

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

首都大学東京 都市環境学部 学生会員 ○安藤 規子
 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。高速道路管理のような国民生活に密着した公共性の高い事業で、持続可能な社会への対応が求められる今、経費削減や環境負荷削減、資源再利用の必要性があると考えられる。そこで本研究では、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。

2. 試算対象施設と現状データ

試算を行う対象施設は、NEXCO 東日本の SA・PA の中から表-1 に示す守谷 SA・谷田部東 PA・海ほたる PA・美野里 PA・君津 PA の 5 施設とし、環境低負荷型トイレを導入した場合の環境負荷削減効果を試算する。表-1 と表-2 の現状データは、守谷 SA・谷田部東 PA・美野里 PA 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、君津 PA が平成 19 年 7 月～平成 20 年 3 月のデータに基づいている。排水処理方式として、守谷 SA・谷田部東 PA が公共下水道による処理、海ほたる PA・美野里 PA・君津 PA は合併浄化槽処理である。トイレ水道使用量(手洗い含む)は、小規模施設の君津 PA では施設全体の水量にほとんど等しいが、君津 PA 以外の 4 施設は施設全体の水量の 4～6 割である。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、コストが膨大となっている。海ほたる PA のトイレ施設の上水使用量は全て手洗い

表-1 試算対象 SA・PA の概要

対象施設		守谷SA	谷田部東PA	海ほたるPA	美野里PA	君津PA	
施設タイプ		大規模SA	中規模PA	大規模PA	中規模PA	小規模PA	
所属路線		常盤自動車道		東京湾アクアライン	常盤自動車道	館山自動車道	
処理水放流先		利根川	霞ヶ浦	東京湾	霞ヶ浦	東京湾	
排水処理方式		下水道		浄化槽			
水道	施設全体	m ³ /年	132,670	20,164	上水 28,552 / 中水 41,539	16,138	3,299
	施設全体料金	万円/年	3,202	502	1,390	372	138
	トイレ水道使用量(手洗い含む)	m ³ /年	70,794	11,806	上水 2,378 / 中水 35,944	7,063	3,274
	トイレ水道料金	万円/年	1,709	294	116	163	137
	施設全体のトイレ水量の割合	%	53.4%	58.5%	54.7%	43.8%	99.2%
汚水流入量		m ³ /年	データ無し	データ無し	データ無し	15,352	データ無し
下水道料金		万円/年	2,198	310			
電気	施設全体	kWh/年	3,250,368	119,771	8,202,572	233,681	82,460
	施設全体料金	万円/年	4,269	283	9,668	352	208
	給水・浄化槽の電力使用量	kWh/年	39,192	17,095	843,410	93,641	32,285
	給水・浄化槽の電気料金	万円/年	52	41	995	141	82
	全体の給水・浄化槽設備の割合	%	1.2%	14.3%	10.3%	40.1%	39.2%

用である。電力量について、合併浄化槽処理を行う美野里 PA・君津 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。また、表-2 に浄化槽への流入水質、水域への放流水質および汚濁負荷量の除去率を示す。除去率は海ほたる PA・美野里 PA とともに 85~99% に達している。

表-2 浄化槽流入水質と水域への放流水質

対象施設	海ほたるPA			美野里PA		
	流入水質	放流水質	除去率	流入水質	放流水質	除去率
mg/L						
BOD	155	0.6	99.6%	343	1.1	99.7%
COD	118	4.1	96.5%	261	4.2	98.4%
T-N	65	8.1	87.5%	108	4.3	96.1%
T-P	12	0.5	95.8%	12	0.5	95.4%

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、尿分離型トイレ、男子用無水小便器、洗浄水循環型トイレが挙げられる。尿分離型トイレ(図-1)は尿尿を分離することができ、尿尿が独立した洗浄システムになっているため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。また洗浄水循環型トイレ(図-3)は尿尿を洗浄水と分離し、トイレ洗浄水を循環利用する。さらに、尿分離型トイレ、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。今回は導入を検討している環境低負荷型トイレの中で、男子用無水小便器(男子尿対応)及び尿分離型トイレ(男子尿、女子尿尿対応)の導入を想定した場合についての試算を行った。



図-1 尿分離型トイレの例 図-2 男子用無水小便器の例 図-3 洗浄水循環型トイレの例

尿分離型トイレ、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。今回は導入を検討している環境低負荷型トイレの中で、男子用無水小便器(男子尿対応)及び尿分離型トイレ(男子尿、女子尿尿対応)の導入を想定した場合についての試算を行った。

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：男子用無水小便器を導入，男子尿を回収，男子小用の洗浄水量削減。シナリオ2：尿分離型トイレと無水小便器を併用，尿を回収，大小の洗浄水量削減。表-3 に、既存トイレの 1 flush 当たりのトイレ洗浄水量を示す。守谷 SA の男子 4 L/flush および谷田部東 PA・美野里 PA の 10 L/flush は推定値である。表-4 に、現状とシナリオ 1, 2 における 1 flush 当たりの平均トイレ洗浄水量と削減率を示す。ここで、尿分離型トイレの大用は 4 L/flush，小用が 1 L/flush と仮定した。なお、海ほたる PA の平均トイレ洗浄水量は和式・洋式トイレの個数を考慮して求めた。表-5 に、試算に用いたデータを示す。表-1 に示す海ほたる PA のトイレ水道使用量のうち、1 割程度の上水を手洗い用に使用していると考えられ、海ほたる PA を除く各施設の推定トイレ水道使用量(手洗い除く)は、表-1 のトイレ水道使用量および海ほたる PA の手洗いの割合を用いて求めた。海ほたる PA・君津 PA の計画利用者数(男子・女子)は、守谷 SA・美野里 PA の計画利用者数の男女比を用いてそれぞれ求めた。汚水処理施設への汚水流入量は、尿流入量と表-1 の施設全体の水道使用量の合計として扱った。尿流入量、尿流入量は 1 人 1 回当たりの尿尿排出量原単位を尿 150g/人・回，尿 0.2L/人・回として計算した³⁾。ただし、SA・PA の利用者全員が小用，その中で 10 人に 1 人が大用使用もすると仮定した。表-4 の削減率を用いて、水道使用量・料金，汚水流入量，電力量・料金の削減量と削減率を試算した。尿除去量は表-5 の尿流入量と同様に求めた。水回りの電力量・料金の削減量は、施設全体の水量削減率，汚水流入量削減率をそれぞれ表-1 の給水，汚水処理施設の電力量・料金に乗じて反映させ、その合計値とした。なお今回の試算では、尿回収に伴うエネルギー・コストは考慮していない。次に、現状およびシナリオ 1, 2 における海ほたる PA・美野里 PA から水域へ排出される汚濁負荷量を計算する。現状の汚濁負荷量は、

表-3 1 flush 当たりのトイレ洗浄水量

対象施設	守谷SA		谷田部東PA		海ほたるPA		美野里PA		君津PA	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子
L/flush										
大用	8		10		10~11		10		8	
小用	4	6	6	10	2	10~11	6	10	1	8

表-4 1 flush 当たりの平均トイレ洗浄水量および削減率

対象施設	守谷SA	谷田部東PA		海ほたるPA		美野里PA		君津PA			
		男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子		
シナリオ	L/flush										
現状	水量	4.4	6.2	6.4	10	2.8	10.2	6.4	10	1.7	8
	削減率	81%	0%	84%	0%	64%	0%	84%	0%	53%	0%
1	水量	0.8	6.2	1	10	1	10.2	1	10	0.8	8
	削減率	81%	0%	84%	0%	64%	0%	84%	0%	53%	0%
2	水量	0.5	1.4	0.5	1.4	0.5	1.4	0.5	1.4	0.5	1.4
	削減率	88%	77%	92%	86%	83%	86%	92%	86%	71%	83%

表-2の浄化槽流入水質、表-5の汚水流入量、表-6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¹⁾より求める。シナリオ1, 2における汚濁負荷量は、表-5の計画利用者数と表-8の汚濁負荷量原単位を用いて求める。なお、表-8は、1人1日あたり尿1回・尿5回と仮定し、表-6の尿尿に含まれる汚濁負荷量¹⁾および表-7²⁾から得られる尿と尿の比率を用いて求めた。

表-5 試算に用いたデータ

対象施設		守谷SA	谷田部東PA	海ほたるPA	美野里PA	君津PA	
水道	推定トイレ水道使用量(手洗い除く)	m ³ /年	65,750	10,965	(データ有り35,944)	6,560	3,042
	推定トイレ水道料金(手洗い除く)	万円/年	1,587	273	0	151	127
	推定トイレ水道使用量の割合	%	49.6%	54.4%	51.3%	40.6%	92.2%
計画利用者数		万人/年	808	112	214	56	56
男子		万人/年	420	70	111	35	35
女子		万人/年	388	43	103	21	21
尿流入量		kg/年	121	17	32	8	8
尿流入量		m ³ /年	1,457	203	385	102	101
汚水流入量		m ³ /年	134,127	20,367	70,476	(データ有り15,352)	3,400

表-6 1人1日当たり尿尿・雑排水汚濁負荷量¹⁾

g/人・日	尿尿		雑排水		計
	量	割合	量	割合	
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-7 汚濁負荷量原単位²⁾

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

表-8 汚濁負荷量原単位

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

5. 試算結果および考察

シナリオ1, シナリオ2の試算結果を表-9, 表-10に、海ほたるPA・美野里PAの汚濁負荷削減効果を図-4, 図-5に示す。表-9のシナリオ1では水道使用量・電力量および各料金が1~2割程度削減されることがわかる。表-10のシナリオ2では水道使用量・電力量および各料金が4~7割程度削減される。特に大規模SAの守谷SAでは、上下水道料金がシナリオ1では1,000万円程度削減、シナリオ2では2,200万円程度削減され、大幅なコスト削減が反映される。小規模施設の君津PAでは削減量は少ないものの、水道使用量は70%前後の削減率となっている。表-9と表-10を比較すると、シナリオ2はシナリオ1より2~4倍の削減効果が得られることが考えられる。ただし海ほたるPAは、トイレ洗浄水に中水を利用しているため料金の削減は得られないと同時に、現状の浄化槽処理施設のシステムでは電力量の削減が見込めない。図-4, 図-5より、汚濁負荷削減効果は海ほたるPA・美野里PAともに窒素が4~8割、リンが2~4割削減となり、水域への環境負荷低減に大きな効果が期待できる。シナリオ2の削減効果はシナリオ1に比べ、海ほたるPAは約2倍、美野里PAは1.6倍得られ、尿分離型トイレおよび無水小便器を併用することで、より一層の効果が生じることが示された。

表-9 シナリオ1 試算結果

対象施設		守谷SA	谷田部東PA	海ほたるPA	美野里PA	君津PA	
水道	水道使用量 (m ³ /年)	改善後	108,991	16,053	62,996	13,678	2,570
		削減量	23,679	4,111	7,095	2,460	729
	水道料金 (万円/年)	改善後	2,631	400	中水利用の為変化無し	372	108
		削減量	572	103	中水利用の為無し	57	31
水量・料金削減率		17.8%	20.4%	(水量のみ) 10.1%	15.2%	22.1%	
汚水処理施設	尿除去量(m ³ /年)		769	128	231	63	62
	汚水流入量 (m ³ /年)	改善後	109,801	16,145	74,177	12,829	2,616
		削減量	24,448	4,239	7,326	2,523	792
	下水道料金 (万円/年)	改善後	1,788	244			
		削減量	410	67			
汚水流入量削減率		18.2%	20.8%	10.4%	16.4%	23.3%	
電気	電力量 (kWh/年)	改善後	3,243,204	116,205	変化無し	218,236	75,072
		削減量	7,164	3,566	無し	15,445	7,388
	電気料金 (万円/年)	改善後	4,260	275	変化無し	329	190
		削減量	9	9	無し	23	19
水回りの電力量・料金削減率(施設全体)		18.3% (0.2%)	20.9% (3.0%)	0.0% (0.0%)	16.5% (6.6%)	22.9% (9.0%)	

表-10 シナリオ2 試算結果

対象施設		守谷SA	谷田部東PA	海ほたるPA	美野里PA	君津PA	
水道	水道使用量 (m ³ /年)	改善後	78,630	10,432	39,818	10,316	953
		削減量	54,040	9,732	30,273	5,822	2,346
	水道料金 (万円/年)	改善後	1,898	260	中水利用の為変化無し	295	40
		削減量	1,304	243	中水利用の為無し	134	98
水量・料金削減率		40.7%	48.3%	(水量のみ) 43.2%	36.1%	71.1%	
汚水処理施設	尿除去量(m ³ /年)		1,457	203	385	102	101
	汚水流入量 (m ³ /年)	改善後	78,751	10,449	50,844	9,427	962
		削減量	55,498	9,935	30,659	5,924	2,447
	下水道料金 (万円/年)	改善後	1,267	155			
		削減量	931	156			
汚水流入量削減率		41.4%	48.8%	43.5%	38.6%	72.0%	
電気	電力量 (kWh/年)	改善後	3,234,150	111,571	変化無し	197,940	59,502
		削減量	16,218	8,200	無し	35,741	22,958
	電気料金 (万円/年)	改善後	4,248	264	変化無し	298	150
		削減量	21	20	無し	54	58
水回りの電力量・料金削減率(施設全体)		41.4% (0.5%)	48.0% (6.8%)	0.0% (0.0%)	38.2% (15.3%)	71.1% (27.8%)	

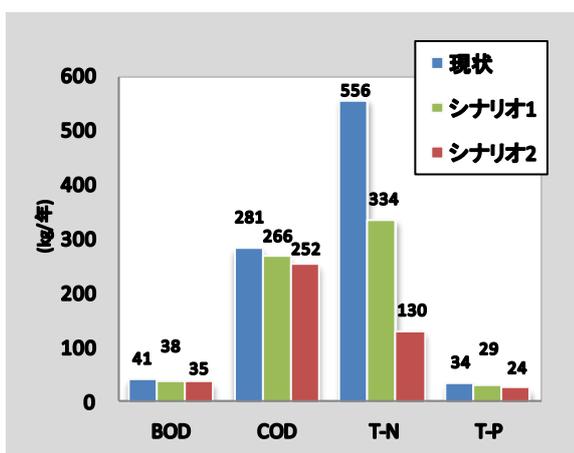


図-4 海ほたる PA 水域への汚濁負荷排出量

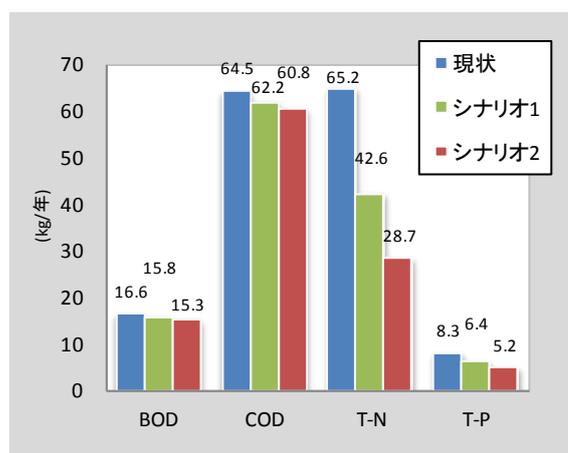


図-5 美野里 PA 水域への汚濁負荷排出量

6. むすび

本研究では守谷 SA・谷田部東 PA・海ほたる PA・美野里 PA・君津 PA の 5 施設における，尿分離型トイレと男子用無水小便器導入による環境負荷削減効果の試算を行った．その結果，どの対象施設でも両トイレを導入することにより，水道使用量および料金が 4 割から 7 割程度削減され，特に大規模 SA である守谷 SA では，上下水道料金が約 2,200 万円程度削減されることが示された．汚濁負荷削減効果は，海ほたる PA・美野里 PA とともに窒素が 4 割から 8 割程度，リンが 2 割から 4 割程度削減となり，水域への環境負荷低減に大きな効果を得られることがわかった．

謝辞

本研究は，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)の一環です．また，本研究に対して，NEXCO 東日本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) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説前篇，p. 91，1994.
- 2) 虫明功臣：分散型サニテーションと資源循環，技報堂出版，p. 66，2005.
- 3) 中川直子：コンポスト型トイレを用いた分散型排水処理システムの衛生学的評価及び環境負荷評価，お茶の水大学大学院人間文化研究科，平成 18 年度学位論文，2007.