

高速道路サービスエリアの水回り改善による 環境負荷削減

ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION BY INTRODUCING NEW WATER RELATED
APPLIANCES AT HIGHWAY SERVICE AREAS

中川直子¹・河村明²・天口英雄³

Naoko NAKAGAWA, Akira KAWAMURA and Hideo AMAGUCHI

¹正会員 博(理) 首都大学東京特任准教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²正会員 工博 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 博(工) 首都大学東京助教 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

In this study, the reduction on the environmental load by the replacement of conventional toilets with low environmental load toilets at highway service areas in Japan was quantified and a cost-benefit analysis concerning introducing low environmental load toilet such as waterless urinals and urine diversion toilets were performed. As for the results, the environmental loads from the service area, water consumption and energy consumption were reduced greatly by introducing low environmental load toilets. In addition, it is found that this system can be easily paid back in 3 years regarding the burden of the energy and cost when it is introduced into large service areas where the wastewater is treated by the sewage system.

Key Words : *environmental load reduction, highway service area, life cycle assessment, urine diversion system, cost benefit analysis, environmental assessment.*

1. 研究背景と目的

水回りのシステム構築は、基本的なインフラ整備の一つであり、衛生的な生活環境の保護には必要不可欠なものと言える。その目的は上水の供給と衛生管理のための病原の排除および除去である。表-1¹⁾は家庭排水における汚濁負荷の量と割合を用途別に表示したものであるが、表-1に示すように、生活排水の中で、水洗トイレからの汚水は、尿尿以外の雑排水に比較すると水量・汚濁負荷が大きい。

そこで著者らは、水回りの中で従来の水洗トイレを改良することにより、水消費量や水環境中に排出される汚濁負荷量を削減し、一方で尿や尿を農地に還元し、肥料として有効利用する、「資源循環・低エミッション型排水処理システム」を提案してきた²⁾⁻⁴⁾。本システムは衛生的安全性を確保しつつ、環境負荷だけでなく、コストおよび消費エネルギーを低減することを目的としている。このような、環境低負荷型トイレを用いた、環境低負荷型排水処理システムに関しては、各方面で研究されており⁵⁾⁻⁷⁾。例えば尿分離トイレを導入し、尿と尿を分離することで、人尿を価値の高い肥料にして再利用でき、世

界各地の水環境への汚濁負荷の低減、およびわが国で枯渇化が問題となっているリン資源の効率的回収が可能となっている。

さて、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。商業施設を除けば、各SA・PAで水消費量が多いのはトイレ施設である。トイレ排水を処理するためにかかる電力消費量も大きい。そこで著者らは高速道路SA・PAのトイレ施設に着目し、尿分離トイレや無水トイレなど環境低負荷型トイレを導入することで、環境負荷削減をはかることをNEXCO東日本と共に検討

表-1 家庭排水中における汚濁負荷量と割合¹⁾

	単位	トイレ		台所	風呂/洗濯	合計
		屎尿合計	尿			
排水量	m ³ /年	19 (34.5%)	11 (20.0%)	18 (32.7%)	18 (32.7%)	55 (100%)
BOD	kg/年	9.1 (41.6%)	1.8 (8.2%)	11 (50.2%)	1.8 (8.2%)	21.9 (100%)
COD	kg/年	27.5 (58.3%)	5.5 (11.7%)	16 (33.9%)	3.7 (7.8%)	47.2 (100%)
T-N	kg/年	4.4 (86.3%)	4.0 (78.4%)	0.3 (5.9%)	0.4 (7.8%)	5.1 (100%)
T-P	kg/年	0.7 (80.5%)	0.5 (57.5%)	0.07 (8.0%)	0.1 (11.5%)	0.87 (100%)

しており、今までに、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評価している^{2)~4)}。高速道路SA・PAにおいて、環境低負荷型トイレの導入効果を評価することは、今までに例をみないことである。しかし、これらの内容を未だ学術論文として発表してはいない。

そこで本論文では、トイレ使用の多い高速道路のSA・PAにおいて、本提案の「資源循環・低エミッション型排水処理システム」を導入した場合の環境性や経済性を評価した。エネルギー負荷およびコスト計算には、ライフサイクルアセスメント(以下LCA)手法を用いて、運用部分のみならず、本システムを導入する際にかかるエネルギーやコストも考慮し、従来システムと比較し、水回り改善の一環として環境低負荷型トイレ導入による環境負荷削減効果について検討した。

2. 対象施設の選定と現状データ

評価を行う対象施設は、NEXCO東日本のSA・PAの中から表-2に示す美野里PA・守谷SA・海ほたるPAの3施設とした。美野里PAは浄化槽処理を行っている中規模施設であり、本システム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、汚水削減による電力削減を大きく見込むことが期待される。表-2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(表-2では「中水」と記載)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、給水・汚水処理施設で約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。

表-2 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	214
	男子	万人/年	35	420	111
	女子	万人/年	21	388	103
	設置台数	台	72	172	142
	男子小便器	台	30	64	48
	大便器	台	42	108	94
	施設全体	m ³ /年	16,138	132,670	上水 28,552 / 中水 41,539
	施設全体料金	万円/年	372	3,202	1,390
	トイレ使用水量(手洗い含む)	m ³ /年	7,063	70,794	上水 2,378 / 中水 35,944
	トイレ使用水料金	万円/年	163	1,709	116
施設全体のトイレ水量の割合	%	43.8%	53.4%	54.7%	
汚水量		m ³ /年	15,352	134,123	70,476
下水道料金		万円/年		2,198	
電気	施設全体	kWh/年	233,681	3,250,368	8,202,572
	施設全体料金	万円/年	352	4,269	9,668
	給水の使用電力	kWh/年	5,334	26,019	686,460
	給水の使用電気料金	万円/年	8	34	810
	浄化槽の使用電力	kWh/年	88,307	13,173	156,950
	浄化槽の使用電気料金	万円/年	133	17	185
	全体の給水・浄化槽設備の割合	%	40.1%	1.2%	10.3%

3. 資源循環・低エミッション型排水処理

システム

本システムでは、男子無水小便器や洗浄水循環型尿分離トイレなどの環境低負荷型トイレによって、尿尿から尿を分離し、尿と雑排水を浄化槽や下水道処理施設で処理する。回収した尿はSA,PA近隣の菜の花畑に搬送し、液肥として有効利用すると仮定している。

高速道路のSA・PAに導入できるように、使用感が従来の水洗トイレの快適さを失わない本システムの構成要素として、今回新たに洗浄水循環型尿分離大便器を開発した⁴⁾。これは従来の洗浄水循環型トイレ²⁾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。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。従来の環境低負荷型トイレ³⁾と異なり、使用感が従来の水洗トイレとあまり変わらないことも特徴の一つである。また、同じく開発した洗浄水循環型男子小便器⁴⁾も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である。これら今回新たに開発した尿分離トイレの他に、対照評価のために男子用無水小便器⁴⁾や尿分離型ではない従来の6 L型節水大便器⁴⁾も評価対象とし、高速道路のSA・PAに導入を検討している本システムの環境性および経済性評価を次のようなシナリオで行った。

シナリオ：従来のすべての大便器、男子小便器を撤去し洗浄水循環型尿分離大便器と男子用無水小便器を導入することを仮定する。男子用無水小便器は洗浄水が不要である男子用小便器であり、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。大便器、男子小便器から尿を回収する。

シナリオ：同じく従来のすべての大便器、男子小便器を撤去し、男子用無水小便器及び6 L型節水大便器を導入することを仮定する。この評価ケースでは、6 L型節水大便器はSA・PAなど公共施設用の洗浄水量6 Lの水洗トイレであり、尿分離トイレではないため、男子尿のみを回収することになる。

シナリオ：評価対象施設における従来のすべての大便器、男子小便器を撤去し、今回新たに開発した洗浄水循環型尿分離大便器及び洗浄水循環型男子小便器を導入することを仮定する。大便器、男子小便器から尿を回収する。

4. 評価に用いたデータおよび評価方法

表-3に現状および導入後の各SA・PAにおける各シナリオでの1 flush当たりのトイレ洗浄水量を示す。本システム導入前後の水消費量に関しては、表-2の計画利用者数及び水道使用量の値と表-3のデータをもとに計算した。

現状およびシナリオ、において、美野里PAから水域へ排出される汚濁負荷量を計算した。現状の汚濁負荷量は、表-4の美野里PA浄化槽流入水質、表-2の汚水量、表-5の1人1日当たりの尿尿と雑排水に含まれる汚濁負荷量⁹⁾より求めた。シナリオ、においての汚濁負荷量に関しては、表-2の計画利用者数と表-7の汚濁負荷量原単位より、トイレ利用者中10人に1人が尿と尿共に排出すると仮定し、各シナリオに応じて、回収される尿の汚濁負荷量を現状の汚濁負荷量から差し引くことによって求めた。なお、表-7は、1人1日あたり尿1回・尿5回と仮定し、表-5の尿尿に含まれる汚濁負荷量⁹⁾および表-6¹⁾から得られる尿と尿の比率を用いて求めた。

また、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

表-3 1flush当たりのトイレ洗浄水量

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

表-4 美野里PA浄化槽の年間平均流入出水質及び除去率

mg/L	流入水質	放流水質	除去率
BOD	343	1.08	99.7%
COD	261	4.20	98.8%
T-N	107.9	4.25	96.1%
T-P	11.84	0.54	95.3%

表-5 1人1日当たり尿尿・雑排水汚濁負荷量⁹⁾

g/人・日	尿尿		雑排水		計
BOD	18	31%	40	69%	58
COD	10	37%	17	63%	27
T-N	9	82%	2	18%	11
T-P	0.9	69%	0.4	31%	1.3

表-6 汚濁負荷量原単位¹⁾

kg/人・年	屎	尿
BOD	7.3	1.8
COD	22	5.5
T-N	0.4	4
T-P	0.2	0.5

表-7 1回あたりの汚濁負荷量

g/回	屎	尿
BOD	14.4	0.72
COD	8	0.4
T-N	0.8	1.64
T-P	0.3	0.12

境研究所作成の環境負荷原単位データ(3EID)¹⁰⁾を基本とした。またLCAの適用範囲としては、既存トイレの廃棄、環境低負荷型トイレ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、および本システムの運転とした。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、本システム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 kcal/m³¹¹⁾、1,889 kcal/m³¹²⁾、として計算を行った。尿分離トイレから回収した尿は、各SA・

PA近隣の菜の花畑に搬送することを仮定し、近隣の菜の花畑を調査して、美野里PA、守谷SA、海ほたるPAからの搬送距離をそれぞれ65 km, 17 km, 19 kmとした。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評価した。本LCAで用いた原単位量とデータの一部を表-8、表-9にまとめる。尿貯留タンクは容量500 L,重量20.4 kg,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、コストに関して用いたデータを表-10に示す。シナリオに用いた各環境低負荷型トイレや尿貯留タンクの値段や設置工事費用はカタログや見積書より、一台あたりの金額を算出した。

表-8 LCAに用いたエネルギー原単位

	利用原単位	データ	
解体撤去作業	「廃棄処理(産業)」 34,500 (MJ/百円)	参考文献3)	
仮設工事	「非住宅建設(非木造)」 39,400 (MJ/百円)		
	「土木建築サービス」 18,400 (MJ/百円)		
	「廃棄処理(産業)」 34,500 (MJ/百円)		
建築工事	「建設補修」 37,400 (MJ/百円)		
管理費	「土木建築サービス」 18,400 (MJ/百円)		
ポリオレフィン	55.55	MJ/kg	(産研 JEMA - 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	
スチレン/カーボン	93.17	MJ/kg	
塩化ビニル/マー	32.89	MJ/kg	
銅板	28.62	MJ/kg	
ガス	15.04	MJ/kg	
電力	8.14	MJ/kwh	

5. 評価結果および考察

シナリオ、シナリオ、シナリオに関して、上水使用量に関する評価結果を図-1に示す。評価対象施設の中では大規模SAである守谷SAの水消費量削減が最も大きく、それに伴いコスト削減も見込まれる。海ほたるPAはトイレ用水に再利用水を用いているため、上水使用量に変化はない。シナリオ～の中ではシナリオの水量削減が最も大きい。シナリオと大差はない。

水環境中への汚濁負荷排出量の計算結果に関して、美野里PAの結果を図-2に示す。特にシナリオとでは尿尿が分離されることにより、従来システムよりもBODが33%、CODが38%、T-Nが47%、T-Pが39%削減され、水環境保全に大きく貢献できることが期待される。

また、エネルギー負荷とコストに関する評価結果を図-3、図-4に示す。導入部分に関しては、既存施設の撤去、便器の製造および設置に関するエネルギーやコストが大部分を占めることがわかる。尿を分離することにより新たに生じる尿貯留タンクの製造・設置にかかるエネルギーやコストの割合は低いことがわかった。一方、運用部分に関しては水消費量が削減されることに伴い、既存システムに比べて上水道システム、下水道システムおよび浄化槽などのエネルギーも削減される。図-3に示すように、その削減量は対象施設により大きく異なった。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ためにエネルギー削減量も小さい。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大きい。さらに、海ほたるPAは再利用水を利用しているため水量削減量がないが、汚水量が減ることによる浄化槽に関するエネルギー削減量が多い。しかし、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。

また、本システム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

表-9 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
便器本体	陶器	3283	g/台
	ABS	370	g/台
	炭素鋼・コニクロメッキ	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・コニクロメッキ	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・コニクロメッキ	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

表-10 試算に用いたコストに関するデータの例

便器各種	コスト (万円/台)
洗浄水循環型尿分離大便器	20.0
洗浄水循環型男子小便器	11.0
洗浄水再生槽	5.6
6 L型節水大便器	11.1
男子用無水小便器	11.6
カートリッジ(万円/個)	0.52
尿貯留タンク	3.3
工事費用	20.8

レの便器を既存のトイレからシナリオ ① ~ ③ の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。

環境低負荷型トイレの累積負荷 C_{Ni} (i : シナリオ番号 1~3) は次式で表される。

$$C_{Ni} = D_{Ni} \times y + I_i \quad (1)$$

既存トイレの累積負荷 C_o は次式で表される。

$$C_o = D_o \times y \quad (2)$$

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

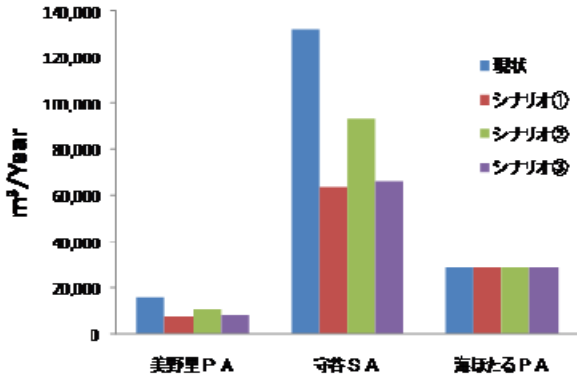


図-1 上水使用量の変化

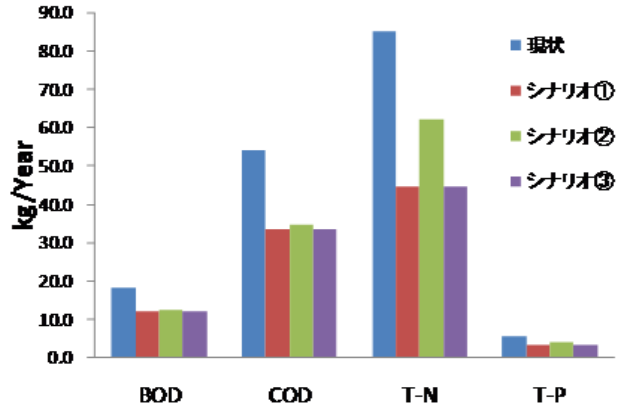


図-2 美野里PAにおける汚濁負荷排出量の変化

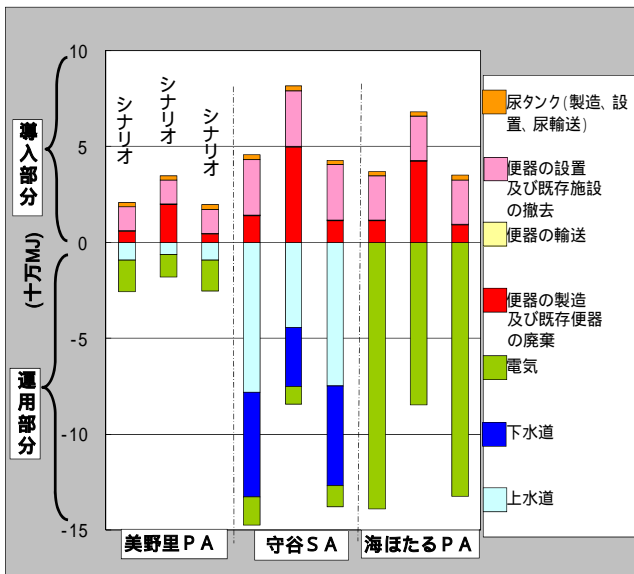


図-3 環境低負荷型トイレ導入から一年間のエネルギー収支

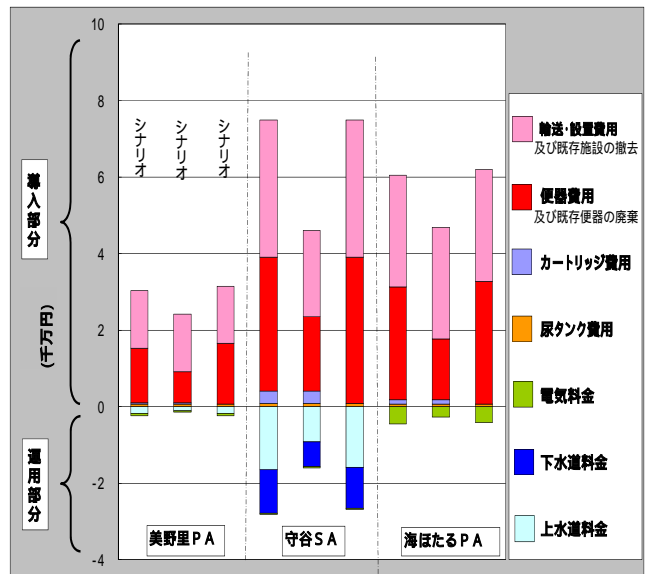


図-4 環境低負荷型トイレ導入から一年間のコスト収支

表-11 ペイバックタイム計算時における負荷係数

	美野里 P A				守谷 S A				海ほたる P A			
	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_o	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}	769,163	(MJ/年)	501	(万円/年)	11,737,213	(MJ/年)	7171	(万円/年)	28,466,629	(MJ/年)	10703	(万円/年)
D_{N2}	848,695	(MJ/年)	597	(万円/年)	12,367,408	(MJ/年)	8400	(万円/年)	29,011,183	(MJ/年)	10881	(万円/年)
D_{N3}	772,569	(MJ/年)	474	(万円/年)	11,829,599	(MJ/年)	6971	(万円/年)	28,532,491	(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)

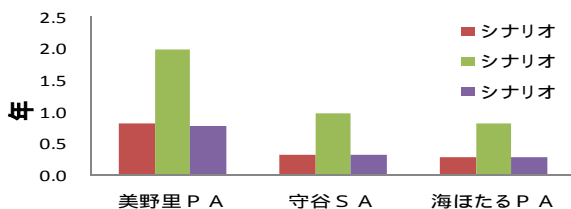


図-5 環境低負荷型トイレの導入エネルギー回収に要する年数

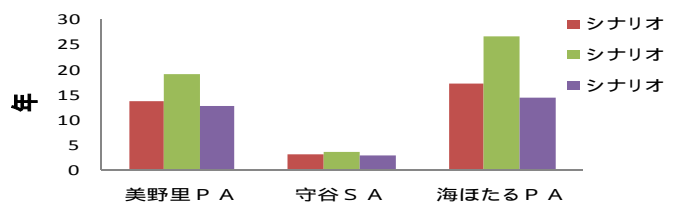


図-6 環境低負荷型トイレの導入コスト回収に要する年数

ペイバックタイムは式(1) と式(2) における C が等しくなる時の y の値である。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-11のようになった。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。今回の計算結果では、本システム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図-5より0.3年から2.0年、コストに関しては、図-6より2.8年から26.5年となった。シナリオ と の比較により、洗浄水循環型尿分離大便器と6 L型節水大便器とでは前者を用いた方が回収効率は良く、シナリオ と の比較により、洗浄水循環型男子小便器と男子用無水小便器では同程度の回収効率であることがわかった。男子小便器が異なるシナリオ、シナリオはエネルギー、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2年未満であり、比較的短期間で回収しやすいことが明らかになった。一方、コストに関しては、大規模SAでかつ汚水を下水道処理している守谷SAでは約3年未満であるが、中規模PAで汚水を浄化槽処理している美野里PAでは約13年、大規模PAであってもトイレ洗浄水に再利用水を用いている海ほたるPAでは上水使用量削減が見込めないため、約15年とばらつき大きい結果となった。

6. むすび

本論文では、高速道路のSA・PAの水回り改善の一環として、環境低負荷型トイレを導入した場合の環境性や経済性を、規模や処理方法の異なる3箇所のSA・PAにおいて評価した。3つのシナリオを設定し、エネルギー負荷およびコスト計算には、LCA手法も用いて、運用部分のみならず、環境低負荷型トイレを導入する際にかかるエネルギーやコストも考慮し検討を行った。

その結果、従来のトイレを環境低負荷型トイレに置き換えることで、従来システムと比較して、汚濁負荷排出量、水消費量、エネルギー消費量が大きく削減され、環境負荷削減に大きな効果を得られることが示された。特に大、小便器共に尿分離トイレである尿分離システムを、下水道処理による汚水処理をしている大規模SAに導入する場合は、新たに敷設される尿タンクの製造や設置、輸送などにかかる負荷を考慮しても、エネルギーやコストの導入負荷は3年以内という比較的短期間で回収できることがわかり、尿分離システムの有用性が示された。

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)及び科学研究費基盤研究

(C)「尿分離による資源循環・低エミッション型排水処理システムの構築」(代表：中川直子)の補助を受けた。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) 虫明功臣 監修：分散型サンテーションと資源循環、技報堂出版、p.66, 2005.
- 2) 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.
- 3) 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、第65回土木学会年次学術講演会講演概要集第2部、pp.169-170, 2010.
- 4) 山岸仁美, 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低負荷型トイレ導入に関するLCAおよび費用便益評価、第38回土木学会関東支部研究発表会講演集、CD-ROM版(VII-52), 2011.
- 5) Matsui, S., Harada, H., Utsumi, H., Matsuda, T. & Shimizu, Y.: Advance Sanitation with the Vacuum Truck Collection System of Human Excreta, The 2nd IWA Leading-Edge Conference on Sustainability in Water-Limited Environments, Australia, 2004.
- 6) 津野洋, 宗宮功, 清水芳久, 永禮英明, 日高平：資源循環・エネルギーミニマム型システム技術：資源回収型の都市廃水・廃棄物処理システム技術の開発、環境衛生工学研究、Vol.18, No.3, pp.47-52, 2004.
- 7) 中川直子, 大瀧雅寛：分離分散型排水処理システムの環境負荷評価、土木学会、土木学会論文集、Vol.65, No.2, pp.97-103, 2009.
- 8) 石崎勝義, 小林将也, 田辺秀二, 原田真一, 大幅元吉, 中川直子：環境負荷型トイレの現状と課題、エネルギー・資源、Vol.20, pp.359-364, 2001.
- 9) 松尾友矩・田中修三・安田正志・田中和博・長岡 裕：水環境工学(下水道施設計画・設計指針と解説前編)、オーム社、p.133, 1999.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 井村秀文, 銭谷賢治, 中嶋芳紀, 森下兼年, 池田秀昭：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、No.552/VII-1, pp.75-84, 1996.

(2011.9.30受付)