

東京都区部におけるディスポーザー導入による環境影響評価

Environmental impact assessment of introduction of the garbage grinder in Tokyo

塚原 純哉¹

片山 浩之²

佐藤 弘泰²

味埜 俊²

Junya Tsukahara

Hiroyuki Katayama

Hiroyasu Satoh

Takashi Mino

ABSTRACT: Environmental impacts of the introduction of the garbage grinder in Tokyo were calculated in terms of total CO₂ emission and energy consumption in the sewer system and the waste treatment system, and BOD discharge from the sewer system. Two types of garbage grinders were considered: grinders with and without biological treatment facilities before discharging the ground garbage into the sewer. The following two sewage flow conditions were compared: the flow condition at the present time and that after the CSO control project of Tokyo is completed. It was implied that intensive use of garbage grinder is acceptable only when effective use of organic matters in the sewage for energy recovery is achieved together with completion of the CSO control project of Tokyo.

KEYWORDS: garbage grinder, energy consumption, combined sewer overflow

1 はじめに

近年、わが国は膨大なごみ処理量や最終処分場の逼迫などの問題に直面し、持続可能な循環型社会の形成に取り組むことが緊急の課題となっている。こうした社会のニーズの中で、一般廃棄物の総量に占める割合が30～50%に及ぶ厨芥類の新回収方法としてディスポーザーの導入が考えられる。

ディスポーザーに関する議論をする際には、導入により社会システム全体がどう変容するかを捉える必要がある。特にディスポーザー導入の際に最も大きな問題となる合流式下水道からの雨天時越流水による汚濁負荷には注意を払う必要がある。また、諸外国ではディスポーザー単体のみを設置し、生ごみを粉碎後に下水道へ排水するシステムが組まれているのに対して、わが国では排水処理槽によってディスポーザー排水を処理した後下水道へ排水するシステムが一部では組まれている。これに関してはそれぞれのシステムの利点、欠点を評価する必要がある。

2 目的

一般にディスポーザー導入による社会的影響は生活面や経済面や環境面など多岐に渡る。本研究はその中で環境面に的を絞り、人口の集中する大都市である東京都区部においてディスポーザーを導入することによって生じる環境影響を算出することとした。また、計算した環境影響を比較・検討することにより、将来ディスポーザーを導入することの是非や、導入するための条件を考えていくことを目的とした。

計算の項目としては表-1に示すとおり、廃棄物処理、ディスポーザー運転、下水処理については、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量を指標として計算を行い、合流式下水道雨天時越流負荷についてはBODを指標として計算を行うこととした。

¹ (株) 日水コン NIHON SUIDO CONSULTANTS CO., LTD.

² 東京大学大学院新領域創成科学研究科 Graduate School of Frontier Science, Tokyo University

表-1 計算項目

側面	項目	指標		
		CO2排出量	エネルギー消費量	BOD
廃棄物処理	ごみの収集・運搬	○	○	-
	ごみの焼却	○	○	-
	ごみ焼却による発電	○	○	-
ディスポーザー運転	本体の運転	○	○	-
	排水処理槽の運転	○	○	-
合流式下水道雨天時越流水による負荷		-	-	○
下水処理	水処理設備	○	○	-
	汚泥処理設備	○	○	-
	汚泥焼却設備	○	○	-

注:○はその項目を計算するもの

計算を行うにあたり表-2 に示すように計算条件を設定した。ディスポーザーに関しては、「ディスポーザーなしの場合」と「ディスポーザー単体で利用し、厨芥類を直接下水道へ排水する場合(以下 Type-1 とする)」、「排水処理槽を併用し、厨芥類を粉碎後に排水処理を行い下水道へ排水する場合(以下 Type-2 とする)」の3 ケースを想定した。また、合流改善に関しては、東京都で行われている合流式下水道改善事業の事業内容と進捗状況¹⁾より現状を「3Q 遮集が完了した状態」とし、合流改善後を「3Q 遮集化に加えて流域面積あたり 8mm 貯留を行い、さらに遮集下水を 2Q*60min 分だけ貯留できる状態」と仮定した。

以上の条件設定を組み合わせ、ディスポーザーなしの場合、Type-1 のディスポーザーを導入した場合、Type-2 のディスポーザーを導入した場合のそれぞれについて、現状の場合と合流改善後の場合を考え、合計 6 ケースについての計算を行うこととした。なお、計算の条件となるディスポーザーの普及率はそれぞれの種類で 100%とした。また、下水処理、廃棄物処理、降水量の統計データは平成 12 年度のものをを用いた。

表-2 計算条件

ディスポーザーに関する条件	なし	ディスポーザーを設置しない場合
	Type-1	単体で利用し、厨芥類を粉碎後に直接下水道へ排水するもの
	Type-2	排水処理槽を併用し、厨芥類を粉碎後に排水処理を行い下水道へ排水するもの
合流改善に関する条件	現状	3Q
	合流改善後	3Q+8mm+2Q*60min

3 計算方法

3.1 廃棄物処理

収集・運搬、焼却、補助燃料使用、発電の各項目について、清掃工場ごとでのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を求めた。計算は近藤らによる手法²⁾を参考とし、ディスポーザーなしの場合とありの場合の2 ケースで行った。また、ディスポーザーありの場合では、可燃ごみに占める厨芥類分を処理しないものとして計算を行った。

(1) 収集・運搬

収集運搬作業に関しては「多摩川清掃事務所では 2t 車を 57 台使用し、それぞれの車は 1 日 6 回、平均 7km 走行している」という聞き取り調査³⁾の結果より、全ての事務所で表-3 に示す収集作業を行ったと仮定した。

表-3 ごみ収集・運搬に関する条件

ごみ搬入量	949.3	t/台/年	多摩川清掃事務所管轄区域内で 54,110t/年処理する際に 2t 車を 57 台使用することから
収集距離	7	km/回	多摩川清掃事務所聞き取り調査より
収集回数	6	回/日/台	多摩川清掃事務所聞き取り調査より
収集頻度	2	日/週	中央区の一部を除いて 2 回/週の回収が行われている
運搬距離	26	km/回	中防外～都区部中心

(2) 焼却

ごみの焼却に伴う二酸化炭素排出量に関しては、表-4 のように実ごみの成分ごとの炭素比率⁴⁾と平成 12 年度の可燃ごみ組成⁵⁾とを掛けあわせて算出した。なお、廃棄物燃焼による二酸化炭素排出量はバイオマス由来を除いた分のみを計算の対象とした。

(3) 補助燃料使用

各工場で用いられる重油、灯油、ガスといった補助燃料使用量の二酸化炭素、発熱量への換算は表-5 の原単位⁶⁾を用いた。

表-4 ごみ組成と成分ごとの二酸化炭素排出係数

	可燃ごみ組成 %	炭素比率 C%WB	二酸化炭素排出係数 g-C/kg
プラスチック	6.2	52.08	32.29
紙類	46.0	23.65	108.79
厨芥	31.9	17.70	56.46
繊維類	4.4	29.26	12.87
木竹類	10.6	22.36	23.70
ゴム皮革	0.2	34.20	0.68
その他	0.0	9.14	0.00
不燃	0.7	0.00	0.00

表-5 補助燃料の二酸化炭素排出係数と発熱量

	二酸化炭素排出係数	発熱量
重油(A.B.C重油の平均)	0.7699 kg-C/L	9567 kcal/L
灯油	0.6669 kg-C/L	8900 kcal/L
ガス	0.5839 kg-C/m ³	13000 kcal/m ³

(4) 発電・電力使用

発電量に関しては(1)式より求めた。ディスボーターありの場合については、ディスボーターなしの場合の各工場の発電効率を用いて発電量を決定した。なお、厨芥類が可燃ごみから除かれれば水分が減少するため、ごみの低位発熱量はディスボーターなしでは 2000kcal/kg、ディスボーターありでは 2850kcal/kg と設定した。⁷⁾

場内消費電力量は清掃工場ごとにごみ処理総量に比例するとし、ディスボーターありの場合は平成 12 年度のごみ処理量と場内電力消費量の比にごみ処理量をかけて算出した。また、余剰電力としての売電量は(2)式より計算した。

$$\text{発電量 (kWh)} = \frac{\text{ごみ焼却量(kg)} \times \text{ごみの低位発熱量(kcal/kg)} \times \text{発電効率(-)}}{\text{電力原単位(kcal/kWh)}} \quad \text{——(1)}$$

$$\text{売電量 (kWh)} = \text{発電量 (kWh)} - \text{場内消費電力量 (kWh)} \quad \text{——(2)}$$

3.2 越流負荷量

越流負荷量の算出に当たっては、まず、ディスボーターなしの場合とありの場合のそれぞれで現状及び合流改善後を考え、4 ケースについて下水の流量把握の計算を行った。次に、ディスボーターなしの場合と Type-1 の場合、Type-2 の場合のそれぞれについて現状と合流改善後を考え、6 ケースについて土研モデルを用いて越流負荷量把握の計算を行った。なお、これらの計算は東京都区部の 10 の下水処理区ごとに行った。

(1) 流量

まず、土地利用状況⁸⁾から各下水処理区ごとの流出係数を(3)式より算出した。この値と平成 12 年度の降水量統計⁹⁾と下水道統計¹⁰⁾の値から、下水発生量を処理区ごとに一時間単位で算出した((4)~(6)式)。次に合流改善の条件から越流水量・処理場流入量を処理区ごとに一時間単位で計算した。なお、雨水の下水道への流入量に関しては合理式を用いて計算した。この結果、ディスボーターなしの現状について算出された処理場流入量は、図-1 に示すとおり統計値¹⁰⁾に近い値となった。

$$\text{流出係数(-)} = \sum \text{各土地利用の面積割合(-)} \times \text{各土地利用の流出係数(-)} \quad \text{——(3)}$$

$$\text{雨水流入量 (m}^3/\text{h)} = 10 \times \text{流出係数(-)} \times \text{降雨強度(mm/h)} \times \text{流域面積(ha)} \quad \text{——(4)}$$

$$\text{晴天時時間平均下水量 (m}^3/\text{h)} = \text{晴天時日平均下水量 (m}^3/\text{d)} / 24 \quad \text{——(5)}$$

$$\text{下水発生量 (m}^3/\text{h)} = \text{雨水流入量 (m}^3/\text{h)} + \text{晴天時時間平均下水量 (m}^3/\text{h)} \quad \text{——(6)}$$

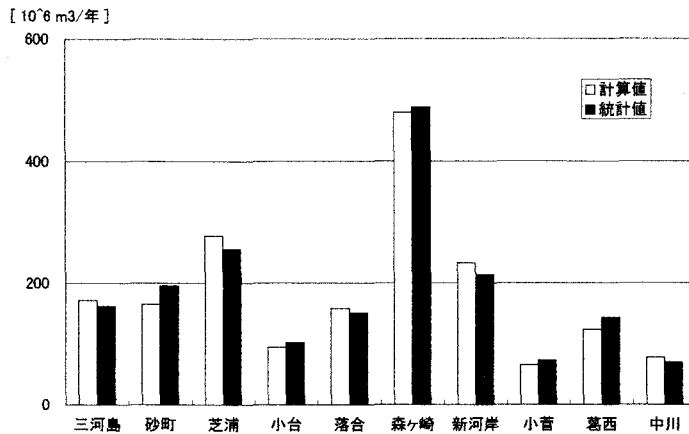


図-1 年間処理量の計算結果と統計値との比較

(2) 越流負荷量

次に、求めた下水発生量をもとに (7) 式及び (8) 式で表される BOD に関する土研モデル式¹¹⁾ を用いて処理区ごとに流出負荷量を算出した。これにより計算された各時間の下水濃度と、先に求めた越流量・処理場流入水量をかけ合わせることで、越流負荷量と処理場流入負荷量を計算した。なお、各ディスポーザーを導入することにより生じる排水水質の変化に関する原単位は表-6 の値¹²⁾ を用いた。また、土研モデル (8) 式については (9) 式のように差分した形で計算を行い、 $\Delta t=1$ (h)=3600 (s) として計算を行った。

$$L = C \cdot P_p^2 \cdot (Q - Q_c) \quad \text{--- (7)}$$

$$\frac{dP_p}{dt} = D_L - L \quad \text{--- (8)}$$

$$P_{p2} = P_{p1} + \Delta t \cdot \left(D_L - \frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad \text{--- (9)}$$

L : 流出負荷量 (g/s)

P_p : 管内堆積負荷量 (g)

Q : 流量 (m³/s)

Q_c : 限界流量 (m³/s)

C : 負荷流出係数 (-)

D_L : 汚水負荷量 (g/s)

表-6 ディスポーザー排水水質、水量の条件

Type-1BOD	27.5	g/人・日
Type-2BOD	-7.5	g/人・日
水量	5	L/人・日

3.3 下水処理

「3.2 越流負荷量」で計算された下水処理場流入水量及び流入水質をもとに、下水処理工程で発生する固形物量を (10) 式¹³⁾ から処理区ごとに計算し、その処理に伴うエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を算出した。計算はディスポーザーなし、Type-1、Type-2 のそれぞれに現状と合流改善後を考え 6 ケースで行い、図-2 に示した実際の汚泥処理の流れ¹⁰⁾ が反映されるように計算を行った。なお、Type-1 の場合は下水中の有機物量が増加するため消化ガス発生量が増加するが、汚泥の加温に当てて余った分の消化ガスは焼却工程で重油の代替燃料として利用するよう仮定して計算を行った。計算に用いた各汚泥処理工程での汚泥含水率は東京都区部の実績¹⁰⁾ の平均値である表-7 に示す値を用いた。

各処理工程ごとの負荷量算出のための原単位は表-8⁷⁾ を用いた。ここで、水処理設備での消費電力計算は (11) 式及び (12) 式を、汚泥焼却設備での消費電力計算は (13) 式を用いた。また、電力の二酸化炭素の排出原単位は 89 (g-C/kWh)¹⁴⁾ を、A 重油の二酸化炭素排出原単位は 735.7 (g-C/L)⁶⁾ を用いた。

$$\text{回収固形物量} = \{ \text{曝気槽汚泥転換率} \times \text{流入 S-BOD 濃度} + \text{曝気槽汚泥転換率} \times \text{流入 SS 濃度} \\ - \text{内生呼吸減量係数} \times \text{曝気槽 HRT} \times \text{MLSS 濃度} \} \times \text{高度処理流入水量} \quad \text{--- (10)}$$

$$\text{水処理設備消費電力量(ディスポーザーなし)} = 0.3008 \times \text{流入水量} + 2782.3 \quad \text{--- (11)}$$

$$\text{水処理設備消費電力量(Type-1, 2 の場合)} = (0.3008 \times \text{流入水量} + 2782.3)$$

$$\times \left\{ \left(\frac{\text{流入BOD量}}{\text{ディスポーザーなしの流入BOD量}} + 1 \right) \times 0.5 \right\} \quad \text{--- (12)}$$

$$\text{汚泥焼却設備消費電力量} = (\text{投入ケーキ量} \times 1.87 + 84.5) \times 24 \text{ (h)} \quad \text{--- (13)}$$

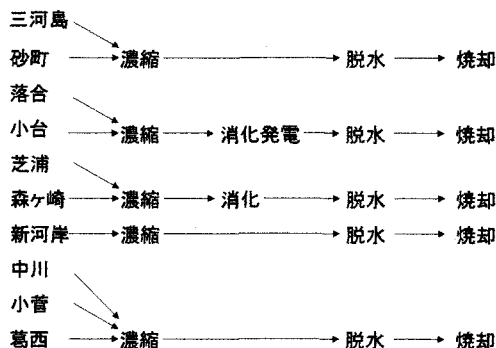


図-2 処理区ごとの汚泥の流れ

表-7 各処理工程の汚泥含水率

	投入汚泥含水率	排出汚泥含水率
重力濃縮	0.994	0.976
遠心濃縮	0.995	0.966
遠心脱水	0.975	0.782

表-8 処理工程ごとの原単位

水処理設備	消費電力原単位	kWh/m3	
汚泥濃縮設備	消費電力原単位	kWh/t-DS	200
汚泥消化設備	消費電力原単位	kWh/m3	45
	消化ガス発熱量	kcal/m3	10000
	電力原単位	kcal/kWh	860
汚泥脱水設備	消費電力原単位	kWh/kg-DS	0.19
汚泥焼却設備	消費電力計算式	kWh/m3/日	

3.4 ディスポーザー本体の運転

Type-1 では本体の運転のみを考え、Type-2 では本体運転に加えて排水処理槽の運転についても考慮し、エネルギー消費量と二酸化炭素排出量を計算した。本体出力に関する原単位は表-9¹²⁾を用い、排水処理槽での電力消費量については図-3 に示した各社の対応戸数と電力消費量との関係¹⁵⁾を平均した値である228.6(kWh/戸/年)を用いた。この結果、各ディスポーザーを導入した場合の東京都区部全体での電力消費量は表-10 のようになった。

表-9 ディスポーザー本体出力

ディスポーザーの処理能力	kg/min	2.5
ディスポーザーの出力	W	400

表-10 ディスポーザー導入による電力消費量 (kWh/年)

	なし	Type-1	Type-2
本体電力消費	0	2,432,768	2,432,768
処理槽電力消費	0	0	871,183,705
合計	0	2,432,768	873,616,473

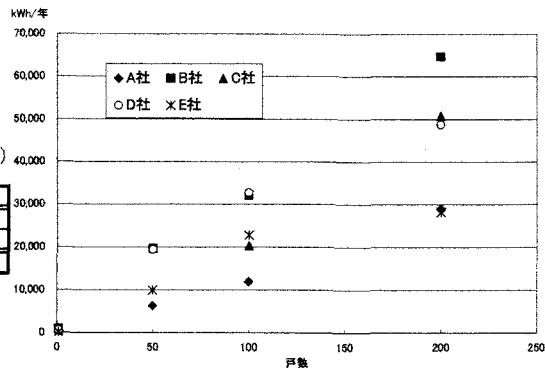


図-3 メーカーごとの排水処理槽の電力消費量

4 結果

「3. 各計算項目」で記した各項目について負荷量計算を行った結果を、6つのケースごとにまとめたものを表-11に示す。また、評価項目ごとの結果は図-4～図-6のようになった。

合流改善前における比較では、Type-1のディスポーザーを導入するとエネルギー消費量、二酸化炭素排出量ともにわずかながら増加するという結果となり、越流負荷量は大きく増加するという結果となった。Type-2のディスポーザーの場合はエネルギー消費量、二酸化炭素排出量とも大幅に増加するという結果となったが、越流負荷量は減少するという結果となった。また、合流改善前後での比較ではエネルギー消費量、二酸化炭素排出量は各ケースとも合流改善後に増加するという結果となったが、越流負荷量は半分以下に削減される結果となった。

表-11 ディスポーザーによる環境影響計算結果

エネルギー消費量(単位:10⁶MJ/年)

	ディスポーザーなし		Type-1		Type-2	
	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後
下水処理	2,713	3,248	3,266	3,918	2,590	3,082
廃棄物処理	-1,008	-1,008	-1,501	-1,501	-1,501	-1,501
ディスポーザー	0	0	9	9	3,145	3,145
合計	1,705	2,240	1,775	2,427	4,235	4,727

二酸化炭素排出量(単位:t-C/年)

	ディスポーザーなし		Type-1		Type-2	
	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後
下水処理	63,168	75,895	75,837	91,370	60,322	72,015
廃棄物処理	68,586	68,586	57,252	57,252	57,252	57,252
ディスポーザー	0	0	217	217	77,752	77,752
合計	131,754	144,481	133,306	148,839	195,326	207,020

越流負荷量(単位:t-BOD/年)

	ディスポーザーなし		Type-1		Type-2	
	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後	合流改善前	合流改善後
越流	39,423	17,458	57,659	25,575	34,487	15,156

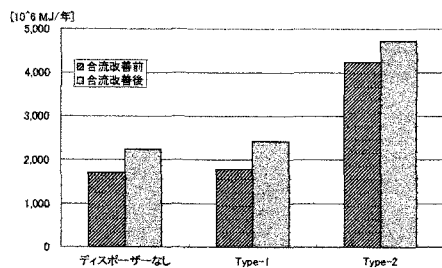


図-4 各ケースでのエネルギー消費量の比較

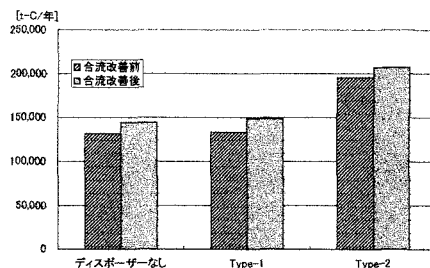


図-5 各ケースでの二酸化炭素排出量の比較

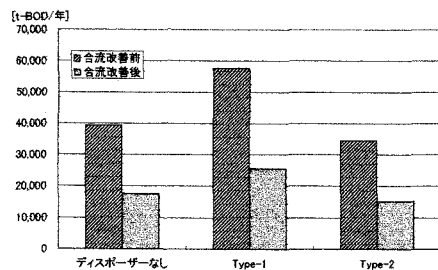


図-6 各ケースでの越流負荷量の比較

5 考察

5.1 結果についての考察

合流改善前における結果を比較すると、Type-1 では下水処理とディスポーザー本体の負荷増加分が廃棄物処理の負荷減少分を上回り、合計では現状よりも負荷が増大する結果となった。次に Type-2 では廃棄物処理による負荷の減少 (Type-1 と同値) に加えて下水処理でも負荷が減少した。しかし、ディスポーザー本体の運転による負荷増加分が非常に大きな値となり、合計値は現状の 2 倍以上の大きな値となった。このことから Type-2 で二重に排水処理を行うことがエネルギー面では非常に効率の悪いことであるといえる。

合流改善前後での結果を比較すると、各ケースとも合流改善後には下水処理にかかる負荷が増加している。これは、越流水に含まれる負荷が減少する分、下水処理での負荷増があることを示している。

5.2 有機物の有効利用に関する考察

平成 12 年度の下水処理実績によると、消化設備を持つ砂町処理場は消化作業を休止している状態であり⁹⁾、ここまでの計算はこれを前提として行ったものである。一方で、本レジュメでは割愛されるが、Type-1 の場合に汚泥処理工程において余剰消化ガスを有効に利用することによって、かなりのエネルギーメリットが見込めるという結果が得られた。このことから、以下の二つの条件について追加計算を行った結果を図-7、図-8 に示した。

- (1) 消化設備を持つ砂町処理場での汚泥消化があった場合
- (2) 汚泥処理設備を有する処理場で汚泥を全量消化した場合

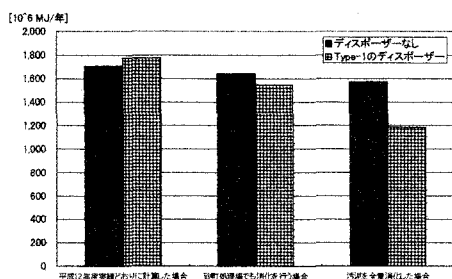


図-7 消化条件によるエネルギー消費量の比較

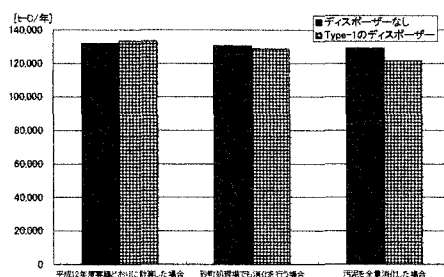


図-8 消化条件による二酸化炭素排出量の比較

平成 12 年度の実績どおりの計算では、Type-1 のディスポーザー導入によってエネルギー消費量、二酸化炭素排出量ともに増加する結果となった。これに対して、消化を休止中の砂町処理場でも汚泥消化を行うと仮定すると、Type-1 のディスポーザー導入によってエネルギー消費量は 97,215,300 (MJ/年)、二酸化炭素排出量は 1,729 (t-C/年) と、ともに削減される結果となった。また、発生汚泥を全量消化すると仮定した場合には、ディスポーザー導入による負荷削減はエネルギー消費量が 384,682,226 (MJ/年)、二酸化炭素排出量が 7,406 (t-C/年) と、さらに大きくなった。このことから、Type-1 では厨芥類中の有機分を下水処理工程でいかに有効利用するかがエネルギー面で重要であるといえる。

5.3 ディスポーザー導入についての考察

まず、Type-2 のディスポーザーについては、導入により越流負荷が減少されるというメリットがあるものの、排水処理槽の運転による負荷が莫大であるために合計負荷量は大きく増加するという結果となった。地球環境に配慮した社会を目標とする現在の東京都の方針からも、このような結果をもたらす施策は好ましいとはいえない。また東京都の土地利用状況から、各地に排水処理槽を作りディスポーザーを導入する本方式は普及率を上げて導入することはできないだろう。

次に、ディスポーザー導入により環境負荷を増大させないという条件を設けた際の Type-1 の計算結果を図-9 と図-10 に模式的に表した。Type-1 によって増大する越流負荷量については合流改善事業によって対応することができる上に、現在東京都で同時並行的に行われている合流改善クイックプランによってさらなる削減効果を見込むことができる。一方、エネルギー消費量と二酸化炭素排出量については合流改善事業が進むと負荷量が増加することとなる。これに対しては汚泥中の有機分を有効に活用する技術の進展による対応が望まれる。

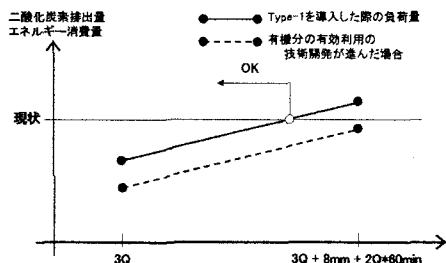


図-9 合流改善とエネルギー消費量、
二酸化炭素排出量との関係

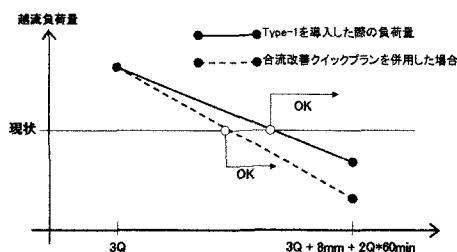


図-10 合流改善と越流負荷量との関係

6 まとめ

ディスポーザーは市民生活の利便性を上げるのみでなく、家庭周辺の衛生面でもメリットをもたらす装置である。その一方で、環境面に大きな影響を与える装置もあり、導入によって環境的メリットを引き出すためには普及率をある程度以上にあげる必要がある。

本研究の結果として、東京都区部においてディスポーザー排水処理槽を各地に個別に設置する Type-2 は、環境面での負荷増が大きすぎることや実現可能性を考慮すると導入を行うべきではないという結論に達した。一方、ディスポーザー排水を直接下水道へ流す Type-1 については、合流改善事業の進展度合いや汚泥中の有機分の有効利用法によっては環境側面でメリットを出すことが可能である。このため、環境側面でメリットを出せるよう社会システムが構築された際には、Type-1 のディスポーザーを区部全域で導入し、厨芥類中の有機物の有効利用を図ることが望ましいといえる。

参考文献

- 1) 東京都下水道局計画部総合計画課、下水道構想 2001、2001
- 2) 近藤英明、ディスポーザー導入による東京 23 区の下水处理及び廃棄物処理システムへの影響評価（東京大学工学部都市工学科学士論文）、2002
- 3) 山田拓也、東京 23 区の CO2 排出量削減のための廃棄物システムモデルの構築と評価（東京大学工学部都市工学科学士論文）、1999
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成 7 年度高校率メタンガス製造技術開発成果報告書、1996
- 5) 東京 23 区清掃一部事務組合、事業概要、2001
- 6) 富士総合研究所、地球環境温暖化対策地域推進計画に係る基礎調査報告書、1995
- 7) 造水促進センター、平成 6 年度地球環境に資する研究開発調査報告書、1995
- 8) 東京都公式ホームページ、<http://www.metro.tokyo.jp/>
- 9) 気象庁電子閲覧室ホームページ、<http://www.data.kishou.go.jp/>
- 10) 社団法人日本下水道協会、平成十二年度版下水道統計行政編一、2002
- 11) 社団法人日本下水道協会、合流式下水道改善対策指針と解説-2002 年版一、2002
- 12) 建設省建築研究所、ディスポーザーによる生ごみリサイクルシステムの開発（平成 6 年度～平成 8 年度）報告書、1997
- 13) 社団法人日本下水道協会、下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2001 年版、2001
- 14) 東京電力ホームページ、<http://www.tepco.co.jp/>
- 15) 生ごみ処理システム協会、資料・ディスポーザー排水処理システム各社電力消費量