

(13) 下水処理場の機能解析(その2)

—汚泥処理系から污水处理系へのバックロード—

東京大学工学部 ○中西準子 高橋敬雄
高橋哲也 細野雄一

1. 本研究の目的

下水の3次処理の必要性が言われ始めてすでに久しい。しかし現行の3次処理技術というものは、2次処理水を直接処理していこうとする技術であって、污水处理と汚泥処理を含めた下水処理のトータルな見地からの検討が、ほとんどなされていない。つまり、現在の2次処理と汚泥処理の過程で、N、Pなどの物質がどのような挙動をしているのか、汚泥処理系から污水处理系への「もどり負荷」—バックロード—がどれくらいあるのかを調査検討することなく、污水处理系だけで3次処理をしようとしている。

そこで我々は、污水处理と汚泥処理を不可分のトータルシステムと考え、現実の下水処理場の中での相互の関係を調査し、汚泥処理が污水处理に与えている影響を検討した。既存の2次処理施設や汚泥処理施設の運転方法を含めた改善と、新たな汚泥処理法の開発により、現行の3次処理と同様の効果を上げ得る可能性があると考えたからである。

2. 調査研究の方法

現実の下水処理場で、污水および汚泥のフローを把握し、それぞれの処理過程において物質収支をとった。

2-1. 調査した処理場の概要→表-1, 2

表-1 サンプルング日時と処理場の概要

	調査年月日	天 候	流入水量	処理人口	処理面積	排除方式	污水处理方式
藤沢市南部 下水処理場	75.12.5(金) ～ 12.6(土)	5日午前中に 10ミリの降雨	82,900 m ³ /d	76,900 人	927 ha	合流式	標準活性 汚泥法
横浜市北部 下水処理場	76. 2.4(水) ～ 2.5(木)	曇り時々晴れ	141,000 m ³ /d	489,000 人	1,122 ha	合流式	標準活性 汚泥法

2-2. サンプルングの方法

污水处理系(流入水、放流水)については、24時間のコンポジットサンプル(2～3時間ごとにサンプルングし、流量比に応じて混合したサンプル)を作り、分析した。

汚泥処理系については、3時間ごとにサンプルングし、2回分ずつの等量混合サンプルを作り、それを分析にかけた。

表-2 汚泥処理法の概要

	汚泥処理法	反応温度	反応圧力	反応時間
藤沢 南部	熱処理 (一部生脱水)	200℃	20気圧	2時間
横浜 北部	湿式酸化	200 240℃	70気圧	1時間

2-3. 流量の把握

電磁流量計により測定されているものは、それを採用した。固液分離など、流入量と、一方だけの流出量しか測定されていない場合、もう一方の流出量は、前記の二者の差から求めた。ケーキ生成量、濾液量は、フィルタープレスの容量と運転回数の積から求めた。

3. 調査結果

3-1. 分析結果および負荷量の計算

分析結果を、最終ページの付表-1, 2に示す。負荷量は、濃度×流量により算出した。

3-2. 物質収支

図-6～図-11に、TS、Kj-N、T-Pの物質収支を示した。数字は流入水負荷を100としたときの指数である。TSおよびKj-Nの図の中の斜線部分は、それぞれVTS、NH₄-Nを示している。

藤沢市南部下水処理場の生脱水の濾液および洗浄水の負荷は、流入水負荷の1%程度なので省略した。

4. 調査結果の解析と考察

4-1. 熱処理および湿式酸化

による物質の変化

熱処理および湿式酸化による原料汚泥（破碎された濃縮汚泥）中の物質の変化を図-1から図-5に示した。上段が反応前、下段が反応後である。反応後の図の中の針線部分は分離液、濾液として污水处理系へ返送されるバックロードであり、白い部分はケーキ中に残留する部分を表わしている。数字は原料汚泥中のTS, COD(Cr), Kj-N, T-Pの負荷量を100としたときの指数である。

(A) 固形分および有機物について→図1, 2, 3,

熱処理では、TSはほとんど変化しない。SSは88%が50%に減少し、その分だけDSが増える。有機物の酸化は、COD(Cr), VTSともに3%程度である。

湿式酸化では、反応後のTSは約40%減少する。SSは91%が36%に減少する。酸化度はCOD(Cr), VTSともに60%程度である。

污水处理系へのバックロードは、TSについては、熱処理が26%（SS9%, DS17%; VTS19%, FTS7%）、湿式酸化が31%（SS1%, DS30%; VTS19%, FTS12%）である。COD(Cr)では、それぞれ30%, 34%となっている。

以上より、熱処理には酸化作用はほとんどないが、SSの減少から明らかに、溶解化作用はあることがわかる。一方、湿式酸化は、溶解化作用とともに60%程度の酸化作用を有する。汚泥の沈降性は、湿式酸化が特に優れ、污水处理系へのバックロードは、熱処理とは異なり、ほとんどDSに由来している。

(B) Nについて→図-4

熱処理により、NH₄-Nは15%が42%と3倍近くに増加し、逆にOrg-Nは減少する。湿式酸化の場合も同様に、NH₄-Nは18%が50%に増加している。湿式酸化後のKj-Nが10%減少しているのは気液分離時の損失と考えられる。（この分はスクラバーで洗浄され、污水处理系へ返送される）

Org-Nの溶解化、NH₄化のため、熱処理では60%、湿式酸化では80%（スクラバー洗浄水も含めると90%）が污水处理系へのバックロードとなり、ケーキ中には、それぞれ、わずか40%, 10%しか残らない。

(C) Pについて→図-5

湿式酸化後のT-P負荷量が22%も減少しているが、原因がはっきりしない。

污水处理系へのバックロードは、熱処理25%、湿式酸化9%で、ケーキ中には、それぞれ75%, 69%が残る。両方式とも、Pについてはケーキ中に残留しやすい特色を持っている。

(D) 生脱水との比較

—熱処理—

—湿式酸化—

図-1 SS

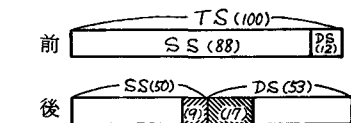


図-2 VTS

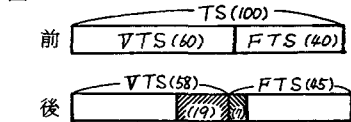


図-3 COD(Cr)

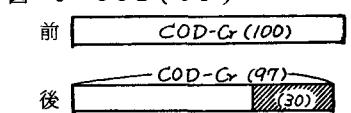


図-4 Kj-N

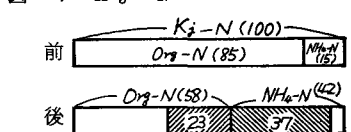
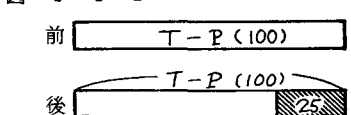


図-5 T-P



生脱水におけるバックロード（濾液、濾布洗浄水）はTS、COD（Cr）、Kj-N、T-Pそれぞれ濃縮汚泥中の負荷量の30%、7%、14%、5%である。熱処理、湿式酸化に比べてかなり少ない。しかし最終ケーキ量は、濃縮汚泥中のTS 1 t当たり5.8 tにもなる。（熱処理では1.3 t、湿式酸化では0.6 tである）

4-2. 流入負荷の検討

藤沢市南部下水処理場と横浜市北部下水処理場（以下、藤沢および横浜と略記）の流入水中のBOD、Kj-N、T-Pの負荷量、人口当量を表-3に示す。横浜'74のデータは高橋ら⁽¹⁾⁽²⁾による。

表-3 流入負荷と人口当量（ ）は人口当量（単位g/人・日）

	BOD (t/d)	Kj-N (Kg/d)	T-P (Kg/d)	BOD : N : P
藤沢	7.78 (101)	1.740 (22.6)	2.79 (3.6)	100 : 22 : 3.6
横浜 ('76)	22.8 (47)	3.330 (6.8)	7.63 (1.6)	100 : 15 : 3.3
横浜 ('74)	21.3 (65)	2.080 (6.4)	4.04 (1.2)	100 : 9.8 : 1.9

藤沢ではし尿処理場からの脱離液処理水（14万人分）が流入水に含まれている。その分の負荷量を差し引いても、人口当量は、BOD-91g、N-14g、P-2.5gで、標準値よりかなり大きい。処理区域には多大なBOD負荷を有する工場はない。それゆえ、この原因は降雨による影響と考えられる。（5日午前中に10ミリの降雨があった）流入水量は晴天時の40%増にもかかわらず、流入水のBOD濃度は晴天時と変わりがなかったことから考えても、雨水によって下水管底の沈積物が洗い流され、流入したと考えるのが妥当であろう。横浜の場合は、Nの人口当量が小さいが、BOD、Pは平均的な値である。

4-3 汚水処理系での除去量と除去率→表-4

表-4 汚水処理系での除去量（ ）は除去率（単位%）

	BOD (t/d)	Kj-N (Kg/d)	T-P (Kg/d)	除去量の比
藤沢	6.35 (82)	2.80 (15)	1.59 (58)	100 : 4.4 : 2.5
横浜 ('76)	22.0 (97)	5.26 (16)	1.3 (2)	100 : 2.4 : 0.1
横浜 ('74)	19.6 (92)	4.37 (21)	3.06 (76)	100 : 2.2 : 1.6

横浜'74と'76のPの除去量が大幅に違う原因は、'76は、生汚泥濃縮槽が正常に機能していなかったためである。（このことについては、4-4以下で詳しく述べる）

一般にばっ気槽でのBODとPの除去比は100 : 1.5~2.0と言われている。（ただし吸着による除去を含む）現実の下水処理場では、理想的な条件下（污泥処理系からのバックロードが0の場合）でのP除去量は、最初沈殿のプロセスを含むため、この数字を若干上回る可能性がある。（厳密には、初沈でのBODとPの除去量の検討が必要）Milbury⁽³⁾によれば、污泥処理系からのバックロードを0にした場合、ばっ気槽の運転方法を変えるだけで、BOD、N、Pの除去比は100 : 7.9 : 5.6にできたとある。

表-3、表-4から明らかなように、Pの流入負荷は、除去可能量を越えている。したがって流入規制—つまり洗剤中のPの規制—をすれば、下水中のP負荷量は半分になり、さらに、Pのバックロードが小さい汚泥処理（生汚泥の濃縮を含む）を用いれば、今の2次処理でPは十分に除去できるはずである。そうすれば当然、Pについての3次処理など必要なくなるのである。

4-4. 污泥処理系から汚水処理系へのバックロード

(A) 生汚泥濃縮槽上澄水のバックロード

図-6~11を見れば、藤沢、横浜ともに污泥処理系からのバックロードが流入負荷を大幅に上回っているものが多い。このバックロードのうち大部分を占めるのが、生汚泥濃縮槽の上澄水である。

(A)-1. 藤沢

藤沢の生汚泥（余剰汚泥を含む）は、TS濃度が他の処理場と比べて3%と非常に高い。そのためかどうかはわからないが、沈降性が悪く、濃縮槽でも全然濃縮が行なわれず、濃縮汚泥と呼ばれるものも生汚泥と

ほとんど変わらない。にもかかわらず、サンプリング時には、 $2,570\text{m}^3/\text{d}$ もの量を初沈から引き抜き濃縮槽から $2,360\text{m}^3/\text{d}$ もの上澄水（と言っても生汚泥と同じもの）を初沈へ返送していた。そのために上澄水のバックロードが大きくなったのである。

そもそも当処理場の生汚泥生成量は、 $\text{TS } 3\%$ とすれば、 $220\text{m}^3/\text{d}$ である。なのに $2,500\text{m}^3/\text{d}$ もの大量の生汚泥を循環させている。筆者らにはその意味がわからない。

(A) - 2. 横浜

サンプリング当日は、湿式酸化装置が運転を再開して間もなくのことで、汚泥貯留タンクに原料汚泥が大量に残っていた。そのため、濃縮汚泥を引き抜くことが不可能になり、生汚泥の濃縮時間が極度に小さくなり、ちょうど生汚泥が濃縮槽と初沈の間を循環することになった。そのために、上澄水のバックロードが大きくなったのである。

濃縮槽の総有効容量は $1,650\text{m}^3$ 、初沈引抜量は $6,000\text{m}^3/\text{d}$ だから、濃縮槽が正常に機能すれば、約6.6時間の滞留時間を得ることができる。

筆者らが行なった生汚泥の沈降試験によると、 $\text{TS} = 0.8\%$ 、 $\text{VTS} = 0.4\%$ のとき沈殿時間3時間で界面高は、最初の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ になった。つまり、生汚泥の沈降性は非常に良い。問題は滞留時間である。

(B) 分離液、ろ液のバックロード

(B) - 1. 藤沢 - 熱処理 -

$\text{NH}_4\text{-N}$ の分離液負荷は、流入負荷の10%である。しかし濃縮槽上澄水に比べれば小さい。（→図-6）

T-P, TS, VTSはNに比べて分離液のバックロードは小さい。（→図-7, 8）

(B) - 2. 横浜 - 湿式酸化 -

$\text{NH}_4\text{-N}$ の分離液負荷は、流入負荷の40%近くもあり、濃縮槽上澄水負荷とほぼ等しい。Kj-Nでは、20%のバックロードになっている。N（特に $\text{NH}_4\text{-N}$ ）のバックロードが大きいことがわかる。（図-9）それに対し、T-Pのバックロードは、わずか5%である。（→図-10）

(C) 汚泥処理系からのバックロードと汚水処理系の除去率

(C) - 1. Kj-Nについて（→図6, 9）

藤沢、横浜におけるKj-Nのバックロードは、それぞれ220%, 142%である。双方ともにKj-Nの除去率は15%程度しかない。分離液のNは溶解性のものがほとんどであるため、その影響が大きいと考えられる。（特に $\text{NH}_4\text{-N}$ はその傾向が顕著である）

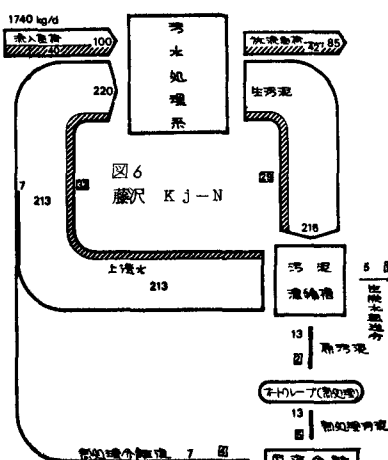


図6 藤沢 Kj-N

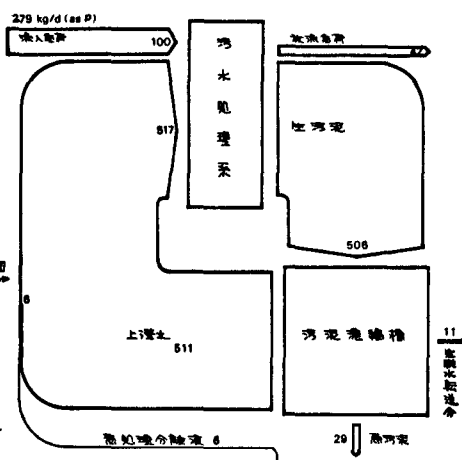


図7 藤沢 T-P

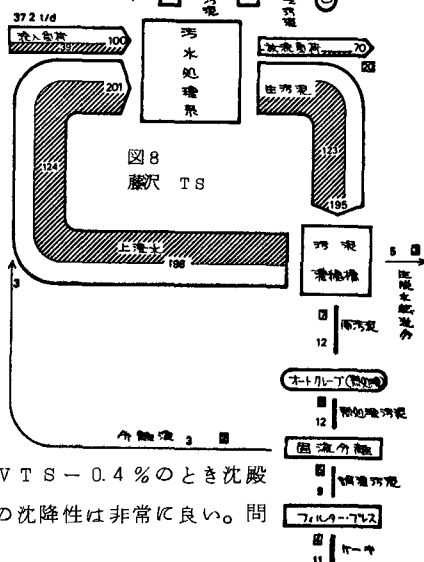


図8 藤沢 TS

(C)-2. T-P

(→図-7, 10)

藤沢の場合、上澄水のバックロードが511%と非常に大きいにもかかわらず、除去率は58%と比較的良好である。上澄水の性状から考えると、Pが溶出しにくいのではないだろうか。

横浜の場合、今回の調査では、除去率はわずか2%にすぎない。この原因は明らかに上澄水からの溶出にある。高橋ら⁽²⁾によれば、'74年度の調査では、濃縮槽は正常に機能していたため(ただし濃縮槽の物質収支はとられていないが)T-Pの除去率は76%にも達している。分離液のバックロードは、2回の調査ともに、わずか5~6%であったことを考えれば、上澄水がPの除去に悪影響を与えていることは確実である。

(C)-3. TS, VTSなど(→図-8, 11)

N, P以外の物質については、汚泥処理からのバックロードの汚水処理に与える影響は、あまりないようである。

4-5. 嫌気性消化の例

斎藤⁽⁴⁾、堺⁽⁵⁾は、嫌気性消化によって汚泥を処理している、京都市鳥羽下水処理場、横須賀市下町下水処理場の物質収支を調査している。

それによると、BOD, SSは汚泥処理系からのバックロードが大きいにもかかわらず、初沈流出水にはあまり影響を与えず、最終的な除去率も良い。しかし、N, Pについては、バックロードの影響によって初沈流出水中の負荷が流入負荷を上回り、除去率も悪くなっている。特にPは、嫌気的条件下での溶出による脱離流のバックロードが、放流水質に悪影響を与えている。

5. まとめ

5-1 生汚泥濃縮槽からのバックロードの減少を

当初の研究目的は分離液の汚水処理に与える影響を明らかにすることにあったのだが、それ以前に濃縮槽からのバックロードに大きな問題があるのには驚いた。

藤沢の場合、初沈引抜汚泥のTSが3%もあるのだから、無駄な循環をやめて、全量を熱処理するべきである。オートクレープ2基で300m³/dの汚泥が処理できるのである。(汚泥生成量は約220m³/d)そうすれば、汚水処理系でのN, Pの除去率は、さらに向上するであろう。('76年9月より、初沈引抜量500m³/d, 熱処理量300m³/dの試験運転を行なっている)

横浜の場合、湿式酸化装置をできるだけ連続運転し、原料汚泥が大量に貯まらないようにすれば、生汚泥の十分な濃縮時間が得られ、上澄水の水質も流入下水程度にすることが可能である。そうすれば、汚水処理系での高いP除去率の達成も困難なことではあるまい。

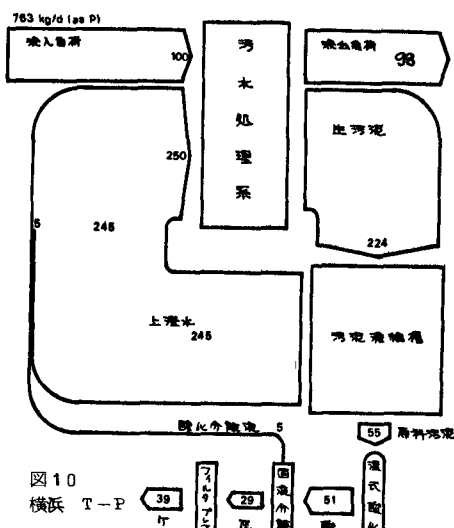
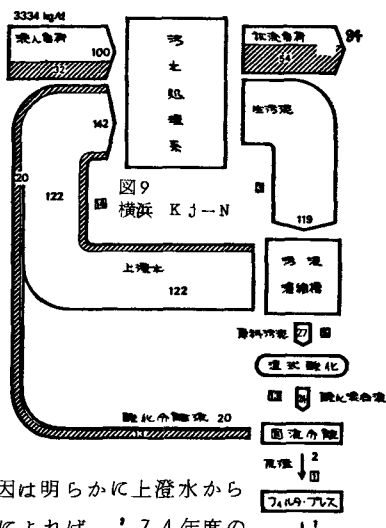


図 10
横浜 T-P

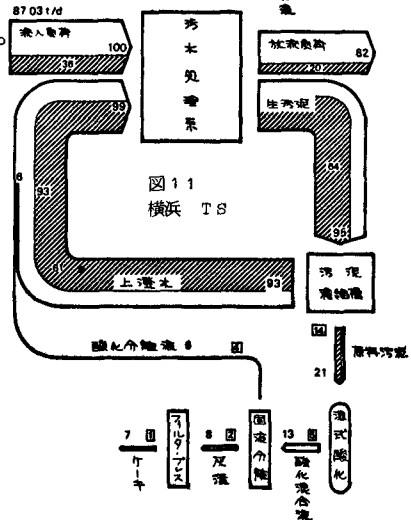


図 11
横浜 TS

生污泥の濃縮は污泥処理の基本である。十分な濃縮時間が得られるように容量に余裕を持たせ、無意味、無神経な污泥の循環を断ち切ることである。また、沈降性の悪い污泥については、その原因をつきとめ、改善することが先決である。それらの努力なしに、ただ3次処理の必要性を叫ぶことはナンセンスとしか言いようがない。

5-2. 熱処理、湿式酸化はPが溶出しにくい。しかしNは溶出する。

熱処理および湿式酸化では、ケーキ中にPが残留しやすく、分離液、濾液のバックロードは、流入負荷のわずから5~6%である。これは、嫌気性消化の脱離液のバックロードの1/4以下である。しかし、Nは、熱処理、湿式酸化の過程で、溶解化されるため、ほとんどが分離液中に溶出し、ケーキ中にとらえられにくい。(湿式酸化は特にこの傾向が著しい)

5-3. バックロードの小さい污泥処理の開発を

4-3で述べたように、洗剤中のPの規制をし、Pのバックロードが小さい污泥処理を用いれば、現在の2次処理施設で十分、Pの除去は可能なのである。Pに限らず、バックロードの小さい污泥処理を開発する方が、費用、発生污泥量の問題を考えると、3次処理よりも現実的ではないだろうか。

5-4 今後の課題

今回の調査は、污泥処理系のサンプリングに重点を置いたため、污水处理系を大きなブラックボックスにしたわけであるが、污水处理系内部での機能解析をすれば、污泥処理系からのバックロードの影響がより明確になるであろう。

北村充成氏をはじめ都市工学科の方々の御協力に感謝します。

文献 (1)佐藤健人, 高橋敬雄 卒業研究 (1975) (2)中西準子, 高橋敬雄 公害と対策 12, 818 (1976) (3)

Milbury et al JWPCE, 43, 1890 (1971) (4)斎藤他 第28回土木学会講演集 p.464 (1

973) (5)堺好雄 用水と廃水 16, 1389 (1974)

(注)単位について

付表-1 横浜市北部下水処理場-湿式酸化-(流量と分析結果)

・流量-ケーキ, 焼却灰はt/d。その他はm³/d。
・分析結果-ケーキ
焼却灰はw/w%。
その他はppm/1。

	流 量	T S	V T S	S S	COD(Cr)	BOD	KJ-N	NH ₄ -N	T-P
流 入 水	14,100	617	220	397	—	161	23.6	7.6	54
放 流 水	14,100	504	889	3.3	—	54	19.9	12.7	53
生 汚 泥	6020	13,800	9,300	11,500	15,300	4930	658	140	285
上 澄 水	5,560	14,500	9,600	12,400	16,500	5,620	732	83.3	336
原料汚泥	457	40,000	26,700	36,600	43,700	—	1,940	349	921
酸化混合液	457	24,300	9,900	14,400	18,800	—	1,740	960	847
分 離 液	424	12,400	8,100	574	15,300	7,020	1,600	994	84.1
灰 渣	329	220,000	41,900	214,000	53,800	—	2,490	1,290	6630
ケーキ濾液	256	13,100	7,200	297	13.4	4,610	1,320	734	81.7
ケ ー キ	11.1	56.8	100	—	11.5	—	0.433	0.185	2.7

付表-2 藤沢市南部下水処理場-熱処理と生脱水-(流量と分析結果)

	流 量	T S	V T S	S S	COD(Cr)	B O D	KJ-N	NH ₄ -N	T-P	Sol-T-P	Sol-P
流 入 水	82900	449	176	146	237	94.5	204	83	336	1.65	1.37
高級処理水	72300	314	91.2	82	364	104	17.6	9.1	10.7	0.78	0.60
簡易処理水	10600	303	111	93.5	150	63.8	17.7	6.6	4.04	1.83	1.71
生 汚 泥	2570	28300	17,800	25300	30,600	10400	1460	196	551	—	—
上 澄 水	2360	31,200	19,500	28,800	35800	11,400	1,570	236	603	—	—
原 汚 泥	153	29000	17,500	25400	30,100	—	1,453	220	532	—	—
熱処理汚泥	175	26300	16,200	12,700	25,500	—	1,267	530	370	—	—
分 離 液	147	7,020	5,140	2,700	7,920	3,900	784	448	121	424	39.3
調湿汚泥	286	123,000	60,200	97,900	117,000	—	3,027	686	3010	—	—
ケ ー キ 濾 液	232	5,370	4,320	423	9,720	4,320	894	772	103	73.5	67.5
ケ ー キ	555	72.7	29.4	—	50.4	—	1.11	0.94	1.27	—	—
焼 却 灰	222	59.4	7.79	—	11.0	—	0.304	—	1.40	—	—
生脱水濾液	462	8440	2,140	281	944	1,730	123	95	15.2	65	0.2
生脱水洗浄水	152	9,210	3,410	743	110	414	388	33	7.2	0.8	0.1
生脱水ケーキ	10	24.9	9.72	—	156	—	0.702	—	0.26	—	—