処理施設を設け、そこから給水する方法がある。

再生水の用途、場所、量を具体的に明らかにした上で、適切な方法を検討する。たとえば、下水処理場からの直接給水を行う場合には、給水可能距離について、経済的に見合う上限がある。サテライト処理の場合には、処理施設の建設のための場所の確保、原水を取得する幹線の特定、単独かあるいは複数のサテライト施設か、施設の建設及び維持コストなどが主な検討項目となる。

いずれの方式にしても、再生水利用を行うためには、再生水を供給する管路を整備する必要があることから、既存施設や諸設備をそのままにしたまま行うことは困難で、新規の開発や大規模な再開発などのタイミングに合わせて行うことが重要である。このため、都市計画に関連した事業計画と連動して再生水供給計画を策定する必要がある。

また、再生水以外の水源による供給が可能であっても水循環系全体として費用、エネルギー

² サテライト処理とは、下水処理場に至る前の下水道から下水を取り込む水処理施設を設置し、再生水として利用できるように処理することである。

一等の面で効率的である場合においては、再生水の利用を検討する必要がある。

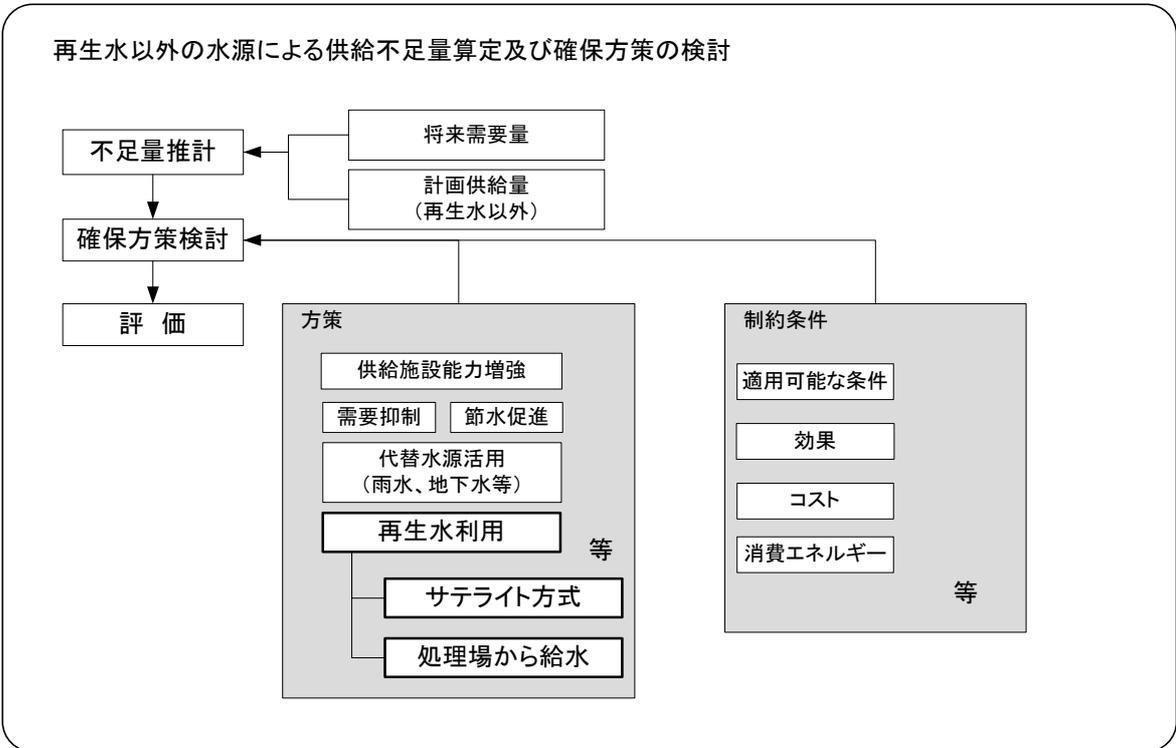
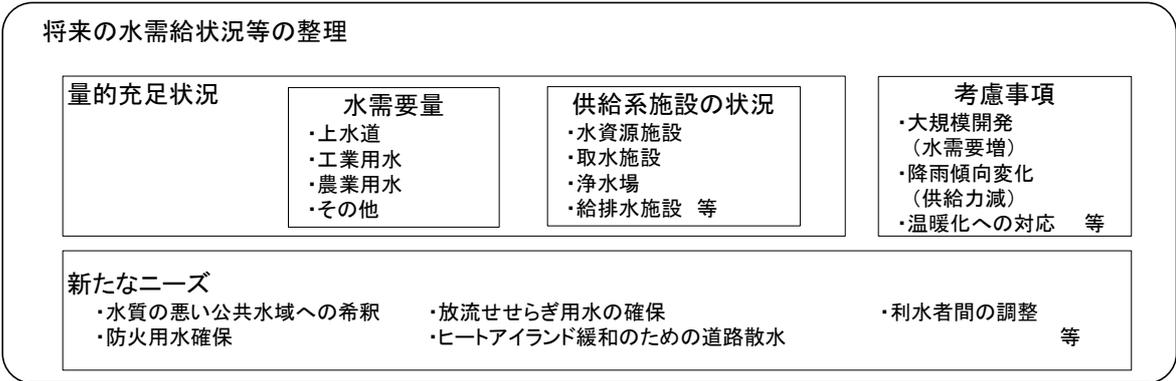
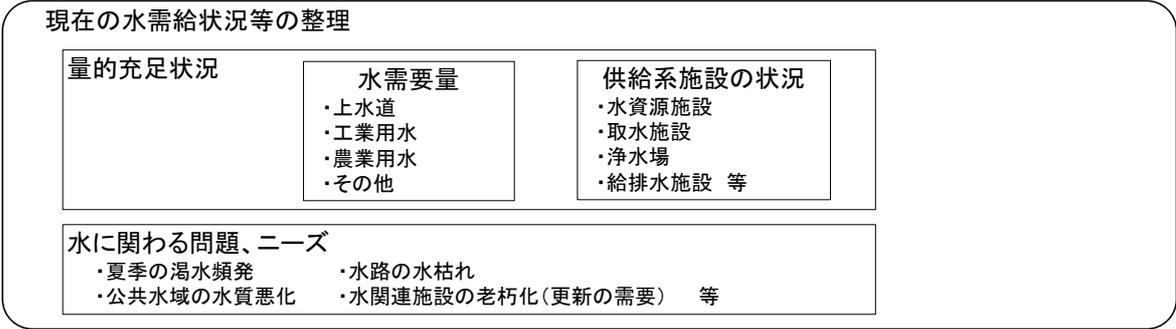


図 3 高付加価値な水循環系形成方法の検討手順

4. ケーススタディによる検討

ここでは仮想的なモデル流域を設定し、上記手順に沿って再生水利用のあり方を試行的に検討した。

(1) 検討要領

本検討では、仮想的な流域における再生水利用のシナリオを設定し、シナリオ実現のための条件、及び再生水利用の効果について検討を行った。あわせて、再生水利用の効果を単位施策別に算定し、その後複合的な施策について検討した。条件設定のための数値データは過去の調査や統計文献を参考にした。

(2) 検討の条件設定

表 5 モデル流域の条件設定

現状の水需要	①河川 流域面積：約 1700km ² 流域降水量：約 1700mm/年 蒸発散量：約 1000 百万 m ³ /年 年間流域平均蒸発散量：約 600mm/年 水資源賦存量：約 1800 百万 m ³ /年 深部地下水流出：約 180 百万 m ³ /年 農業用水地下浸透量：約 99 百万 m ³ /年 ②取水 表流水取水量：約 2,040 百万 m ³ /年 地下水取水量：約 67 百万 m ³ /年 ③放流 下水処理場放流：約 63 万 m ³ /日 行政人口：約 2.40 百万人 下水排水人口：約 2.17 百万人 下水道普及率：約 90% 雑排水放流量：約 5.1 万 m ³ /日 雑排水人口：約 18 万人 農業用水河川還元量：約 891 百万 m ³ /年 ④土地利用等 流域圏全体面積：約 700 km ² 再生水供給圏全体面積：約 13 km ²
将来の水需要	※地域の開発を予定しており、あらたに約 150 百万 m ³ /年 需要増加するものと設定した。 ①河川 流域面積：変化なし 流域降水量：変化なし 蒸発散量：変化なし 年間流域平均蒸発散量：変化なし 水資源賦存量：変化なし 深部地下水流出：変化なし 農業用水地下浸透量：変化なし ②取水 表流水取水量：約 2,190 百万 m ³ /年 地下水取水量：変化なし ③放流 下水処理場放流：約 68 万 m ³ /日

	行政人口：約 2.42 百万人 下水排水人口：約 2.37 百万人 下水道普及率：約 98% 雑排水放流量：約 1.4 万 m ³ /日 雑排水人口：約 4.8 万人 農業用水河川還元量：変化なし ④土地利用等 流域圏全体面積：変化なし 再生水供給圏全体面積：約 13 km ²	
再生水利用	トイレ用水	開発が進むにあたり、新しく建設されるビル等のトイレ用水を再生水で提供する。
	道路散水	主要道路や、ヒートアイランド現象が顕著な地域に道路散水を行い、ヒートアイランドによる気温上昇を防止する。
	環境用水	
	平常時	せせらぎ用水 再生水を環境用水として水路や河川に放流し、景観創出や水質の向上に利用する。平常時、環境用水として利用されている再生水を災害時に使用する。
	災害時	消火用水
トイレ用水		水道が復旧するまでの間（約 17 日間と想定）必要なトイレ用水の量をまかなえる量とする。
シミュレーションモデル	流域の水循環系をシステムダイナミクスでモデル化	

流域を以下のようにモデル化した。

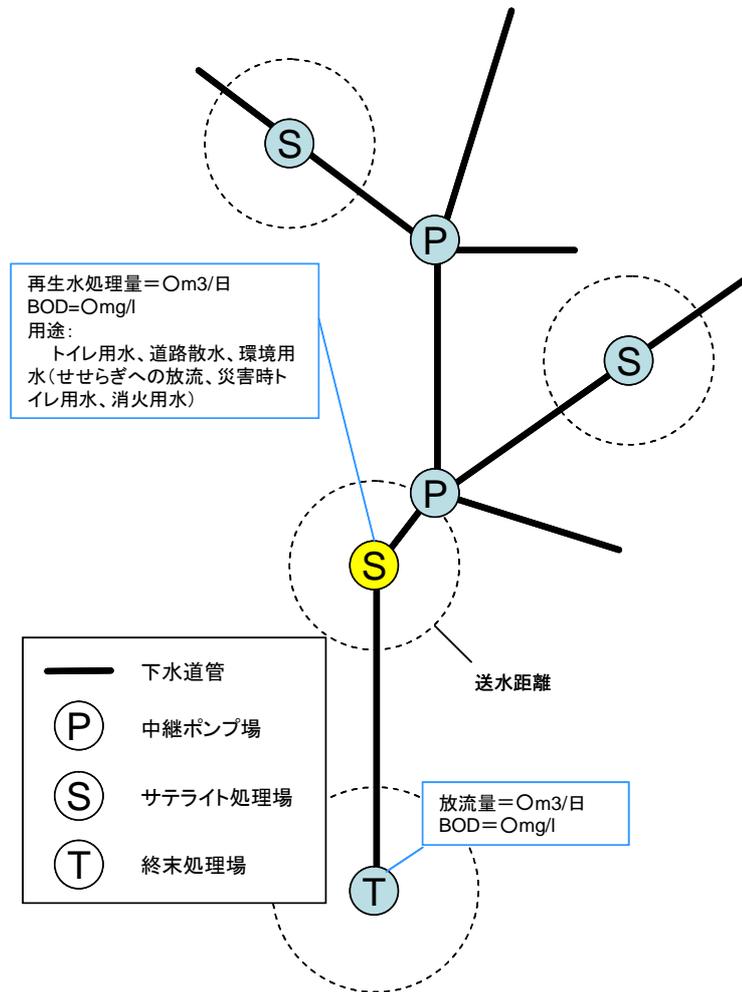


図 4 流域のモデル化

再生水利用に関する条件設定は、以下の表のとおりである。

表 6 再生水利用に関する条件設定

供給方式	サテライト方式（能力：10,000m ³ /日） （1箇所分の効果について試算）
サテライト処理場の設置場所の選定条件	<ul style="list-style-type: none"> ・下水道幹線に近い公共地（例 公園） ・近辺に再生水利用の需要がある ・下水処理場からある程度離れている ・サテライト処理場を設置するための面積が十分にある
効果の測定指標	水収支（m ³ /年）＝流入流量－流出流量 再生水利用によって期待される流域水量の増加分

（3） 水収支算定結果

シミュレーションモデルによる水収支の結果を以下に示す。

現在、約 700 百万 m³/年の水収支があるものの、将来（約 10 年後）においては、人口増加や新たな地域開発等将来水需要の拡大等により約 510 百万 m³/年になる。

これに対して、サテライト処理施設（一箇所：10,000 m³/日）による再生水供給でトイレ用水、道路散水等の用途に供給することにより、水収支が約 515 百万 m³/年に改善することが期待される。

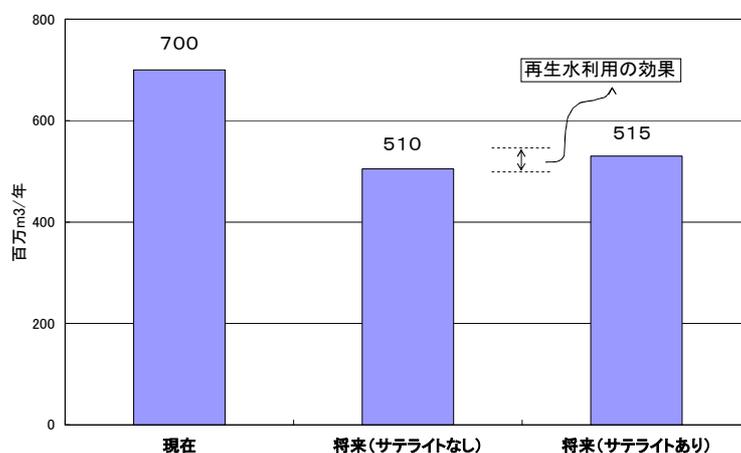


図 5 水収支計算結果

再生水利用の方法としては、新開発ビル等のトイレ用水、ヒートアイランド対策としての道路散水、せせらぎとして流す環境用水を想定している。10,000 m³/日の再生水を供給した場合、水道代替による費用削減やヒートアイランド緩和による気温低下やそれに伴う冷房費削減は以下に示す数値に相当する。

表 7 (参考) 再生水利用の効果

		水量 (m ³ /日)	効果	経済効果 (年間)
トイレ用水		1,000	13,736 人分 =1000 m ³ ÷(1人あたり使用量 7.8m ³ /日× トイレ用途割合 0.28÷30日)	2876 万円 =水道料金 394 円/m ³ (2001-20000m ³ 水道料金) ×0.2 (再生水料金を水道代 の 80%とする) ×1,000 m ³ /日×365 日
道路散水		1,000	150,000 m ² で 2.25℃低下 =2000 m ² の道路に 40m ³ /日の散水で、道路 の両側 10m分を含む 6000 m ² の地域で約 2.25℃低下するため、1,000 m ³ /40m ³ × 6000 m ²	857 万円 =0.00685kwh/m ² ・日×22.86 円/kwh× 365 日×150,000 m ²
環境用水				
平常時	せせらぎ用水	8,000	BOD 改善	—
災害時	消火用水	5,500		—
	トイレ用水	2,500	2000 人×17 日間分 =2500 m ³ ÷(1人あたり使用量 7.8m ³ /日× トイレ用途割合 0.28÷30日×17日)	—

注：再生水供給割合：トイレ用水 10%、道路散水 10%、環境用水 80%と想定

5. 考察

ケーススタディの結果、以下の事項が明らかになった。

- 再生水供給施設はサテライト処理場（一箇所）としたが、一定程度の流域水量の増加効果が確認できた。具体的には、流域面積 1.7 千 km² に対して、5 百万 m³/年程度である。
- この数値がどのような意味を持つかについては、仮想的な流域であるため説明が困難であるが、複数の実流域を対象として算定を行い、流域の規模や河川流量と対比して指標化したものをプロットするなどして、流域の特性との関係を分析することが意味を持つ可能性がある。

また、今回のケーススタディの条件設定の過程で、具体的な再生水供給施設の整備を念頭に置くと、実務的に重要な事項として以下に示すものが挙げられる。

- 再生水利用の用途はこれまでの実績からも公共性の高い用途が多く、公共主体が中心となって積極的に利用していくことが望ましい。環境用水（せせらぎ用水）や消火用水など、単なる需要への対応以上に政策課題として取り組む必要がある。
- 再生水を供給する際には、再生水によらない既存の水確保方法も含め、コストや投入エネルギー等を含め検討し、供給方法の適否を判断することが望ましい。このため、どの程度の水質、水量、利用用途をどのような方法で供給するかについては、地域の関係者間の合意形成を図ることが重要である。
- 土地利用が密に行われている地域においては、災害時にサテライト処理施設から再生水を供給することも想定し、公園等のオープンスペースである避難場所への設置について検討することが必要である。
- 既設の建築物において、再生水供給のインフラ整備（建物内の二重配管）は容易ではない。再生水利用を計画的に進めるには、効率的に供給することが可能な地域について把握しておく必要がある。再生水利用を計画する場合には、まちづくりと一体として事業を進めることが重要である。
- オープンな空間で再生水を利用する場合は、受水すれば即利用できるが、施設内などで利用する場合は、再生水の管路を敷設することが必要（二重配管）になる。このため、新規の開発などのタイミングに併せて、関連施設を整備することが重要となる。

参考 (システムダイナミクスを用いたシミュレーションモデルの概要)・・・仮想流域の水循環系のモデル化

