

再生水利用を考慮した水再生システムに関する研究

研究予算： —
研究期間：平 19～平 20
担当チーム：リサイクルチーム
研究担当者：岡本 誠一郎

【要旨】

近年、地球温暖化に伴う水循環系への影響が懸念される中で、世界的に再生水利用が注目されている。本研究では、国内の再生水利用の促進・阻害要因を分析し、気候変動、膜処理技術の普及、環境への意識の向上・再生水に対する不安感、食料自給率の向上等、今後の再生水利用に影響を及ぼしうる主要な要因を抽出した。さらに、利用促進に向けて今後取り組むべき研究の方向性について検討し、農業水利用時の要求水質、湯水時の利用転換の際の水質担保、膜処理におけるウイルス安全性やサテライト処理システムの評価について、今後の研究の必要性が高いことを示した。

キーワード：再生水利用、気候変動、膜技術、サテライト処理

1. はじめに

21 世紀は「水の世紀」とも言われており、水問題はグローバル化の方向をたどりつつある。わが国も食糧輸入等を通じて、いわゆる仮想水として大量の水を消費しており、世界的な水問題の影響を避けることは困難である。こうした中で、近年、今後の気候変動に伴う水循環系への影響等への適応策として世界的に再生水利用が注目されている。

本研究では、わが国における再生水利用の促進・阻害要因を分析するとともに、利用促進に向けて今後取り組むべき研究の方向性について検討した。

2. 研究方法

2. 1 再生水利用の促進・阻害要因に関する文献調査とブレインストーミング

本研究で対象とする「再生水」の範囲は、下水（処理水）や家庭・業務ビル等の排水に対して、利用用途に応じた処理を行い再利用する水とした。なお、雨水利用や工場排水の場内循環利用、一旦河川等に放流した水の再利用は本研究の対象外とした。

文献調査により、再生水利用を促進または阻害する主要な要因として考えられる事項を抽出した。また、要因間の構造を把握するため、所内や関係者とのブレインストーミングを行い、再生水の利用状況に影響を与えると思われる外的環境要因と内的要因（再生水利用の事業主体（下水道管理者の場合もある）自身の要因）に分けた上で、SWOT 分析の分類にしたがって、強み・弱み（内部要因）、機会・脅威

（外部要因）に区分するとともに、外的環境の変化に伴い特に影響が及ぶ主要な内部要因を特定した。

2. 2 再生水利用実施都市・地区の現地調査及び関係者ヒアリング

2. 1 で抽出した主要な要因及び影響関係も踏まえつつ、下水処理水の再利用や、地区循環・個別循環を実施している事業者等を対象に、現地調査及び関係者ヒアリングを行うことにより実態把握を行い、再生水利用に関するニーズや課題点を整理した。

2. 3 独法土研の研究の方向性に関する考察

2. 1～2. 2 をもとに、今後、再生水利用の促進を図る上で必要となる研究の視点と内容について整理するとともに、独法土研が再生水利用の分野で行うべき研究の方向性について考察を行った。

3. 研究結果

3. 1 再生水利用の促進・阻害要因について

文献検索システムも活用しつつ過去 3～4 年程度で再生水利用の促進やそれに影響を及ぼす要因に言及した総論的報文、国内外の主要な実施事例等の文献を選定した。また、再生水に関する国の政策動向に言及した文献・資料¹⁾²⁾も参考とした。これらをもとに、以下に主な要因について整理する。

(1) 気候変動による水循環への影響

気候変動に伴う中長期的な水需給バランスへの影響に言及した報文が多く見られた。IPCC 第 4 次評価報告書では、地球温暖化による気候変動が水循環系にもたらす影響として、干ばつの影響を受ける地域

の増加、洪水の増加、融雪に依存した水資源への影響などを指摘している³⁾。国内のケーススタディでも、気候変動により渇水リスクが高まる流域が多いことが明らかになっており、農業用水等への影響が懸念されている¹⁾。さらに、こうした現象は近年すでに顕在化しており⁴⁾、降雪の減少による春渇水への懸念が高まっている。

また、世界的な水循環系への影響は世界の食糧生産にも波及することは必至である。食の安全保障の観点からわが国が食料自給率を高めようとするれば、膨大な新規の水資源が必要となり、再生水の活用など水資源の効率的利用が重要になるという議論が見られる⁵⁾⁶⁾。欧州では、これまであまり再生水利用が進められていなかった地域においても、今後の気候変動による影響も勘案して、より多様な用途への再生水利用の検討を行った事例も見られる⁷⁾。

(2) 利用用途の拡大

これまで海外では再生水は灌漑用水、散水用水等に広く利用されてきたが⁸⁾⁹⁾、国内でも、沖縄や四国（瀬戸内海側）などの水需給の逼迫した地域を中心に本格的な農業用水利用など、新たな用途への適用が行われるようになってきた¹⁰⁾¹¹⁾。また、都市化・混住化の進展のなかで農業水利と都市的な水辺再生の利用調整の取り組みも見られる¹²⁾。さらに、国内

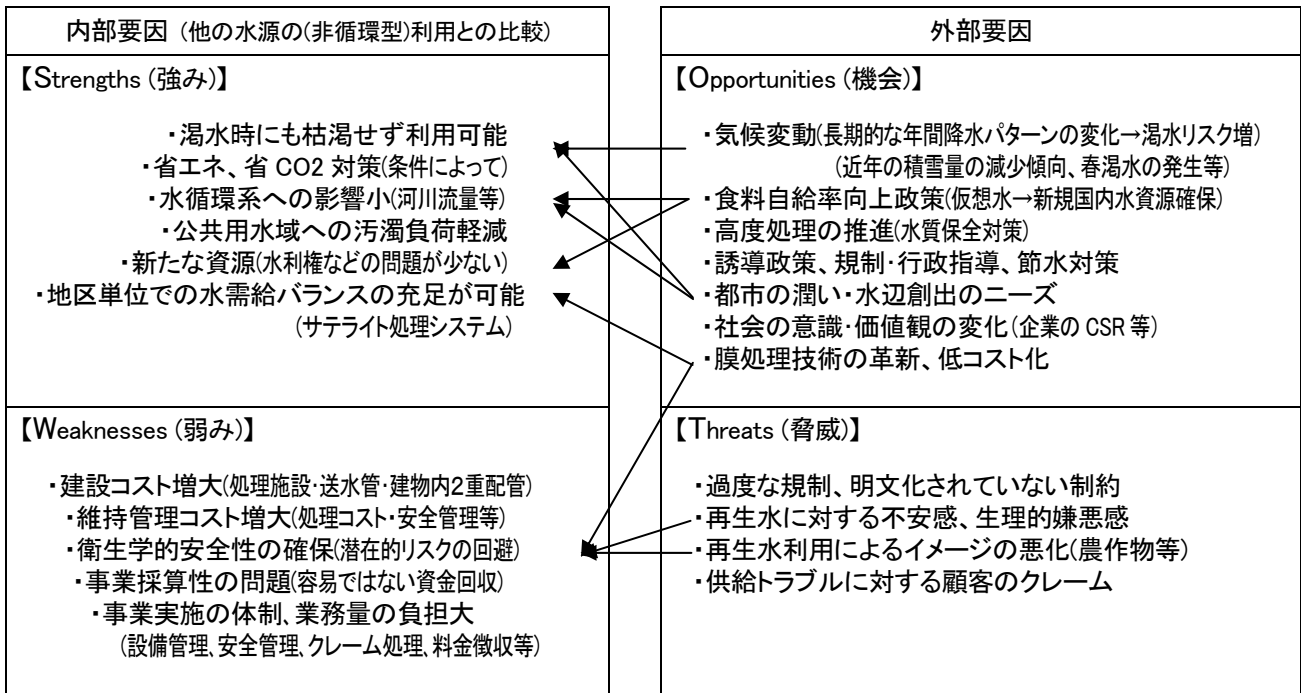
では都市内のせせらぎなど修景用水や河川維持用水など環境用水への再生水の利用実績が多いが、環境用水の持つ複合的な機能の維持・回復¹³⁾や、都市化に伴う水循環系への影響への適応策¹⁴⁾²⁾の一つとして再生水利用が注目されるようになってきている。一方、再生水の熱利用のポテンシャルや、ヒートアイランド対策としての散水利用¹⁵⁾なども注目されている。

(3) 技術革新

近年、世界的に下水・排水処理分野における膜処理技術の適用が急速に進んでおり¹⁶⁾、膜の価格も過去10年間で1/5程度となるなど大幅に低下している¹⁷⁾。膜技術による高品質の処理水は、間接的飲用も想定した地下水涵養等への用途に道を拓く⁸⁾とともに、膜の価格低下とも相まって下水道排水の再利用を分散型のサテライト処理システムで比較的容易に行うことを可能にした¹⁸⁾。本システムでは、雑用水や環境用水の利用ニーズが高い地域において、下水道管のネットワークから必要な分だけ取水・処理（発生汚泥はもとの下水道管に戻す）するため、コンパクトな施設により低コストで地域の水需給バランスを充足することが期待される²⁾。

(4) 再生水利用に対する「意識」の問題

再生水利用に対する意識の問題は、利用促進、阻害両面に影響を及ぼす重要な要因である。



← …… 外的環境の変化による主な内部要因への影響 (近年、文献等で議論されている主要なものに限って図示)

図-1. 再生水利用の主要な促進・阻害要因の分類

近年の環境問題への意識の高まりなどを背景に、再生水利用による環境面への効果（CO₂削減や水質保全上の効果など）がより明確になれば、企業のCSRの一環として利用が促進される可能性がある¹⁹⁾。再生水利用のCO₂削減効果に関する評価も進められており^{20) 21)}、ESCO(Energy Service Company)事業における省エネ対策として節水型設備の導入が行われている事例も公的部門を中心に見られるようになってきていることから²²⁾、こうした面から再生水利用の促進が図られる可能性もある。

一方で、再生水の農業利用、(間接的)飲用水利用など、人の健康に関連する用途に対しては、抵抗感、嫌悪感も強く、こうした用途への利用に向けては安全性を確保する技術的な仕組みやモニタリング体制等について十分に利用者に対して周知するなど、ユーザーとのリスクコミュニケーションが重要となる^{18) 23)}。

(5) 再生水利用の促進・阻害要因の分類

(1)~(4)をはじめ、文献等から抽出した再生水利用の主な促進・阻害要因の分類結果を図-1に示す。

なお、ここで内部要因の強み(S)、弱み(W)の判断は、仮に水道水、地下水など他の水源を非循環的に利用する場合と比較した再生水利用事業主体（下水道管理者の場合もある）としての強み、弱みとして整理した。また外的環境要因の変化に伴い主たる影響を受ける内的要因を整理し、そのうち主なものを図中に矢印で図示した。

3.2 再生水利用実施都市・地区の現地調査及び関係者ヒアリング

3.1で整理した主要な影響要因について、現場での状況や問題認識を把握するため、現地調査、ヒアリング等を行った。調査を行った都市・施設等は表-1の通りである。

以下に、現地調査結果のうち特に今後の研究方針に関連する事項を整理した。

表-1 現地調査・ヒアリング実施箇所

都市名	施設名	再生水用途
札幌市	創成川水再生プラザ	環境用水、流雪用水
東京都	芝浦水再生センター	水洗トイレ用水、環境用水、散水
香川県多度津町	水環境処理施設	農業用水、環境用水、地下水涵養
福岡市	民間中水処理施設	水洗トイレ用水
熊本市	中部浄化センター	農業用水
クラーク郡水再生地区(米国ネバダ州)	中央処理場、デザートブリーズ水再生センター	冷却用水、灌漑用水 散水用水

(1) 水需給バランス

定常的に降雨の少ない地域では全量灌漑・散水用水等に再利用するケースも多いが(クラーク郡)、国内では利用先のニーズに応じた処理水量を確保する計画の場合が多い(東京都など)。創生川水再生プラザでは処理水全量を高度処理して利用先に送水しているが、これは放流先河川の状況から河川維持用事的な性格が強いためである²⁴⁾。一方、個別・地区循環の場合は法令上の制約(ビル管理法)から、水源を厨房排水に限定しているため、水量が不足する場合があります補給水が必要となる(東京都、福岡市)。

(2) 渇水時における利用転換

平常時には再生水を修景用水、河川維持用水等に利用し、渇水時には農業用水、工業用水などに転換して利用する手法がわが国では有効と考えられた。多度津町では2007年の渇水時にこの利用転換を行い、さらに農業用水の水源である地下水の上水水源への転用を試行している。

(3) 新たな用途への適用検討

国内では再生水の農業用水利用の事例はまだ少ないが、既に供給中の熊本市、多度津町ではいずれも研究機関と連携して数年間にわたる周回調査検討²⁵⁾と利用者への周知を行っていた。沖縄県においても再生水利用による安全性の評価等の検討が進められている¹¹⁾。一方で、現状では農業用水利用に係る基準等が無いため、個々の利用事例に即して必要な検討を行わなければならない、今後の基準検討のためにもそのノウハウの蓄積と活用が求められている²⁾。

(4) 新たな処理技術、処理システムの適用

下水処理水再利用では、これまでは生物処理と砂ろ過の組合せが多かったが、最近はオゾン処理や膜処理も採用されている(東京都など)。利用先での要求水質を考慮して、より高度な処理技術が採用される傾向が見られる。これに対して、個別・地区循環施設では経済性の理由から生物処理が採用されるケースもあった(東京都区部¹⁹⁾、福岡市)が、膜処理設備のパッケージ化、低コスト化から今後は膜技術の適用が増加すると考えられる。また、CO₂排出抑制の必要性やコンパクトで高性能な膜処理技術の普及等により、水を遠くまで運ばずに出来るだけ区内で循環するサテライト処理のメリットが注目されるようになった。今後は膜処理によるウイルス等への安全性の検証や、サテライト処理システムの下水道システム全体への効果・影響など、計画論上の考

え方の整理が求められている。

3. 3 独法土研の研究の方向性に関する考察

今後、独法土研が再生水利用システムに関して取り組むべき研究として、以下の方向性が挙げられる。

- 1) 今後、利用ニーズが高くなる用途として、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」に示されていない農業用水利用において求められる水質条件、特に安全性の評価に関する研究が必要である。工業用水については、工程によって条件が大きく異なることから検討が困難な面があるが、冷却水など汎用的な用途については同様に検討する必要性は高いと判断される。
- 2) 渇水時、緊急時等における利用転換（環境用水→農業用水等）を効率的かつ円滑に推進するためには、平常時、渇水等の緊急時それぞれの用途に即した水質を担保する処理方法に関する検討が必要である。
- 3) 近年の膜処理技術の開発・普及に伴い、高品質の処理水質が従前より容易に得られる可能性が高まったことから、これまでし尿由来の排水再利用の際に課題となっていたウイルス等に関して、膜処理技術による安全性の評価を行うことが今後のさらなる普及に向けて重要である。
- 4) 膜処理技術により実現可能性が高まっている分散型のサテライト処理システムについて、コスト面以外の効果、下水道システム全体への影響、計画への位置づけの考え方を検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、国内の再生水利用の促進・阻害要因を分析し、気候変動、膜処理技術の普及、環境への意識の向上・再生水に対する不安感、食料自給率の向上等、今後の再生水利用に影響を及ぼしうる主要な要因を抽出した。さらに、利用促進に向けて今後取り組むべき研究の方向性について検討し、農業用水利用時の要求水質、渇水時の利用転換の際の水質担保、膜処理におけるウイルス安全性やサテライト処理システムの評価について、今後の研究の必要性が高いことを示した。

参考文献

- 1) 国土交通省水資源部：「平成 20 年版 日本の水資源」、国土交通省ホームページ、公表 2008 年 8 月

- 2) 国土交通省下水道部：「下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会報告書 新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて（案）」、国土交通省ホームページ、公表 2009 年 4 月
- 3) 文部科学省・気象庁・環境省・経済産業省：「IPCC 第 4 次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約（Summary for Policymakers）」、発行 2007 年 11 月
- 4) 陸奥新報：「農業用水の不足懸念 青森河川国道事務所 暖冬少雪で渇水会議」、発行 2007 年 2 月 28 日
- 5) 吉村和就：「日本版グリーン・ニューディールへの提言②」、環境新聞、発行 2009 年 2 月 18 日
- 6) 吉村和就：「水資源の破産宣告をしたダボス会議—今後二十年、世界は水資源で滅びるのか—」、月刊カレント、発行 2009 年 3 月
- 7) S. Hills, R. Birks, E. Grant and V. Aitken : “Feasibility studies of planned indirect potable reuse for augmenting future water supplies in London ”, IWA 6th conference on wastewater reclamation and reuse, 2007
- 8) 浅野孝：「—海外の水管理政策動向—（第 7 回）」、河川、748 号、70-76 頁、発行 2008 年 11 月
- 9) 山縣弘樹：「米国カリフォルニアにおける下水処理水再利用」、水環境学会誌、31 巻 3 号、140-143 頁、発行 2008 年 3 月
- 10) 田坂悦朗：「下水処理水を再利用した農業用水の確保」、農業土木学会誌、75 巻 6 号、48-49 頁、発行 2007 年 6 月
- 11) 田中宏明、浅野孝：「農業灌漑への下水処理水再利用—沖縄でのわが国初の本格的な計画—」、再生と利用、Vol.29,No.114、6-13 頁、発行 2006 年 12 月
- 12) 三野徹：「農業水利の変革と都市の水環境の再生—ソーシャル・キャピタルの形成と地域ガバナンス—」、環境技術、36 巻 2 号、2-8 頁、発行 2007 年 2 月
- 13) 秋山道雄：「環境用水の性格と機能」、環境技術、36 巻 2 号、9-13 頁、発行 2007 年 2 月
- 14) 国土交通省・(社)日本下水道協会：「水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について」、下水道政策研究委員会流域管理小委員会報告書、発行 2007 年 11 月
- 15) 中島義成：「よみがえる水—東京都における「下水処理水」の更なる活用について—」、水環境学会誌、31 巻 3 号、125-129 頁、発行 2008 年 3 月
- 16) Hiroki Itokawa, “State of the Art of MBR Technology and Its Perspective in Japan”, 5th Japan – United States Joint Conference on Drinking Water Quality Management and Wastewater Control, 2009

- 17) Pinnekamp J. and Friedrich H. “Membrane Technology for Waste Water Treatment”, FiW Verlag, Aachen. 2006
- 18) Asano, T., F. Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi, and G. Tchobanoglous: “Water reuse: Issues, technologies, and applications. McGraw-Hill, New York. ”, 2007
- 19) 国土交通省下水道部：「下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会」第2回資料3、議事要旨、国土交通省ホームページ、2008
- 20) Dawn Taffler, Dawn Lesley, and Alan Zelenka : “Hidden Potential Recycled water and the water–energy–carbon nexus”, Water Environment & Technology, Vol. 20, No. 11, pp.34-41, 2008.11
- 21) 国土交通省下水道部：「下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会」第6回資料4、国土交通省ホームページ、2009
- 22) 資源エネルギー庁、(財)省エネルギーセンター：「ESCO 導入事例リスト 2007 年度」、パンフレット、2007
- 23) G. W. Miller : “Public acceptance: The greatest barrier to widespread water reuse”, IWA 6th conference on wastewater reclamation and reuse, 2007
- 24) 札幌市建設局：「高度処理水の有効利用(せせらぎの回復)」、パンフレット
- 25) 熊本市経済局農林水産部：「公共下水道処理水現地実証試験調査報告書」、1985.2
- 26) 南山瑞彦：「下水処理水の再利用促進に向けて」、水環境学会誌、31 卷3 号、120-124 頁、発行 2008 年3 月

【英文要旨】

Study on the Direction of Research on Water Reclamation Systems

Abstract: This study aims to clarify the direction of research for promoting the use of reclaimed water. Key factors influencing utilization were identified by a literature search, then major research areas were specified through field surveys and interviews. The results revealed that key research issues to be focused on include: water quality required for agricultural use, water quality management for altering reclaimed water usage during a drought, epidemiological assessment of membrane treated water, and evaluation of satellite treatment systems.

Keywords: water reuse, climate change, membrane technology, satellite treatment system