

高速道路サービスエリアにおける環境低負荷型トイレ導入に関する LCAおよび費用便益評価

首都大学東京 都市環境学部 学生会員 ○山岸 仁美
首都大学東京 都市基盤環境学域 正会員 中川 直子
首都大学東京 都市基盤環境学域 正会員 河村 明
首都大学東京 都市基盤環境学域 正会員 天口 英雄

1. はじめに

高速道路におけるサービスエリア・パーキングエリア(以下 SA・PA)は、「駐車場」「トイレ」「電話」「園地(休憩スペース)」を基本施設として、またこれらに付帯する形で「飲食施設」「物販施設」等が整備されており、大多数の国民が使用することから、快適・清潔・安全であり、かつ環境に負荷を与えないことが要求されている。関東・新潟・東北・北海道における NEXCO 東日本の約 300 ヶ所の SA・PA では、近年多様な水回り改善が進められ、これらの施設の快適性は高い水準で維持されており、利用者の評価も高い。しかし、24 時間稼働していると同時に設備規模が大きいことから、水消費量、電力消費量およびこれらに伴うコストが膨大であることが問題となっている。これまで著者らによって、高速道路 SA・PA における水消費量、エネルギー消費量、そして汚濁負荷排出の大きいトイレ施設に着目し、トイレ水道使用量の削減と、人尿を回収し肥料化が可能である尿分離型トイレおよび男子用無水小便器などの環境低負荷型トイレを導入した場合の、水消費量、エネルギー消費量、そして汚濁負荷量の削減効果およびそれらに伴うコスト削減効果を試算した^{1),2)}。しかしこの試算結果はこれらの環境低負荷型トイレ導入後の試算であり、このうち、エネルギー負荷やコスト試算に関しては導入後だけでなく、本システムの導入時から考慮して試算する必要がある。

そこで本研究では、LCA 手法を用いて環境低負荷型トイレの導入部分である、従来トイレの廃棄、トイレの製造・輸送・設置や回収した尿尿を貯留するタンクの製造・輸送・設置および尿尿の輸送にかかるエネルギー消費量を求め、従来のシステムに本システムを導入した場合のペイバックタイムの計算を行い、それらに関する費用便益評価を行った。

2. 対象施設の選定と現状データ

試算を行う対象施設は、NEXCO 東日本の SA・PA の中から表-1 に示す美野里 PA・守谷 SA・海ほたる PA の 3 施設とし、環境低負荷型トイレ導入時のエネルギー負荷およびコストを試算する。美野里 PA は浄化槽処理を行っている中規模施設であり、環境低負荷型トイレを導入した場合には、浄化槽への流入負荷軽減、処理水質の向上が期待される。守谷 SA は下水道に接続している大規模施設で水道使用量が多く、節水による経費削減効果が期待される。海ほたる PA は浄化槽処理を行っている利用者の多い大規模施設であり、節水による電力削減を大きく見込むことが期待される。表-1 の現状データは、美野里 PA・守谷 SA が平成 19 年 1 月～12 月、海ほたる PA が平成 19 年 4 月～平成 20 年 3 月のデータに基づいている。トイレ水道使用量(手洗い含む)では、3 施設ともに施設全体の水量の 4～6 割を占めている。特に、大規模 SA である守谷 SA のトイレ水道使用量は施設全体の 5 割を占め、約 7 万 m³/年と最も多く、それにかかるコストが大きい。海ほたる PA のトイレ洗浄用水は再利用水を使用しているため、トイレ施設の上水使用量は全て手洗い用である。電力量については、合併浄化槽処理を行う美野里 PA では施設全体に対する給水・汚水処理施設の電力量が高く、その割合は約 4 割である。同じく合併浄化槽処理の海ほたる PA は、浄化槽設備で 84 万 kWh/年使用しているものの、施設全体における割合は 1 割程度である。こ

表-1 試算対象 SA・PA の概要

対象施設		美野里PA	守谷SA	海ほたるPA
施設タイプ		中規模PA	大規模SA	大規模PA
所属路線		常盤自動車道	常盤自動車道	東京湾アクアライン
処理水放流先		霞ヶ浦	利根川	東京湾
排水処理方式		合併浄化槽	下水道	合併浄化槽
水道	計画利用者数	万人/年	56	808
	男子	万人/年	35	420
	女子	万人/年	21	388
	設置台数	台	72	172
	男子小便器	台	30	64
	大便器	台	42	108
	施設全体	m ³ /年	16,138	132,670
	施設全体料金	万円/年	372	3,202
	トイレ使用水量(手洗い含む)	m ³ /年	7,063	70,794
	トイレ使用水料金	万円/年	163	1,709
電気	施設全体のトイレ水量の割合	%	43.8%	53.4%
	下水道料金	万円/年		2,198
	施設全体	kWh/年	233,681	3,250,368
	施設全体料金	万円/年	352	4,269
	給水の使用電力	kWh/年	5,334	26,019
	給水の使用電気料金	万円/年	8	34
	浄化槽の使用電力	kWh/年	88,307	13,173
	浄化槽の使用電気料金	万円/年	133	17
	全体の給水・浄化槽設備の割合	%	40.1%	1.2%
				10.3%

れは海ほたる PA が大規模 PA であり，飲食店や他施設の電力量が多いためである．

3. 導入を検討している環境低負荷型トイレ

SA・PA に導入を検討している環境低負荷型トイレとして，洗浄水循環型男子小便器，男子用無水小便器，洗浄水循環型尿分離トイレ，6 L 型節水大便器があげられる．洗浄水循環型男子小便器(図-1)は尿と洗浄水を分離し，洗浄水を循環利用する仕組みで，1 回の廃棄洗浄水量 0.25 L，循環させる便器用洗浄水量 1.7 L であり，洗浄水量が減少する．男子用無水小便器(図-2)は洗浄水が不要である男子用小便器である．また，便器の下部にカートリッジを設けて，尿を溜め，シール液を用いて尿の臭気を液封している．また洗浄水循環型尿分離大便器(図-3)は，従来の洗浄水循環型トイレ¹⁾に新たに尿分離の機能を付加したもので，尿尿排水用の洗浄水と便器用洗浄水とを電磁石で切り替え 2 段階に分けて流すことで，1 回の廃棄洗浄水量を 0.6 L まで削減した使用水量が非常に少ないトイレである．循環させる便器用洗浄水は 2.2 L 流れるが尿尿とは混じらず，循環利用するしくみになっている．さらに，洗浄水循環型男子小便器，洗浄水循環型尿尿分離トイレ，男子用無水小便器から回収した尿は園芸分野において有効利用することができる．6 L 型節水大便器(図-4)は洗浄水量 6 L の節水型大便器である．

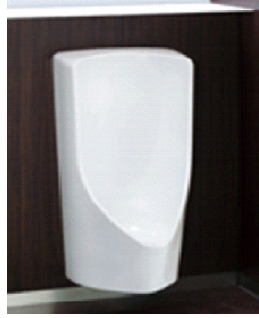


図-1 浄水循環型男子小便器の例 図-2 男子用無水小便器の例 図-3 洗浄水循環型尿分離大便器の例 図-4 6 L 型節水大便器の例

4. 試算に用いたデータおよび試算方法

本研究では次のシナリオで試算を行った．シナリオ①：洗浄水循環型尿分離大便器と男子用無水小便器を導入，尿をそれぞれ貯留タンクで回収，大小の洗浄水量の削減．シナリオ②：6 L 型節水大便器，男子用無水小便器を導入，男子尿のみを回収．男子小用の洗浄水量削減．シナリオ③：洗浄水循環型尿分離大便器と洗浄水循環型男子小便器を導入，尿は回収，大小の洗浄水量の削減．表-2 に現状および導入後の各シナリオでの 1flush 当たりのトイレ洗浄水量を示す．

エネルギー負荷計算に関しては LCA 手法を用い，積み上げ法と産業連関法の併用によって算定した．積み上げ法には LCA 支援ソフトウェア JEMAI-LCA Pro（産業総合研究所開発）を用いて行い，産業連関法では国立環境研究所作成の環境負荷原単位データ（3EID）³⁾を基本とした．また LCA の適用範囲としては，既存のトイレの撤去および

表-2 1flush 当たりのトイレ洗浄水

	現状			導入後		
	美理PA	守谷SA	海ほたるPA	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
L/flush						
大便器	10	8	10	0.6	6	0.6
小便器	6	4	4	0	0	0.25

表-3 LCA に用いたエネルギー原単位³⁾

利用原単位			データ元	
解体撤去作業	「廃棄物処理（産業）」	34,500 (MJ/百万円)	参考文献 3)	
仮設工事	「非住宅建設（非木造）」	39,400 (MJ/百万円)		
	「土木建築サービス」	18,400 (MJ/百万円)		
	「廃棄物処理（産業）」	34,500 (MJ/百万円)		
建築工事	「建設補修」	37,400 (MJ/百万円)		
管理費	「土木建築サービス」	18,400 (MJ/百万円)		
ポリプロピレン		55.55 MJ/kg	(産総研 JEMAI-LCA Pro)	
ABS樹脂		81.12 MJ/kg		
ステンレス鋼板		52.38 MJ/kg		
普通鋼		20.21 MJ/kg		
ステンレスステンゴム		93.17 MJ/kg		
塩化ビニルモノマー		32.89 MJ/kg		
銅板		28.62 MJ/kg		
ガラス		15.04 MJ/kg		
電力		8.14 MJ/kwh		

表-4 試算に用いた便器の素材データの例

製品構成材料	量	単位
(製品素材)		
(便器)		
陶器	3.283	g/台
ABS	370	g/台
炭素鋼・ユニクロメッキ	135	g/台
PE	10	g/台
PP	105	g/台
紙	50	g/台
鋼材	325	g/台
ダンボール	4500	g/台
シール液(ドデカノール)	55	g/台
ブチルゴム	100	g/台
(周辺部材)		
塩ビ	86	g/台
黄銅	2	g/台
鋼材・ユニクロメッキ	214	g/台
真鍮・ニッケルメッキ	10	g/台
ステンレス	82	g/台
炭素鋼	360	g/台
軟鋼線材・ユニクロメッキ	48	g/台
ブチルゴム	100	g/台
(製造時)		
電力	0.643	kwh/kg
LPG	0.00857	kg/kg
灯油	0.097	kg/kg
LNG	0.137	m ³ /kg
都市用水	4.57	L/kg
(排出物)		
下水道排出量	0.00126	m ³ /kg
リサイクル依頼	0.037	kg/kg

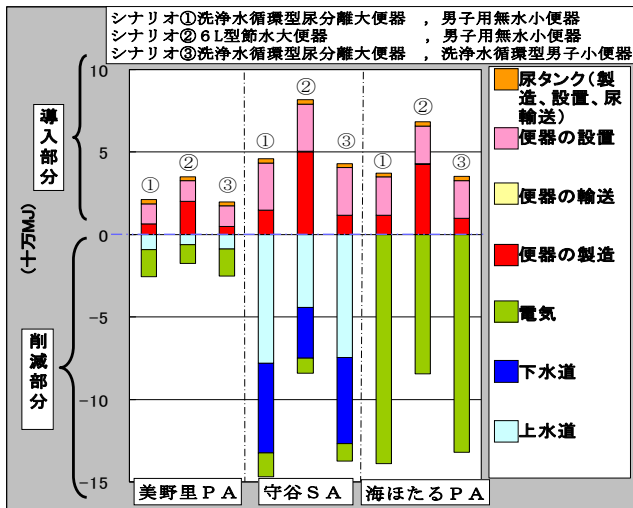


図-3 環境低負荷型トイレ導入から一年間のエネルギー収支

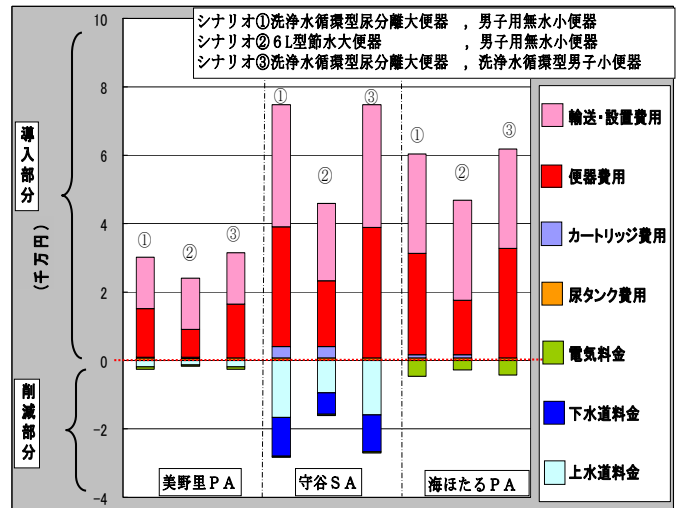


図-4 環境低負荷型トイレ導入から一年間のコスト収支

上記環境低負荷型トイレの素材製造、製品製造、物流とした。計算に必要な既存のトイレ便器と環境低負荷型トイレ便器の基礎データはINAX、リンフォース、TOTO 製品のデータを用いた。また、環境低負荷型トイレ導入により水消費量が減少することによって、上下水道に関わるエネルギーも削減されると仮定し、上水道システムと下水道システム負荷原単位をそれぞれ、 $2,706 \text{ kcal/m}^3$ ⁴⁾、 $1,889 \text{ kcal/m}^3$ ⁵⁾、として計算を行った。今回は導入を検討している環境低負荷型トイレの中で、6L型節水大便器以外の環境低負荷型トイレから尿を回収し、各SA・PA近隣の菜の花畑に散布し、肥料として有効活用することを仮定した。また、尿を回収する際に必要な尿貯留タンクについても、積み上げ法と産業連関法により試算した。本LCAで用いた原単位量とデータを表-3³⁾、表-4にまとめる。尿貯留タンクは容量500L、重量20.4kg、ポリエチレン製のものを使うとし、最適な尿貯留タンク数と輸送回数を仮定した。また、貯留した尿は比較的近隣の菜の花畑に施肥すると仮定した。

5. 試算結果および考察

シナリオ①、シナリオ②、シナリオ③に関して、エネルギー負荷とコストに関する試算結果を図-3、図-4に示す。これらの図より、導入部分に関しては、便器の製造や設置に対するエネルギーやコストが大部分を占める。次に削減部分に関しては図-3より、上水道システム、下水道システムおよび浄化槽などのエネルギー削減量は対象施設によって大きく異なった。まず美野里PAはトイレ設置台数が少なく、水量削減効果が小さいのでエネルギー削減量が小さい。また、守谷SAは大規模施設であるためトイレ設置台数が多く、上下水道を利用しているためにエネルギー削減量が多い。さらに、海ほたるPAは中水を利用しているために水量削減量がないが、汚水が減ることによって浄化槽に関するエネルギー削減量が多いものの、コスト削減量はそれほど大きくなく、コスト削減にはあまりつながらなかったことがわかった。

また、環境低負荷型トイレ導入のメリットを考察するために、ペイバックタイムの計算を行った。ここでは、水洗トイレの便器を既存のトイレから環境低負荷型トイレに交換すると仮定し、環境低負荷型トイレの導入にかかる負荷は、その後の水消費量削減による上下水道の負荷削減や施設電力使用量削減による負荷削減の何年分にあたるのかを、エネルギーとコストの面から計算した。式(1)、(2)はそれぞれ、環境低負荷型トイレと既存のトイレの累積負荷を示したものである。

$$\text{環境低負荷型トイレの累積負荷 } C_{Ni} = D_{Ni} \times y + I_i \quad (1)$$

$$\text{既存のトイレの累積負荷 } C_o = D_o \times y \quad (2)$$

i : シナリオ番号 1~3

D_{Ni} : シナリオ①~③それぞれの環境低負荷型トイレによる年間負荷

D_o : 既存のトイレによる年間負荷

I_i : シナリオ①~③それぞれの環境低負荷型トイレ導入にかかる負荷

y : 環境低負荷型トイレ導入後の経過年数

美野里PA・守谷SA・海ほたるPAにおいて、 D_o 、 D_{Ni} 、 I_i はエネルギーとコストでそれぞれ表-5のようになった。また、図-5、図-6に美野里PA・守谷SA・海ほたるPAにおけるペイバックタイムの計算結果を示す。今回の計

表-5 ペイバックタイム計算時における負荷係数

	美野里PA		守谷SA		海ほたるPA	
	エネルギー	コスト	エネルギー	コスト	エネルギー	コスト
D_0	1,024,227 (MJ/年)	724 (万円/年)	13,205,556 (MJ/年)	9669 (万円/年)	29,852,986 (MJ/年)	11058 (万円/年)
D_{N1}	767,802 (MJ/年)	470 (万円/年)	1,471,246 (MJ/年)	6838 (万円/年)	1,388,534 (MJ/年)	10603 (万円/年)
D_{N2}	847,334 (MJ/年)	565 (万円/年)	841,051 (MJ/年)	8067 (万円/年)	843,980 (MJ/年)	10781 (万円/年)
D_{N3}	772,569 (MJ/年)	474 (万円/年)	1,375,957 (MJ/年)	6971 (万円/年)	1,320,494 (MJ/年)	10625 (万円/年)
I_1	211,034 (MJ)	3022 (万円)	459,364 (MJ)	7487 (万円)	371,978 (MJ)	6039 (万円)
I_2	349,119 (MJ)	2410 (万円)	817,416 (MJ)	4590 (万円)	683,650 (MJ)	4677 (万円)
I_3	198,100 (MJ)	3142 (万円)	431,763 (MJ)	7478 (万円)	351,259 (MJ)	6182 (万円)

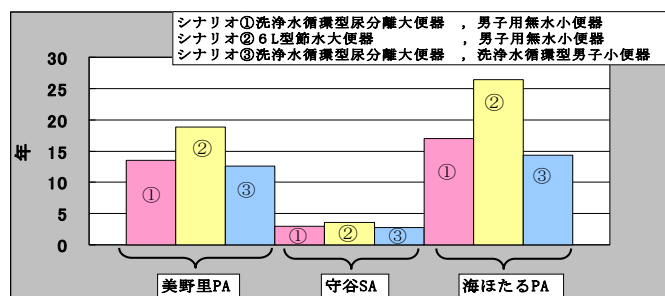
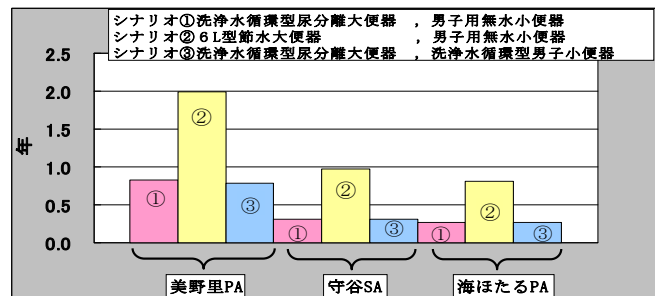


図-5 環境低負荷型トイレの導入エネルギー回収に要する年数

図-6 環境低負荷型トイレの導入コスト回収に要する年数

算結果では、環境低負荷型トイレを導入することによるペイバックタイムは、各 SA・PA において、エネルギー負荷の場合 0.3 年から 2.0 年、コストに関しては、2.8 年から 26.5 年となった。全シナリオの中で、男子小便器が異なるシナリオ①、シナリオ③はエネルギー、コストともに大差なく、エネルギーに関するペイバックタイムはすべての対象施設において 1 年未満であり、比較的短期間で回収しやすいことがわかった。コストに関しては、大規模 SA である守谷 SA では約 3 年未満であるが、美野里 PA では約 13 年、海ほたる PA では約 15 年とばらつきの大きい結果となった。

6. むすび

本研究では、LCA 手法を用いて環境低負荷型トイレの導入部分である、トイレの製造・輸送・設置や回収した尿尿を貯留するタンクの製造・輸送・設置および尿尿の輸送にかかるエネルギー消費量を求め、従来のシステムに本システムを導入した場合のペイバックタイムの計算を行い、それらに関する費用便益評価を行った。

その結果、仮定したシナリオの中では、洗浄水循環型尿分離大便器と洗浄水循環型男子小便器からなる組み合わせが最も回収効率が良く、サービスエリアが大規模であるほど回収効率が良いことがわかった。従来のシステムに本システムを導入した場合、エネルギーに関する導入負荷は比較的短期間で回収できることがわかったが、導入コストに関しては、改善の余地があると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策に関する研究」(代表：河村明)の補助を受けました。また、本研究に対して、NEXCO 東日本、リンフォース、INAX、TOTO より貴重なデータを提供して頂きました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 安藤規子, 中川直子, 河村 明, 天口英雄: 高速道路サービスエリアにおける尿分離型トイレおよび男子用無水小便器導入による環境負荷削減効果について, 第 37 回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM 版(II-048), 2010.
- 2) 中川直子, 河村明, 天口英雄, 高速道路サービスエリアにおける環境負荷削減対策—費用便益に関する一考察, 2010 年度研究発表会要旨集, 水文・水資源学会, pp.288-289, 2010.
- 3) 独立行政法人国立環境研究所 HP, 2005 年版 3EID(β 版), 3EID 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID), http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/page/2005_beta.htm.
- 4) 水道と地球環境を考える研究会, 地球環境時代の水道, 技報堂出版, 1993.
- 5) 井村秀文 他, 下水道システムのライフサイクルアセスメント, 土木学会論文集, 552/7-1, 75-84, 1996.