

分散型水供給システムのエコデザインによる評価

多田律夫¹・三浦浩之²・和田安彦³・大山秀格⁴

¹正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社第四設計部 (〒532-0004 大阪府大阪市淀川区西宮原1-8-29 MB34)

²正会員 博(工) 関西大学専任講師 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

³正会員 工博 関西大学大学院教授 工学研究科 (同 上)

⁴学生会員 関西大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (同 上)

近年、環境に調和した公共事業が要求されている。そこで、都市の自己水源として雨水と生活雑排水を活用することのメリットを評価した。雨水利用は屋根雨水利用と雨水貯留施設を活用した貯留水利用である。雑排水利用は浴室排水、手洗い用水の処理水を利用する水のカスケード利用である。雨水や生活雑排水を活用するために必要な諸施設の建設と運用における環境負荷を対象として定量し、エコデザインによる事業評価を行なった。その結果、本論文で対象とした高度浄水供給地域では上水給水量、下水処理量削減等による資源消費減少面、環境負荷削減面において屋根雨水利用システムが効率的であった。

Key Words : Eco-design, treated water flow back system, public works

1. はじめに

都市では水資源を離れた場所にある水源地での降水に求める一方で、都市域への降水はほとんど利用しないで下水道等によって公共用水域に排除している。この都市の水循環の基本構造が、環境に負担をかける原因の一つとなっている。都市における健全な水循環系の確保のために、都市への降水、下水処理水の積極的な利用が取り組まればはじめ、これを水洗用水、防災用水等の雑排水として活用する事業が各地で見られるようになった^{1,2)}。しかしながら、雨水を雑排水として利用していくには、少雨等の気象変動の影響が大きいという自然条件の特徴を考慮した上で、その利用を検討する必要がある。

一方、近年の地球環境問題の高まりの中で、持続可能な発展 (Sustainable Development) の視点が公共事業にも必要となっており、自治体の環境保全行動計画においてそのことが明文化されつつある³⁾。したがって、ある環境改善事業の環境面での実施効果が高く、市民の満足度が高くても、ライフサイクルの環境負荷が大きくなることは避けなければならない。公共事業の実施方策選択において、複数代替案から、より実施価値・市民満足度等が高く、かつ、ライフサイクル全体での環境負荷の少ない案を採用するというエコデザインによる事業選択が必要となっている。

また、健康危機管理への関心の高まりや水道水の

異味臭問題などにより、「安全でおいしい水の確保」が求められている⁴⁾。このような状況の中で、安全で良質な水道水の供給を目的に、各地で高度浄水施設の導入^{5,6)}が進められている。一方で、これらの高品質の水を雑排水に用いることは、投入したコスト、生じる環境負荷に対して価値の低い利用をしているというオーバークオリティな利用という側面も有している。雑排水に雨水や処理水を活用し、飲用水や身体に直接接する水に限定して高度処理水を供給できれば、投入コスト・環境負荷に応じた利用ができる。さらに、より飲用水の水質レベルを高めることへの障害も少なくなる。

本研究では、高度浄水が導入された地域を対象に、雨水と処理水の活用による水資源分散型の都市システムの導入効果と導入に伴う環境負荷を定量して、複数の代替案を相対評価することにより事業導入の評価をエコデザインによる総合価値指標を用いて行った。

2. 評価方法

(1) エコデザインによる製品の総合価値指標

山本らによるとエコデザインは製品と生産プロセスの設計において、環境的配慮をどう取り入れるかに焦点をあてている。エコデザインは、コスト

(C: 製造コスト, リサイクルコスト等, ライフサイクル全体でのコスト), インパクト(I: 地球温暖化, 資源枯渇など地球環境に与える影響), パフォーマンス(P: 利便性, 顧客(市民)満足度など)の3要素で評価でき, 製品の価値は $P/(C \cdot I)$ で示される¹⁰⁾. そして, P を最大にして, C と I を最小にすることでエコデザインが達成できる.

環境改善・創造型の社会資本整備において, 効果は高いがコストと環境負荷が多くなる, あるいは, 環境への負荷は少ないが高コストであるといったトレード・オフの関係が生じる場合がある. このようなトレード・オフ問題を解決するためには, 将来的には整備手法自体の技術革新(低環境負荷技術・低コスト)が必要である. 現段階で重要なことのひとつとして, 事業実施者が事業に関連する情報を提供し, 事業実施により便益を得る市民と協議を行い, トレード・オフの関係にある事業に対して, 得られる効果と環境負荷, 費用のバランスを如何にとるかを決定することである.

本研究では, パフォーマンスとインパクトから各方策の総合価値指標を次式により評価する.

$$ED_A = P_A / (C_A \cdot I_A) \quad (1)$$

ここで, ED_A : 方策 A のエコデザインによる総合価値指標, P_A : 方策 A のパフォーマンス, I_A : 方策 A のインパクト, C_A : 方策 A のコストである.

したがって, この総合価値指標が大きい程, 事業の価値は高いことを示す.

(2) パフォーマンスの評価

製品におけるパフォーマンスとは, ライフサイクルにおける製品性能の重み付けの総和であり, 製品性能は利便性, 寿命, 付加価値等である¹⁰⁾. これを公共事業に応用すると, パフォーマンスは事業によりもたらされる利便性, 得られる環境レベル等であり, これらは市民満足度としても評価できる. 本研究の対象とする水資源分散型都市システムのパフォーマンスは, 市民満足度と上水代替率(上水消費量の削減率)で評価した.

なお, 処理水の雑用水利用に対して市民の不満はほとんど見られないため¹¹⁾, ここでは上水代替率を主としてパフォーマンスの指標として評価した.

(3) インパクト分析による評価

a) ライフサイクル環境負荷の評価

本研究の評価対象は環境改善事業の建設, 運用・維持管理とし(表-1), 評価項目は CO_2 , エネルギー消費量, NO_x , SO_x とする. 貯留槽等の土木構

表-1 本研究の評価対象

	建設時環境負荷	運用時環境負荷
共通	配水配管の建設	配水ポンプの運用
屋根雨水利用	貯留槽建設 貯留槽・処理槽 建設に伴う掘削	
路面排水利用	貯留槽建設 貯留槽・処理槽 建設に伴う掘削	中水ポンプ製造 中水ポンプ運用
処理水再利用	貯留槽建設 貯留槽・処理槽 建設に伴う掘削	処理槽運用

造物の耐用年数は 45~50 年であり, ポンプ等の機械設備は 10~15 年である. 本研究では耐用年数を土木構造物は 45 年, 機械設備は 15 年とし, ライフサイクル期間の環境負荷を耐用年数で除し年間当りの環境負荷で算出した. ここで, 環境改善事業の導入に伴い排出される環境負荷の算出には既往研究で用いられている原単位を使用し^{12),13)}, 明らかでない項目については, 土木工事に伴う環境負荷¹⁴⁾の項目毎の比率を基に算出した. 高度浄水給水における環境負荷は, 氾濫による水の排出原単位に高度浄水施設建設, 運用に伴う環境負荷¹⁵⁾を加え, 単位給水量当りの環境負荷原単位として用いた¹⁶⁾. 下水処理における環境負荷は, 単位下水処理当りの環境負荷原単位を用いた¹⁷⁾.

b) インパクト分析

インパクト分析として, ライフサイクル環境負荷を「インパクトカテゴリー毎に分類」し, 「特性評価」を行い, 一つの指標に変換して「総合評価」を行うという 3 段階からなる手法が検討されている.

本研究では, インパクトカテゴリーとしてエネルギー消費, 地球温暖化, 酸性雨, 大気汚染を対象として評価した. ここで, インパクトカテゴリー内の重み付けには, 永田らによる値を用いた¹⁸⁾.

$$A_j = \sum (C_{jk} \times TQ_k) \quad (2)$$

$$CP_{bj} = \sum (C_{jk} \times Q_{bk} / A_j) \quad (3)$$

ここで, CP_{bj} : i 製品あるいは事象の統合化指標, A_j : 年間総負荷, C_{jk} : j カテゴリー内の k 項目の重み付け係数, TQ_k : k 項目の年間投入・排出量, Q_{bk} : i 製品あるいは事象における k 項目の投入・排出量

なお, 本論文で対象とする様な建築物の場合, ライフサイクル全体でコストと CO_2 排出量に相関が見られ¹⁹⁾一方のみで他の指標を表現できる. また, 人件費, 維持管理費等, コストには不確定な部分がある. 以上の2点から, コストは評価から除外した.

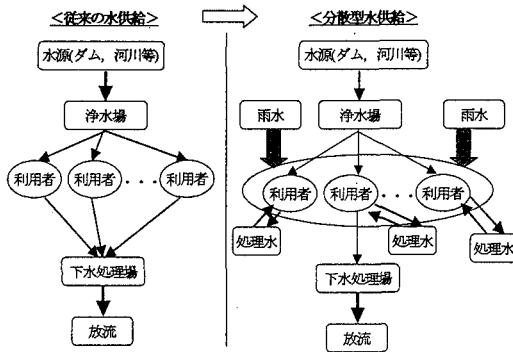


図-1 分散型水供給都市のイメージ図

表-2 対象地域の概要

対象地域面積	10 ha
可住地面積率*	0.7
可住地人口密度*	10,000 人/km ²
一戸建て 延べ面積**	115 m ² /建物
集合住宅 建物階数**	5 階数
延べ面積**	48.5 m ² /世帯
	3 人/世帯
水使用量	345 ℓ/人/日

*地域経済総覧'99：東洋経済新報社

**平成7年国勢調査編集・解説 世帯と住居、p.106～107、全国の持ち家における1世帯当たり延べ床面積

3. 分散型水供給都市

分散型水供給都市のイメージ図を図-1 に示す。

(1) 分散型水供給システムの導入を想定した地域

本研究では、高度浄水処理が導入された地域を対象として雑用水を水洗用水として利用する4つの方策を検討した。①生活用水の中で比較的汚濁の少ない浴室排水、手洗い用水を合併浄化槽等を用いて処理し、処理水を水洗用水として利用、②屋根雨水を建物毎に貯留し水洗用水として利用、③路面排水を雨水貯留施設において貯留し、貯留水 BOD 濃度 10mg/l 以下の場合のみ水洗用水として各家庭に配水、④屋根雨水と路面排水を水洗用水として利用。ここで、路面排水は集合住宅のみに配水することとした。これらを水洗用水として再利用することによる分散型の水供給システムを導入することを検討し、事業導入の評価を行った。対象とした地域は平成10年7月より高度浄水が導入された大阪府内(豊中市、吹田市)とした。想定した地域の概要を表-2 に示す。

表-3 用途別使用水量の割合、流出係数

	割合	流出率
水洗用水	0.21	1.0
厨房	0.26	0.9
風呂	0.21	1.0
手洗い	0.08	1.0
洗濯	0.24	0.9

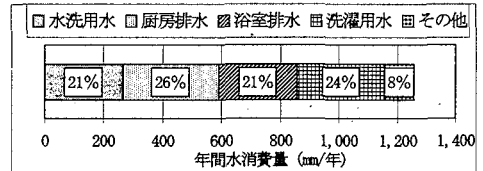


図-2 対象地域の年間水消費量

表-4 年間降雨の概要

	年	総降雨量	降雨回数
多雨年	1990	1744mm	98
少雨年	1994	723mm	76
平均降雨年	1996	1281mm	89

(2) 対象地域における水消費量

対象地域における水消費量は、使用水用途を5種(水洗用水、浴室排水、厨房、洗濯用水、手洗い)に区分し、各用途別使用水量を給水量原単位と用途別使用水量の割合及び流出係数²¹⁾を用いて算出した(表-3)。対象地域の水消費量を図-2 に示す。

(3) 分散型水供給システム導入に伴う利用可能水量

雨水、処理水を雑用水(水洗用水)として安定的に供給可能かどうかについて評価した。雨水を雑用水として利用するには、少雨等の気象変動の影響が大きいという自然条件の特徴を考慮した上で、その利用を検討する必要がある。

a) 前提条件

気象変動を考慮し年間時系列の降雨データを用いて再利用可能な水量を定量した。年間の降雨データには大阪管区気象台における過去10年間の降雨データから多雨年、少雨年、平均降雨年を抽出した(表-4)。処理水は常時安定供給できるとした。ここで、筆者らは²²⁾貯留容量を水洗用水使用量の6日分とした場合、雨水の利用効率を高く維持できることを明らかにした。そこで、本研究の雨水の貯留容量も上記と同様とした。処理水の貯留容量は多少の余裕を見込み水洗用水1日使用水量の2日分とした。

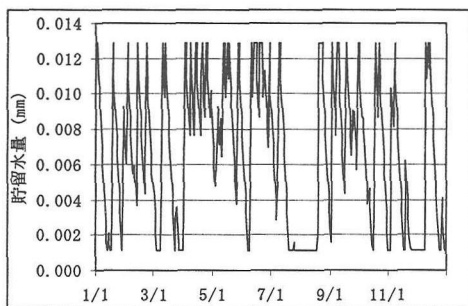


図-3 貯留槽貯留水の経時変化
(戸建て住宅一戸当たり, 1994年)

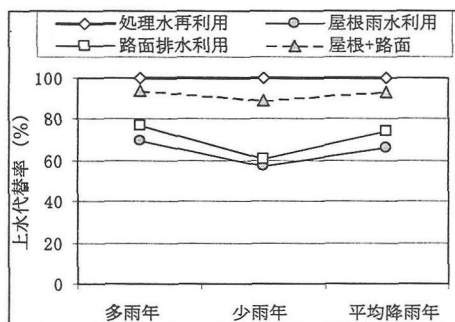


図-4 各方策別の上水代替率

b) 利用可能水量の算出結果

年間時系列による貯留槽貯留水の経時変化の一例を図-3に、各方策の上水代替率を図-4に示す。

なお、上水補給開始条件を水洗用水使用量の1日分とした。

「処理水再利用」の上水代替率は年間降雨量に関わらず100%、「屋根雨水+路面排水利用」では約90%以上である。一方、「屋根雨水利用」、「路面排水利用」では少雨年時に大きく低下する傾向にあり、雨水利用のみで水洗用水を安定的に供給することは困難である。

(4) 分散型水供給システム導入に伴うパフォーマンス評価

利用者側からすれば、利用用途に合致した水質の水が安定供給されれば雑用水利用に対する満足度は、従来の上水給水と変化はないと考えられる。そこで、本研究ではパフォーマンスによる評価値を各方策導入前と同じ1.0とした。

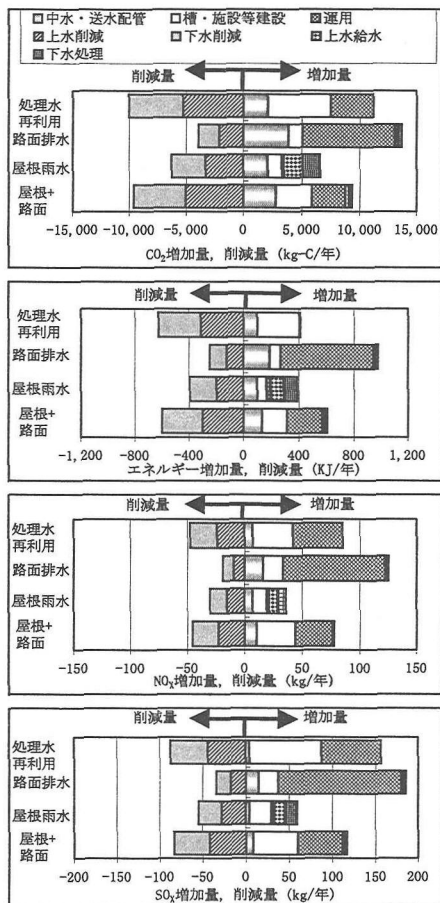


図-5 各方策の導入に伴う環境負荷

4. 分散型水供給システム導入に伴うインパクト分析

(1) 環境負荷の評価

各方策の導入に伴う環境負荷の算出結果を評価項目別に(図-5)示す。

路面排水を利用した場合が最も環境負荷が大きい。これは、雨水貯留施設から各家庭へポンプを用いて導水しているためであり、ポンプ運用に伴う環境負荷は、路面排水利用の導入に伴い排出される環境負荷の6~8割を占めている。

処理水再利用の場合、上水給水量、下水処理量の削減に伴って削減される環境負荷は多いが、施設建設、運用に伴う環境負荷も多く、トータルではこの方策を導入することで、環境負荷が多くなる。「屋

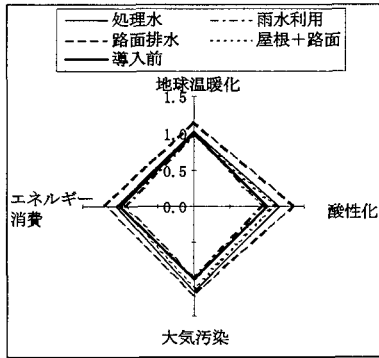


図-6 各方策のインパクト分析結果の相対比較

表-5 エコデザインによる評価

処理水	屋根雨水	路面排水	屋根+路面
0.91	1.05	0.81	0.95

根雨水利用」，「屋根雨水+路面排水利用」に伴う削減量と増加量は，ほぼ同程度である。

(2) 環境負荷のインパクト分析

環境負荷のインパクト分析を行った。インパクト分析結果の相対比較を図-6 に示す。ただし，エネルギー消費についてはインベントリー分析の結果を用いる。

「屋根雨水利用」以外の方策では，現状とほぼ同様に上回っている。再利用先の使用水量が全給水量の2割程度であるため，各方策を導入すると現状より地球環境への負荷が大きくなる。ここで，各方策導入前のインパクト分析を1.0とした。

5. エコデザインによる総合価値評価

各評価をまとめて表-5 に示す。全ての指標で評価値が大きい方策ほどエコデザインが優れていることを意味するが，今回の設定条件においてエコデザインによる総合評価値が優れているものは「屋根雨水利用」であった。「処理水再利用」の上水代替率は年間降雨量に関わらず100%，「屋根雨水+路面排水利用」では約90%以上であるが，各方策導入にともなう環境影響が大きく総合評価値は低くなった。今後，分散型水供給システムのエコデザイン化を進めるには，事業実施に伴う環境負荷をより少なくすることと，事業のパフォーマンスをより高めることが必要である。すなわち，各方策実施後の運用

に伴う環境負荷を少なくし，市民満足度を高めることが必要である。

6. まとめ

本研究では，高度浄水が導入された地域を対象に，雨水と処理水の活用による水資源分散型の都市システムを導入することを検討し，その導入効果と導入に伴うパフォーマンス，インパクト分析を行い，エコデザインの総合価値指標により事業導入の評価を行った。その結果，屋根雨水を水洗用水として利用する方策が，最もエコデザインの総合価値指標が高く他の方策より優位であった。今後，公共事業実施において複数の代替案から事業選択を行う場合には，本研究で検討したように事業導入に対する環境面からの評価だけでなく，コスト面からの評価，エンドユーザーである住民との合意形成の基，事業を選択していく必要がある。また，住民に対して実施事業に対する正しい情報(メリット，デメリット)を提供する必要がある。

謝辞：本研究を進めるに当たり，種々の面から協力を得た尾崎平氏(現中央復建コンサルタンツ株式会社)，竹村仁志氏(現八千代エンジニアリング株式会社)に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森岡泰裕：下水道地震対策はどのように確立されてきたか，月刊下水道，Vol.20，No16，pp.2-8，1997。
- 2) 高橋義明：雨水管渠の滞留水を災害時の消防水利として利用，月刊下水道，Vol.20，No16，pp.57-60，1997。
- 3) 永野義一：雨水貯留管と緊急時の活用計画，月刊下水道，Vol.20，No16，pp.61-64，1997。
- 4) 奥村晴雄：雨水流出抑制と緊急時の水源利用—神戸市住吉公園雨水貯留施設について—，月刊下水道，Vol.20，No16，pp.68-71，1997。
- 5) 新井昌一：雨水調整池の水利用，月刊下水道，Vol.21，No7，pp.25-28，1998。
- 6) 那須井幸一：望ましい水循環に向けて—水循環マスタープランの策定と雨水利用—，月刊下水道，Vol.21，No7，pp.15-17，1998。
- 7) 今田俊彦，萩原良巳，佐々木一春，小泉明，山田良作：需要者ニーズによる配水管理目標の設定に関する分析，水道協会雑誌，第64巻，第8号，pp.34～46，1995。
- 8) 滝沢優憲：東京都金町浄水場における高度浄水処理導入の経緯，水道協会誌，Vol.67，No.12，1998。

- 9) ぐらしの水府営水道のあらまし, 大阪府パンフレット.
- 10) 山本良一: 戦略環境経営エコデザイン, ダイヤモンド社, 1999, 12.
- 11) 杉本留三, 荒巻俊也, 松尾友矩: 雑用水利用の現状分析と課題に関する考察, 土木学会論文集, No.594/VII-7, pp.85-93, 1998.5.
- 12) 社団法人環境情報科学センター: 製品等による環境負荷評価手法等検討調査報告書, 1999.
- 13) 多田律夫, 三浦浩之, 和田安彦, 大山秀格: 水自給型都市構築システムの環境効率評価, 水環境学会誌, Vol.23, No.220, 2000.
- 14) 轟巻峰夫, 野池達也: LCA における多項目環境負荷量の定量化に関する研究, 環境システム研究, Vol.25, pp.217-227, 1997.
- 15) 水道と地球環境を考える研究会: 地球環境時代の水道, 技報堂, 1993.
- 16) 轟巻峰夫, 野池達也: ライフサイクルアセスメントを適用した排水処理の評価に関する研究, 環境システム研究, Vol.24, pp.272-281, 1996.
- 17) 轟巻峰夫, 藤岡荘介, 内藤弘: 下水道終末施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について, 第4回地球環境シンポジウム講演集, pp.57-62, 1996.
- 18) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, (財)地球環境産業技術研究機構, (社)化学工学会: 環境負荷分析におけるインパクトアセスメントに関する調査, 1997.
- 19) 高瀬知章, 杉浦康久, 野呂田洋, 柴田理: 集合住宅における省資源・省エネルギー手法の検討と評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.563-564, 1994.
- 20) (社)空気調和・衛生工学会: 雨水利用システム設計実務, p.38, 丸善, 東京, 1997.
- 21) 和田安彦, 三浦浩之, 村岡治道: 雨水利用中水道システム導入による都市水循環適正化の研究, 土木学会論文集, No.578/VII-11, pp.27-36, 1998.2.

A STUDY ON THE EVALUATION OF ECO-DESIGN OF HIGH-LEVEL PURIFICATION OF DRINKING WATER BY RESIDENTS IN THE CITY

Ritsuo TADA, Hiroyuki MIURA, Yasuhiko WADA and Hidenori OYAMA

Recently environment-friendly public works are demanded. We evaluated an advantage of the utilization of rainwater and treated domestic wastewater in urban area. The rainwater utilization is the use of rainfall on the roofs and collected runoff storm water in the storm water reservoir for flood controls. In the reuse of treated domestic wastewater, wastewater from the raw sewage is not reused. That is "Domestic Water Recycling System". Water dispersion system (the use of rainfall on the roofs recycling system) are effective in the decrease of the resources consumption and the environmental loads.