

令和2年度

調査研究報告書

第39号

公益財団法人神奈川県下水道公社

あいさつ

神奈川県下水道公社では、県から受託している相模川及び酒匂川流域下水道の維持管理業務を行う上で発生する様々な問題点や課題等をテーマとして、昭和 56 年の設立当初よりこれまで延べ 176 件の調査研究に取り組み、研究成果を、業務及び施設の改善等に反映することで、経済的・効率的な維持管理に努めています。

令和 2 年度は、令和元年度に引き続いて「焼却炉の焼結対策に関する検討」を行い、汚泥のりん濃度及び焼結テストについて調査を継続するとともに、新たに流動砂の構造解析等を実施し、今般その結果を研究報告書第 39 号としてまとめました。

下水道事業を取り巻く環境が大きく変化し、施設老朽化対策、災害時における事業継続の確保、地球温暖化対策など、時代の変化に対応した事業運営が求められる中、本調査研究の成果が広く下水道事業に携わっておられる方々のお役に立てれば幸甚です。

関係各位のご感想、ご助言を頂きたく、よろしく願いいたします。

令和 3 年 10 月

公益財団法人神奈川県下水道公社

理事長 中村正樹

目 次

1 焼却炉の焼結対策に関する検討（第2報）	1
	酒匂水再生センター
○ 研究報告の経緯	15

焼却炉の焼結対策に関する検討（第2報）

酒匂水再生センター

1. はじめに

酒匂水再生センター（以下「酒匂」という。）の3号焼却炉（流動床、60t/日）では、平成30年5月に炉内の流動砂が白緑色となりクリンカが生成される焼結が確認された。焼結は、汚泥に含まれるりんが原因で発生することが報告¹⁾²⁾されているが、そのメカニズム等はまだ解明されていない。焼結防止の有効な対策としては、汚泥にポリ硫酸第二鉄（以下「ポリ鉄」という。）を注入する方法等が提案¹⁾²⁾されており、酒匂では、硫化水素対策として汚泥にポリ鉄を注入している。そのため、平成30年度から令和元年度にかけて、焼結対策としてのポリ鉄の注入量について調査を行ったが、有効なポリ鉄の注入量を把握できなかったことなどの調査結果を令和元年度に報告している。

また3号焼却炉は、炉内でクリンカが発生することも確認されており、酒匂には焼却炉が1基しかないため、焼却炉の停止は回避しなければならず、焼結対策を早急に確立する必要がある。

今回は、令和元年に実施した調査研究のうち、汚泥のりん濃度及び焼結テストについて継続して調査を行うとともに、新たに流動砂の構造解析等を行い、焼結対策について検討したので報告する。

2. 平成30年5月の焼結の状況

酒匂の3号焼却炉では、平成30年3月初旬から、流動砂を引き抜いても風箱圧力が低下しないなどの不具合が発生したことから、平成30年5月に焼却炉を停止し内部を確認したところ、流動砂が焼結していることが確認された。

平成29年11月の定期修繕時の流動砂を写真-1に、平成30年5月に焼結が確認されたときの流動砂を写真-2に示す。

平成29年11月の定期修繕時には、流動砂に異常はなく赤茶色であったが、平成30年5月に焼却炉を停止した際の流動砂は、白緑色に変色しクリンカが生成されており、砂層部及びオイルガン周辺で焼結により固化していることが確認された。炉内壁にも白色の層が確認された。

平成30年5月に確認された焼結では、流動不良による焼却炉の停止や、下水道研究発表会等で報告されている煙道閉塞も発生しなかったが、風箱圧力の上昇が確認された。



写真-1 平成29年11月定期修繕時の流動砂



写真-2 平成30年5月の流動砂

3. 焼却炉の状況

平成 29 年の定期修繕から令和 3 年 3 月までの焼却炉の状況を表 - 1 に示す。

3 号焼却炉では、焼結やクリンカによるオイルガンの閉塞とトラブルが続発している。

表 - 1 焼却炉の状況

年・月日	焼却炉の状況	ポリ鉄注入量設定値	流動砂等の状況
平成 29 年 11 月	定期修繕 オリフィスを補修	3.5Hz	流動砂は赤茶色
平成 30 年 3 月	風箱圧力が上昇		
5 月	焼却炉を停止し、内部を確認したところ、焼結を確認	7.0Hz	流動砂の約半分を新砂に交換し焼却炉を立上げ
6 月、7 月	焼却灰の色を確認しながら、ポリ鉄注入量を調査し 9.6Hz とした。	9.6Hz	(注入量の調整) 7.0Hz→10.5Hz→8.75Hz→9.6Hz
平成 30 年 11 月	定期修繕	9.6Hz	全量新砂 (4 号硅砂) とし、 焼却炉を立上げ
11 月 29 日	焼却灰の発生量が増加し、風箱圧力が低下		3 号硅砂に切替
12 月 10 日			1 回 / 2 週間の頻度で流動砂の採取を開始し、性状を確認 流動砂は赤茶色とならず白色
12 月 23 日	流動砂の流動状態が不安定 炉内温度が不安定		4 号硅砂に切替 流動砂は赤茶色とならず白色
平成 31 年 2 月 9 日		7.0Hz	流動砂は透明性がある白色 焼却灰は赤茶色とならず灰色
3 月 20 日			流動砂は白色だが、青みがかってくる。
4 月 17 日			流動砂は白緑色が強くなる
令和元年 5 月 7 日	風箱圧力は上昇せず		流動砂は白緑色が強くなり、 りん化合物の焼結がみられた。 流動砂の増加はみられない。
5 月 13 日		20Hz	
5 月 29 日		15Hz	流動砂は赤茶色となる。
5 月 30 日	オイルガン閉塞 6 基中 1 基使用不可		
10 月 23 日	オイルガン閉塞 6 基中 2 基使用不可		

年・月日	焼却炉の状況	ポリ鉄注入 量設定値	流動砂等の状況
11月	定期修繕 焼却炉内部を確認したところ、 以下の所見がみられた。 ① オイルガン3基にクリンカによる閉塞を確認。 クリンカは、りんによる焼結とは色が異なり茶色。 (写真-3) ② 煙道に白色粉末状の付着物を確認。(写真-4)	15Hz	流動砂は交換せず再利用
令和2年 1月7日			流動砂、焼却灰、焼却排ガス洗浄水は赤茶色から、灰色となる。
2月4日		20Hz	
2月末			流動砂、焼却灰、焼却排ガス洗浄水は灰色のまま赤茶色とならない。
3月	オイルガンに不具合が発生したため、焼却炉を停止し内部確認を行ったところ、6基すべてに令和元年11月と同様なクリンカが確認される。		全量新砂(4号硅砂)とし、焼却炉を立上げ
10月	定期修繕 焼却炉内部を確認したところ、 昨年と似た状況であった。 ① オイルガン2基にクリンカによる閉塞を確認。 ② 煙道に白色粉末状の付着物を確認。		
11月			定期修繕にて全量新砂(4号硅砂)とし、焼却炉を立上げ
令和3年 3月			流動砂、焼却灰は灰色のまま赤茶色とならない。



写真-3 焼却炉内クリンカ



写真-4 煙道白色粉体

4. 調査方法及び結果

今年度は、焼結防止対策として、焼却灰のりんに対する塩基物質の割合が指標となることが報告²⁾ されていることから、令和 2 年 1 月に焼却灰が灰色となったので、焼却灰の塩基類・りんの成分分析を行い、閉塞抑制指標値を算出し、焼却灰の色での管理方法を検討することとした。

また、令和元年度に成分分析を行った流動砂について、ポリ鉄注入率の上昇の影響を確認するため、内部構造を分析し、煙道で付着が確認された白色粉末についても、今までこのような例がないため成分分析を行い、煙道閉塞について検証した。

一方、焼結防止対策として、脱水汚泥を灰化した後に 850°C で燃焼したものを硬度測定する焼結テスト（「焼結のしやすさ」を判断する方法）が報告²⁾ されていることから、令和元年度に引き続き、焼結テストを実施した。

そのほか、ポリ鉄注入量を令和 2 年 2 月 4 日から 20Hz としており、平成 30 年度に調査した「ポリ鉄の注入量を変動させた脱水汚泥の分析」時の最大 10.5Hz に対し、ポリ鉄注入量を増加させていることから、脱水汚泥を分析し、ポリ鉄の悪影響がないかの確認やクリンカの分析等多方面からの調査を実施した。

以下に実施した調査方法及び結果を示す。

(1) 焼却灰の色での管理方法の検討

ア. 調査方法

現在、酒匂では焼却炉の状況把握のため、2 週間に 1 回の頻度で焼却灰と流動砂を採取し、色及び状態の観察を行っている。

焼却灰の色から焼結の危険性について判断できれば、試料の採取だけで実施でき簡易であるため、令和 2 年 1 月から 2 月にかけて、焼却灰の色が灰色となったことから、これらの焼却灰について蛍光 X 線分析による成分分析を行った。

また、東京都の報告²⁾ では、焼却灰の分析結果から次式により求められる閉塞抑制指標値が 1.0 未満になると、閉塞等の危険性があるとしていることから、成分分析結果から閉塞抑制指標値を算出し、色による管理方法を検討した。

$$\text{閉塞抑制指標値} = \left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{CaO}}{M(\text{CaO})} \cdot \frac{2}{3} + \frac{\text{MgO}}{M(\text{MgO})} \cdot \frac{2}{3} \right\} \div \left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{M(\text{P}_2\text{O}_5)} \cdot 2 \right\}$$

ここで、 Fe_2O_3 [%] : 焼却灰の酸化鉄(Ⅲ)分析値

Al_2O_3 [%] : 焼却灰の酸化アルミニウム分析値

CaO [%] : 焼却灰の酸化カルシウム分析値

MgO [%] : 焼却灰の酸化マグネシウム分析値

P_2O_5 [%] : 焼却灰の五酸化二りん分析値

$M(i)$ [g/mol] : 化合物*i*の分子量

イ. 調査結果

ポリ鉄注入量は、定期修繕が終了した令和元年 12 月から令和 2 年 2 月 4 日 9 時までは 15Hz とし、焼却灰及び流動砂の色が灰色となり赤茶色とにならないことから、焼結の危険性があると判断して 2 月 4 日 9 時から 20Hz に増加させた。

表 2 に焼却灰の分析結果及び閉塞抑制指標値を、図 1 に塩基類の比較を示す。なお、分析した焼却灰のうち、令和 2 年 2 月 19 日採取の焼却灰だけが、ポリ鉄注入量 20Hz の焼却灰となっている。

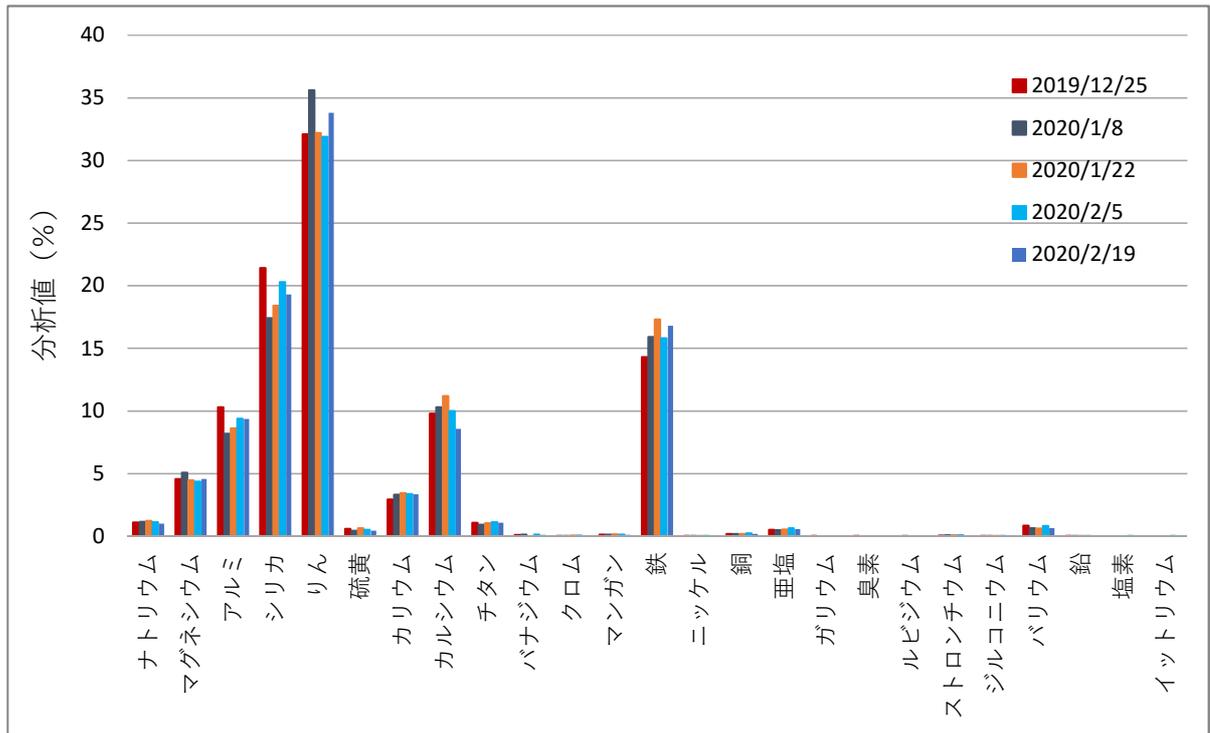
表 2 に示すとおり、焼却灰の色が灰色であっても、閉塞抑制指標値は 1.0 以上となり煙道の閉塞の危険性はない結果となり、実際煙道閉塞は発生していない。

鉄の分析値は、図 1 に示すとおり、焼却灰の色が灰色となっても、赤茶色であった令和元年 12 月 25 日の焼却灰より高い数値となり、ポリ鉄注入量を 20Hz に増加させた焼却灰が高い数値とはならなかった。りんの分析値は、焼却灰の色が灰色となった令和 2 年 1 月 8 日の焼却灰は高い数値であったが、「焼却灰の色が灰色となった場合にはりん

の分析値が高い。」という傾向はみられなかった。

表－２ 焼却灰の分析結果及び閉塞抑制指標値

試料採取日	R1.12.25	R2.1.8	R2.1.22	R2.2.5	R2.2.19
焼却灰の色	赤茶色	灰色	赤茶色	赤白色	赤白色
塩基類 (%)					
Na ₂ O	1.09	1.15	1.22	1.13	0.99
MgO	4.57	5.06	4.45	4.36	4.56
Al ₂ O ₃	10.3	8.17	8.60	9.38	9.36
SiO ₂	21.4	17.4	18.4	20.3	19.3
P ₂ O ₅	32.1	35.6	32.2	31.9	33.8
SO ₃	0.58	0.42	0.62	0.50	0.44
K ₂ O	2.92	3.32	3.43	3.35	3.34
CaO	9.79	10.3	11.2	10.0	8.57
TiO ₂	1.07	0.91	1.03	1.11	1.06
V ₂ O ₅	0.09	0.11	ND	0.12	0.10
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
MnO	0.12	0.12	0.14	0.13	0.10
Fe ₂ O ₃	14.3	15.9	17.3	15.8	16.8
NiO	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
CuO	0.16	0.19	0.18	0.23	0.17
ZnO	0.50	0.49	0.53	0.64	0.56
Ga ₂ O ₃	0.004	ND	ND	ND	ND
Br	0.002	ND	ND	ND	ND
Rb ₂ O ₃	ND	0.004	ND	ND	0.004
SrO	0.06	0.08	0.07	0.07	0.06
ZrO ₂	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03
BaO	0.84	0.64	0.61	0.80	0.64
PbO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cl	ND	ND	ND	0.014	ND
Y ₂ O ₃	ND	ND	ND	0.004	0.003
閉塞抑制指標値	1.29	1.14	1.32	1.29	1.22



図－1 焼却灰の塩基類比較

(2) 脱水汚泥の調査（りんの分析）

ア. 調査方法

焼結には、脱水汚泥のりんが関与しているので、脱水汚泥のりん濃度の変動を令和元年に引き続き調査した。調査は、令和2年3月から令和3年2月までの期間に週1回の頻度で採取し、分析方法を硫酸カリウム分解・モリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光光度法、りん濃度を焼却灰あたりの P_2O_5 濃度（%）とした。

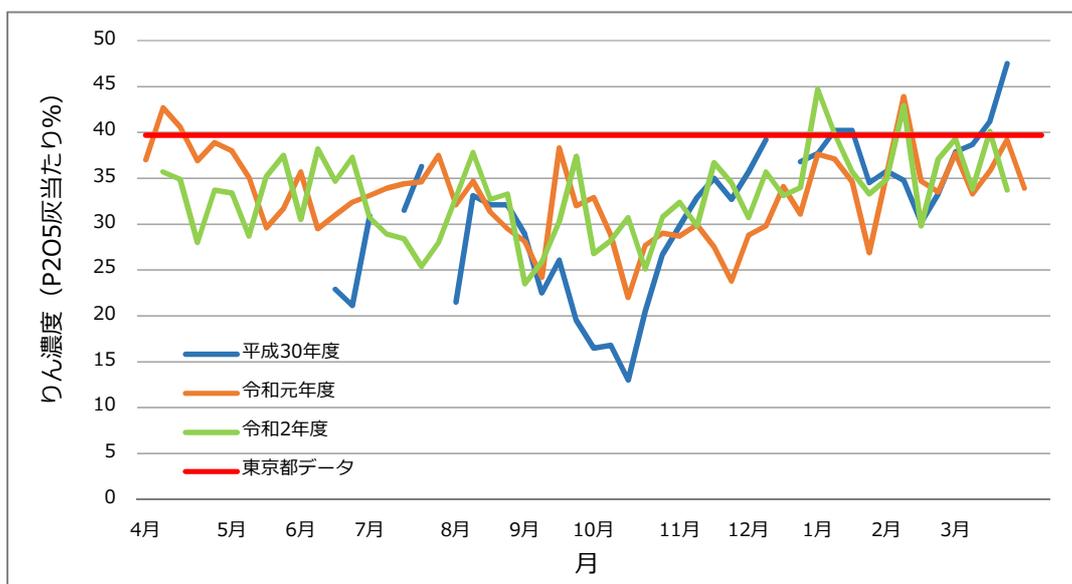
イ. 調査結果

平成30年6月から令和3年2月までの調査結果を図－2に示す。参考として、東京都の報告²⁾から、煙道閉塞した際の脱水汚泥のりんの分析値39.7%と比較した。

脱水汚泥のりん濃度は、平成30年6月から令和3年2月までのデータでは最小値が13%、最大値が47.5%であり、令和2年度のデータでは、最小値が23.5%、最大値が44.7%と非常に変動が大きかった。

また、りん濃度は夏期に低く、1月から4月にかけて上昇する傾向が3年にわたりみられた。平成30年10月にりん濃度の異常な低下がみられたが、これは台風が2回襲来したことによる流入雨水量の増加が原因と考えられる。平成31年1月、3月、4月、令和2年2月、令和3年1月、2月には、東京都で煙道閉塞した際の脱水汚泥のりんの分析値を超えていた。

なお、令和元年5月に流動砂が白緑色に変色した原因は、3月、4月のりん濃度の上昇によるものと考えられる。



図－2 脱水汚泥のりん濃度の変動

(3) 脱水汚泥の調査（焼結テスト）

ア．調査方法

(2) の脱水汚泥について、以下の焼結テストを実施した。

【焼結テストの概要】

- ①脱水汚泥を、乾燥後マッフル炉にて 600℃で灰化し、すりつぶす。
- ②すりつぶした試料 1.5g を、るつぼに入れ、マッフル炉にて 850℃で 15 分間強熱後放冷し、デジタルフォースゲージによる硬度測定を行う。

イ．調査結果

焼結テストを実施した期間の脱水汚泥は、りん濃度が東京都の報告²⁾の煙道閉塞した際の脱水汚泥のりんの分析値 39.7%より高い濃度であっても焼結しなかったため、硬度測定ができなかった。

令和元年度に報告したとおり、ポリ鉄を注入しない脱水汚泥、余剰汚泥比率が高い脱水汚泥及び令和元年 8 月から令和 2 年 2 月までの脱水汚泥も、焼結しない結果となっている。

なお、令和 2 年 1 月に流動砂が白色となり焼結の危険性がみられたが、この期間の脱水汚泥も焼結テストでは焼結しなかった。

このことから、酒匂の脱水汚泥は、焼結テストでは焼結の危険性について判断できないことがわかった。

(4) 脱水汚泥の調査（焼結評価値・塩基類・りんの成分分析）

ア．調査方法

ポリ鉄注入量は、流動砂の色が灰色となったため、令和 2 年 2 月 4 日から 20Hz としており、平成 30 年度に調査した「ポリ鉄の注入量を変動させた脱水汚泥の分析」時には、最大 10.5Hz であったのに対し、かなり増加している。

ポリ鉄注入量を増加させた場合には、カルシウム、マグネシウムが減少し焼結評価値が低下することが報告³⁾されているため、ポリ鉄の注入量の増加による悪影響がないか脱水汚泥を分析し確認した。

また、月島テクノメンテサービス株式会社の報告¹⁾では、脱水汚泥の分析結果から次式により求められる焼結評価値が 1.05 以上であれば、安定的な焼却炉の運転ができるとしていることから、分析結果から焼結評価値を算出して検証した。

$$\text{焼結評価値} = \frac{\text{脱水汚泥に含有する塩基類の総価数 (mol} \times \text{価数)}}{\text{含有されるP(リン酸として)の価数}}$$

イ. 調査結果

表－３に焼結評価値及び評価値を算出する塩基類等の蛍光 X 線分析結果を示す。また、図－３にポリ鉄注入率と焼結評価値及びりん・鉄などの各成分の分析値の関係を示す。

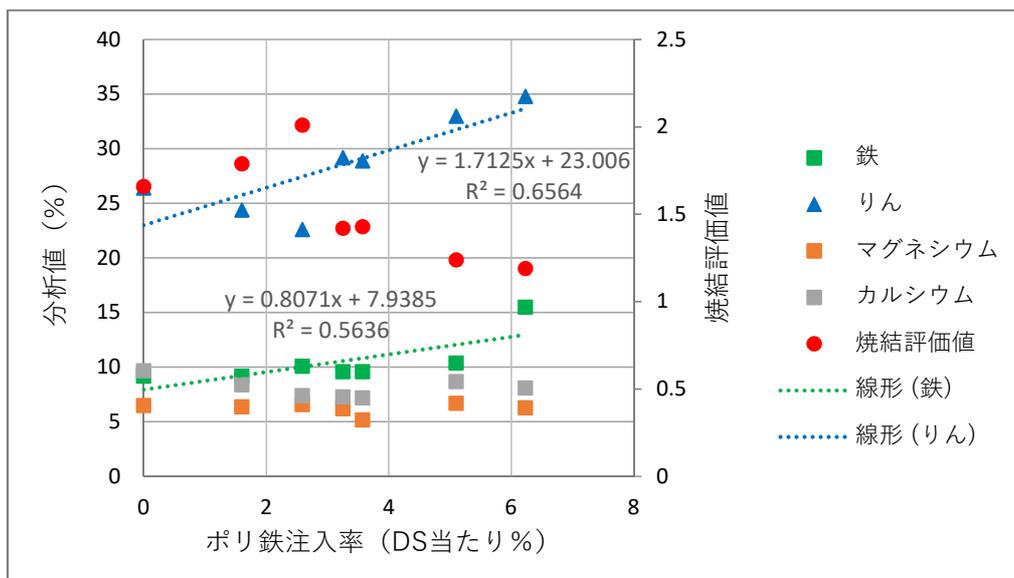
分析結果から、ポリ鉄の注入を 20Hz としても、懸念されたカルシウム、マグネシウムの減少はなかったが、りんの上昇及び焼結評価値の低下がみられた。

この結果は、焼結評価値として問題のない数値であるが、ポリ鉄の注入率を上昇させると鉄が増加するが、それよりもりんの増加が大きかったことにより、焼結評価値の低下が発生してしまった。ポリ鉄を注入すると、りんが脱水汚泥側へ移行することは知られており、焼却炉製造メーカーでは、現在、焼結対策としてポリ鉄より炭酸カルシウム（以下「炭カル」という。）の添加を推奨しており、ポリ鉄の注入では、今回の調査結果のような現象が起こりやすいと思われる。

また、クリンカの発生は、「焼却灰の溶解温度が一因となりカルシウムとりんの比率が目安となる。」という文献もあり、このデータからは、クリンカが発生しやすい脱水汚泥となり、炭カルの添加のほうが無効と考えられる。

表－３ 焼結評価値及び評価値を算出する塩基類の蛍光 X 線分析結果

脱水汚泥	DS 当たりポリ鉄注入率 (%)						
	0.00	1.60	2.59	3.25	3.57	5.10	6.23
塩基類等 (%)							
Na ₂ O	1.9	1.9	1.8	1.9	2.1	1.6	2.0
MgO	6.5	6.4	6.6	6.2	5.2	6.7	6.3
Al ₂ O ₃	13.8	14.5	15.6	13.5	14.4	11.4	9.1
K ₂ O	2.3	1.8	1.6	2.0	2.0	2.6	2.5
CaO	9.7	8.4	7.4	7.3	7.2	8.7	8.1
Fe ₂ O ₃	9.2	9.2	10.1	9.6	9.6	10.4	15.5
CuO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
ZnO	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4
P ₂ O ₅	26.4	24.4	22.6	29.2	28.9	33.0	34.8
焼結評価値	1.73	1.87	2.08	1.49	1.51	1.31	1.26



図－3 ポリ鉄注入率と焼結評価値及び各成分分析値の関係

(5) 流動砂の分析

ア. 分析方法

流動砂は、令和元年5月に白緑色になり、ポリ鉄の注入量を増加させると赤茶色となった。この流動砂の成分分析は令和元年度に実施し報告している。今年度は、これらの流動砂と焼結を経験していない赤茶色の流動砂について、走査型電子顕微鏡／エネルギー分散型 X 線装置 (SEM/XRD) による元素定性マッピングを行い、内部構造を確認した。

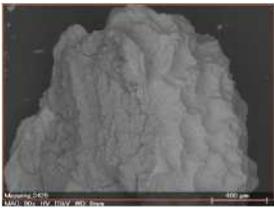
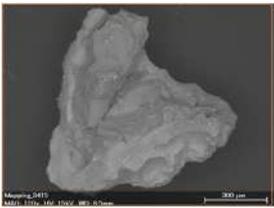
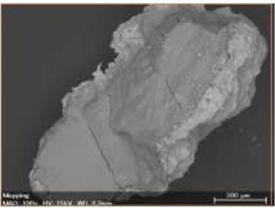
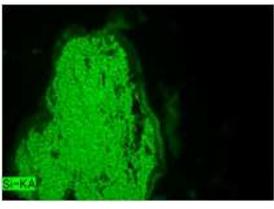
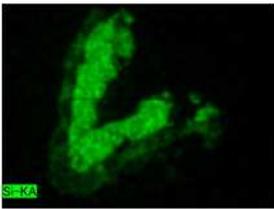
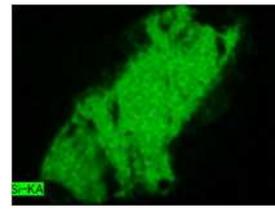
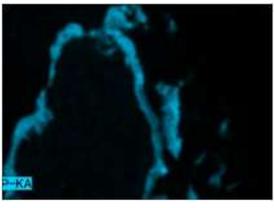
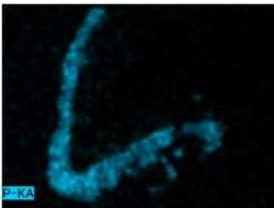
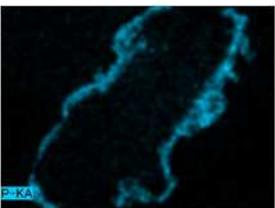
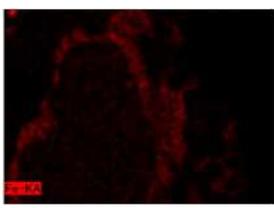
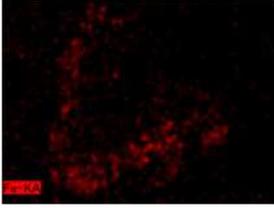
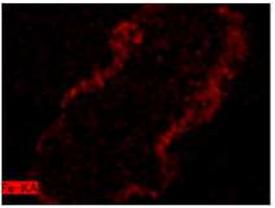
イ. 分析結果

流動砂の走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像および元素マッピングを行った成分のケイ素・りん・鉄についての結果を表－4 に、流動砂の表面及び内部の元素割合の結果を表－5 に示す。また、流動砂の状況ごとの流動砂の表面と内部の元素割合比較を図－4 に、流動砂の状況ごとの流動砂表面の元素割合比較を図－5 示す。

表－4 に示すとおり、流動砂の内部はケイ素が多く珪砂であることが分かる。表面には、りん及び鉄が分布しており、脱水汚泥成分によりコーティングされていることが確認された。

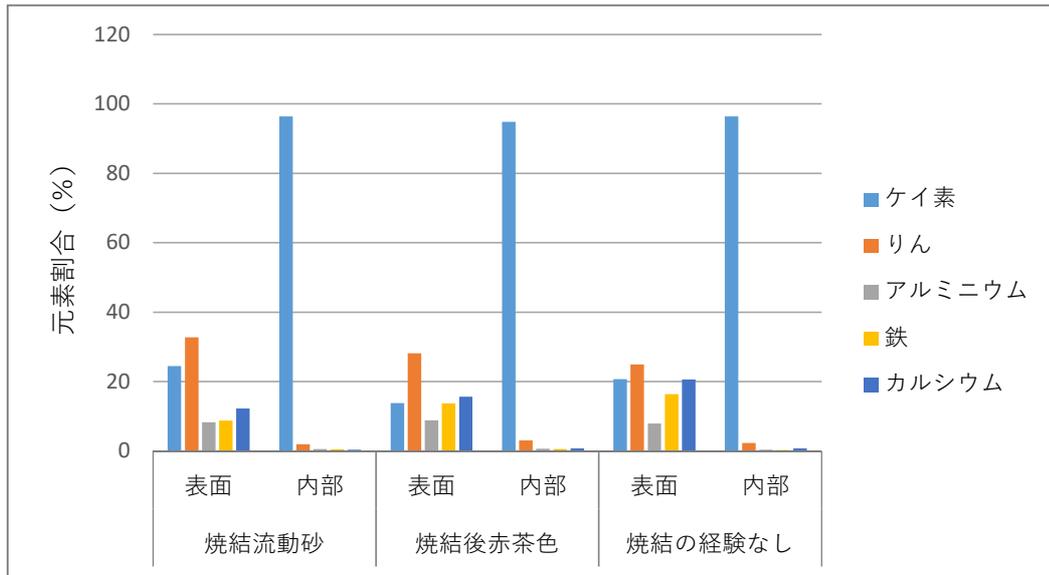
また、表－5 に示すとおり、焼結した流動砂の表面はりんが高く鉄が低いことが、焼結を経験していない流動砂の表面はりんが低く鉄が高いことが確認された。焼結後にポリ鉄注入率を上昇させ赤茶色となった流動砂は、その中間であるが、鉄は表面の外側が高くなっていることが確認された。

表－４ 流動砂の走査型電子顕微鏡画像および元素マッピング結果

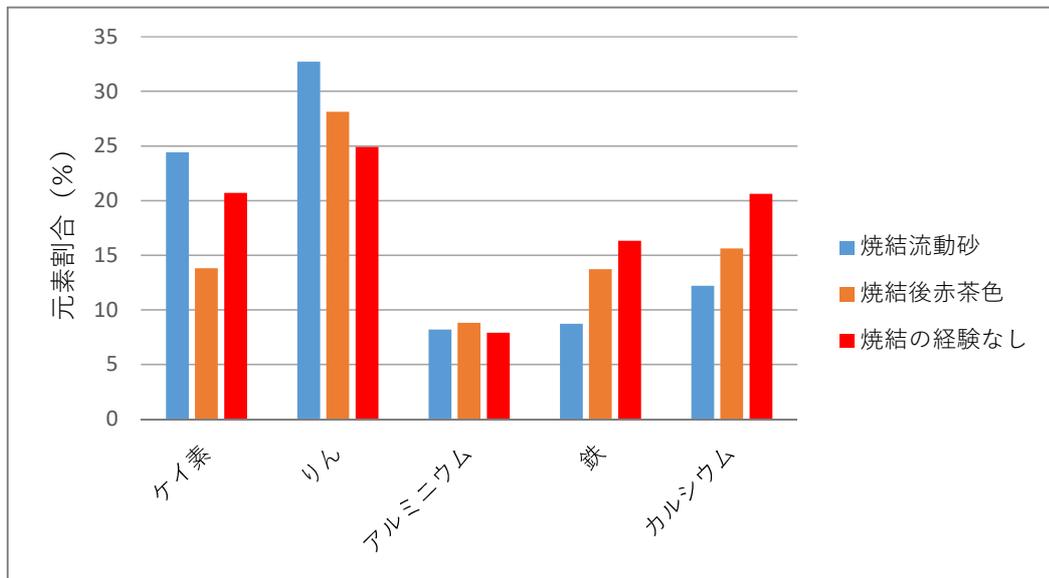
流動砂の状況	焼結した流動砂	焼結後にポリ鉄注入率を上昇させ赤茶色となった流動砂	焼結を経験していない流動砂
SEM 画像			
元素マッピング ケイ素			
元素マッピング りん			
元素マッピング 鉄			

表－５ 流動砂の表面及び内部の元素割合

元素名 (%)	焼結した流動砂		焼結後にポリ鉄注入率を上昇させ赤茶色となった流動砂		焼結を経験していない流動砂	
	表面	内部	表面	内部	表面	内部
Si	24.4	96.4	13.8	94.8	20.7	96.4
P	32.7	1.9	28.1	3.0	24.9	2.3
Al	8.2	0.5	8.8	0.6	7.9	0.3
Fe	8.7	0.4	13.7	0.5	16.3	0.2
Ca	12.2	0.3	15.6	0.7	20.6	0.7



図－4 流動砂の状況ごとの流動砂の表面と内部の元素割合比較



図－5 流動砂の状況ごとの流動砂表面元素割合比較

(6) クリンカの成分分析

ア. 調査方法

令和元年度の焼却炉定期修繕時には、オイルガン3か所にクリンカの付着が確認されており、その際に採取したクリンカについて、色や形状の異なる部分を3か所として、蛍光X線分析による成分分析を行った。

写真－5に、採取したクリンカを示す。



写真－5 採取したクリンカ

イ. 調査結果

クリンカの蛍光 X 線分析による成分分析結果を表-6に示す。

クリンカを色と性状により分けた3か所に特に違いはなく、脱水汚泥と比較すると、アルミニウム・ケイ素が高く、りん・鉄が低く、その他の成分は、ほぼ同じ成分であることが確認された。なお、ケイ素が高い理由は、流動砂である珪砂の主成分がケイ素でありその影響と考えられ、りん・鉄が低いことは、脱水汚泥の影響は少ないと考えられる。このことから、クリンカは、珪砂が関係していると考えられる。

表-6 クリンカの蛍光 X 線分析による成分分析結果

クリンカの 状態	褐色・粒子状	灰色・融解部	黒色・融解部	脱水汚泥 令和2年 8月26日採取 ポリ鉄注入率 6.23%
				
塩基類 (%)				
Na ₂ O	2.5	2.0	1.7	2.0
MgO	5.9	6.3	5.5	6.3
Al ₂ O ₃	11.7	12.4	13.2	9.1
SiO ₂	27.6	23.6	29.2	19.1
P ₂ O ₅	27.3	29.8	26.2	34.8
SO ₃	0.2	—	—	0.6
K ₂ O	2.6	2.4	2.8	2.5
CaO	8.0	8.7	7.7	8.1
TiO ₂	0.9	0.9	0.8	0.7
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—
MnO	0.1	0.2	0.1	0.1
Fe ₂ O ₃	12.0	12.4	11.6	15.5
NiO	—	—	—	—
CuO	0.2	0.2	0.2	0.1
ZnO	0.4	0.4	0.3	0.4
Br	—	—	—	—

(※) 「—」は0.1%未満

(7) 煙道で付着が確認された白色粉末の分析

ア. 調査方法

煙道で付着が確認された白色粉末について、今までこのような例がないことから、どのような物質なのか把握するため、蛍光 X 線分析により成分分析を行った。また、この

白色粉末の焼却炉内での状態を把握するため、焼結テストと同様にマッフル炉にて 850℃で 15 分間強熱し状態を観察し、煙道閉塞の可能性について検証した。

イ. 調査結果

白色粉末の分析結果を表 7 に示す。

この結果から、白色粉末は、ケイ素・りんが高く、焼却灰と比較するとアルミニウムが高いことから、りとアルミニウムの化合物の可能性が推測される。

酒匂では、水処理施設や汚泥処理施設で硫酸バンドや PAC (ポリ塩化アルミニウム) を注入していないことから、アルミニウムが高い原因は流入水に起因すると考えられる。

また、この白色粉末の焼却炉内での状態を確認するため、850℃で 15 分間強熱したところ熔融はみられず、放冷後に結晶化もみられなかった。このことから、この白色粉末は、焼却炉内でも粉末状態であることが推測され、他の処理場の煙道閉塞にみられる閉塞物質とは異なる物質であると考えられる。

なお、酒匂では脱水汚泥の VTS (強熱減量) を毎日測定しているが、強熱残渣の色が、このような白色になることはなかった。このことから、白色粉末は、VTS 測定時の灰化温度である 600℃では生成せず、焼却炉の燃焼温度である 850℃で生成する可能性が考えられる。

表 7 白色粉末の分析結果

塩基類	分析値 (%)
Na ₂ O	1.3
MgO	5.7
Al ₂ O ₃	13.6
SiO ₂	24.9
P ₂ O ₅	36.0
SO ₃	0.2
K ₂ O	2.6
CaO	8.1
TiO ₂	0.9
Cr ₂ O ₃	—
MnO	—
Fe ₂ O ₃	5.6
NiO	—
CuO	0.2
ZnO	0.4
Br	—

(※) 「—」は 0.1%未満

5. まとめ

今回の調査から、焼却灰の色及び焼結テストでは、酒匂の焼結の危険予測ができないことがわかった。この方法は、煙道閉塞対策のために提案されたものであり、酒匂の焼結は煙道閉塞とはメカニズムが異なることが推測された。このことから、焼結対策として提案されている「閉塞抑制指標値」「焼結評価値」とも酒匂には適さないことになる。

また、ポリ鉄の注入率を 20Hz まで増加させても問題はないことが確認された。

なお、脱水汚泥の焼結評価値で管理するためには、酒匂は蛍光 X 線を所有する必要があるが、焼結評価値を算出するための分析に必要な焼却灰を 50g 作成するためには、脱水汚泥を 2kg 乾燥・灰化する必要があり、頻繁に分析することは現実的ではない。

流動砂の入替については、令和元年度の調査結果から、令和 2 年 3 月のクリンカ除去停止時と令和 2 年 10 月の定期修繕時には全量新砂とすることで、焼却炉が停止することなく運転することができた。

以上のことから、焼却炉で発生する焼結は、まだわからないことが多く、今回の調査では、その対策を確定できなかったが、今後も新たな知見等の情報収集を行い、必要な調査を実施して焼結対策の確定に努めたいと考えている。

- 参考文献
- 1) 流動焼却設備における灰の焼結事例と焼結防止対策に関する報告（下水道研究発表会 第 51 N-10-5-1、第 52 回 N-10-4-4、第 53 回 N-10-4-4、第 54 回 N-10-5-2 月島テクノメンテサービス（株））
 - 2) 下水汚泥焼却炉の閉塞危険性評価方法及び閉塞防止方法（東京都下水道局技術調査年報 -2016- Vol.40 2-2-1）
 - 3) 煙道閉塞対策としてのポリ鉄添加の効果と課題について（下水道研究発表会 第 56 回 N-10-5-4 東京都下水道サービス（株））

今回の調査研究は、以下の職員で行いました。

酒匂水再生センター

代表者 河野ますみ

和田安雄、星野郁夫、中里卓也、佐藤義和、田村拓郎

○ 研究報告の経緯

昭和56、57年度（第1号）

1	高度処理実験	水質管理課
2	加圧活性汚泥法による下水処理	水質管理課
3	残留塩素除去実験（次亜塩素酸ナトリウムの適正添加量の把握と残留塩素の飛散について）	水質管理課
4	予備エアレーション効果と風量について — 考察 —	下水処理第一課
5	柳島管理センターにおける活性汚泥生成量調査	下水処理第二課
6	柳島管理センターにおける余剰汚泥量調査解析	下水処理第二課
7	柳島管理センターにおける返送汚泥調査解析	下水処理第二課
8	柳島管理センターにおけるエアレーション風量調査解析	下水処理第二課
9	エアレーションタンク内における活性汚泥のSVI及びR _r の変動調査	下水処理第二課
10	エアレーションタンク内におけるSVIの調査解析	下水処理第二課
11	エアレーションタンク内における活性汚泥の生物相に関する調査	下水処理第二課
12	エアレーションタンク内におけるBOD及びCOD（Mn）の除去特性の調査	下水処理第二課
13	沈砂の再利用実験	業務課
14	模型スクープ式発酵槽によるベルトプレス脱水ケーキのコンポスト化の検討	業務課
15	ベルトプレス脱水ケーキの雨よけ堆積発酵実験	業務課
16	簡易発酵槽による脱水ケーキ発酵処理の操作条件の検討	業務課
17	硫酸バンド添加による汚泥の脱水への影響	水質管理課
18	汚泥の調質実験（その1）	下水処理第一課
19	汚泥の調質実験（その2）混合汚泥に含まれる粗繊維のろ過速度への影響と季節変動について	下水処理第一課
20	流入下水及び処理水に含まれる汚濁成分の検出に関する研究	水質管理課
21	シアン化イオンの分析に及ぼす共存亜硝酸イオンの影響について	水質管理課
22	CODの測定方法に関する研究	下水処理第二課
23	晴天時汚水量の解析調査	業務課
24	臭気除去実験	水質管理課
25	柳島管理センターにおける年間の風向調査について	水質管理課
26	埋立処理汚泥の経年変化追跡装置からの浸出水の生物学的処理	水質管理課

昭和58年度（第2号）

1	加圧活性汚泥処理方法	水質管理課
2	エアレーションタンクへの硫酸バンドの添加効果	下水処理第三課
3	模型スクープ式発酵槽による石灰、塩化第二鉄凝集脱水ケーキの発酵実験	業務課
4	汚泥の調質実験（その3）（硫酸第一鉄、過酸化水素を用いた調質汚泥の加圧脱水機への適用）	下水処理第一課
5	汚泥焼却灰混入モルタル強度試験	下水処理第三課
6	下水汚泥の埋立処分地における浸出水質の変動調査	水質管理課
7	埋立処理汚泥の経年変化追跡装置からの浸出水の生物学的処理（Ⅱ）	水質管理課
8	四之宮管理センターにおける年間の風向調査結果について	水質管理課

昭和59年度（第3号）

1	エアレーションタンク及び最終沈殿池における磷の挙動調査	水質管理課
2	流入下水中の着色成分分析	下水処理第三課
3	簡易発酵槽による脱水ケーキ発酵の操作条件の検討	業務課
4	酒匂管理センターのベルトプレス脱水機用凝集剤選定実験	水質管理課
5	UV計による硫酸バンドの添加量自動制御のための基礎調査	水質管理課
6	鉢物用培養土における汚泥肥料（発酵汚泥）の混合率に関する幼植物試験	業務課
7	埋立処理汚泥の経年変化追跡装置からの浸出水の生物学的処理（Ⅲ）	水質管理課

8	発酵汚泥から発生するガスの土壤脱臭装置による脱臭実験及び強制通風による二次発酵実験	水質管理課
9	コンピュータを利用した維持管理の基礎的研究	下水処理第一課
10	固化灰長期浸出試験	下水処理第二課
11	汚泥の活性炭化実験	下水処理第三課

昭和60年度（第4号）

1	エアレーションタンク内における最初沈殿池流出UV濃度の拡散、平均化に関する調査	下水処理第三課
2	生物膜式及び浮遊式併用汚泥法によるアンモニア性窒素の硝化実験	水質管理課
3	余剰汚泥の常圧浮上濃縮実験	水質管理課
4	柳島管理センター混合汚泥の脱水実験（高分子凝集剤選定等）	水質管理課
5	四之宮管理センター混合汚泥の脱水実験（高分子凝集剤選定等）	水質管理課
6	汚泥焼却炉排ガスベンチュリーに含まれる水銀の除去	水質管理課
7	下水汚泥の活性炭化実験調査	下水処理第三課

昭和61年度（第5号）

1	各種洗剤の下水への影響調査	水質管理課
2	最終沈殿池における水耕栽培実験	水質管理課・下水処理第二課
3	下水処理における塩素消毒効果調査	下水処理第一課
4	発酵処理汚泥を築山盛土材として用いたときの浸出水量及び水質変化	水質管理課

昭和62年度（第6号）

1	放流水消毒のための次亜塩素酸ナトリウムの効率的添加法	水質管理課
2	汚泥処分と臭気対策（第1報） — 汚泥運搬車の臭気対策 —	業務課・水質管理課・下水処理第一課
3	汚泥処分と臭気対策（第2報） — 脱水ケーキの消臭剤選定試験 —	水質管理課・業務課
4	汚泥処分と臭気対策（第3報） — アンケート調査による汚泥運搬車用消臭剤の選定 —	業務課・水質管理課
5	汚泥処分と臭気対策（第4報） — バックホウ搭載型消臭剤散布装置の効果 —	業務課・水質管理課
6	汚泥処理施設から発生する臭気調査	下水処理第三課・水質管理課
7	都市下水中のn-ヘキサン抽出物質分析方法の検討	水質管理課
8	目久尻川における流域の下水道整備による水質改善効果	水質管理課
9	四之宮管理センターにおける活性汚泥生物相	下水処理第一課

昭和63年度（第7号）

1	ゲルクロマトグラフィーによる下水及び処理水の評価	水質管理課
2	硫酸バンド注入方法の検討	下水処理第三課
3	柳島管理センターにおける硝化と運転条件の関係	下水処理第二課
4	汚泥処分と臭気対策（第5報） — 固定処理法の見直し（臭気対策） —	業務課・水質管理課
5	汚泥処分と臭気対策（第6報） — 固定処理法の見直し（臭気対策） —	業務課
6	改良剤添加による発酵汚泥の改善	業務課

平成元年（第8号）

1	ゲルクロマトグラフィーによる事業場排水の評価	水質管理課
2	し尿・下水混合処理実験	下水処理第三課
3	活性汚泥における硝化とその制御	水質管理課・下水処理第一課
4	硝化運転時における最終沈殿池の汚泥浮上対策	下水処理第二課
5	汚泥貯留地浸出水の処理	水質管理課
6	n-ヘキサン抽出物質についての追跡調査	水質管理課
7	微生物脱臭の検討	水質管理課・下水処理第一課
8	高分子凝集剤の選定方法に関する検討	水質管理課・下水処理第三課
9	汚泥肥料「やまゆり2号」アンケート調査	業務課

平成2年度（第9号）

1	活性汚泥法による溶解性有機物質の除去特性	水質管理課
2	下水の高度処理に関する研究 — 限外ろ過 —	水質管理課

3 冬期間のアンモニア性窒素の硝酸化と活性汚泥の沈降性の悪化（SVIの上昇）対策

下水処理第二課

平成3年度（第10号）

- | | |
|---------------------------------|-------|
| 1 木炭を担体とした微生物脱臭塔による硫黄系臭気の除去について | 水質管理課 |
| 2 活性汚泥変法による窒素除去の検討 | 水質管理課 |
| 3 脱水汚泥の嫌気性消化に関する実験 | 水質管理課 |

平成4年度（第11号）

- | | |
|----------------------------------|-------|
| 1 脱水汚泥の嫌気性消化に関する実験（第2報） | 水質管理課 |
| 2 微生物による硫黄系臭気の除去について（第2報） | 水質管理課 |
| 3 硫黄系臭気の除去に関する充填塔式微生物脱臭装置の充填材の検討 | 水質管理課 |

平成5年度（第12号）

- | | |
|-------------------------|-------|
| 1 微生物による悪臭成分の除去 | 水質管理課 |
| 2 脱水汚泥の嫌気性消化に関する研究（第3報） | 水質管理課 |

平成6年度（第13号）

- | | |
|----------------|-------|
| 1 CODの除去に関する調査 | 水質管理課 |
|----------------|-------|

平成7年度（第14号）

- | | |
|---|-------|
| 1 汚泥腐敗に伴う悪臭物質調査と脱水性に関する研究（その1）
— 汚泥腐敗に伴う悪臭物質調査と脱水性調査 — | 水質管理課 |
| 2 ディスポーザー使用による下水処理施設への影響に関する調査 | 水質管理課 |

平成8年度（第15号）

- | | |
|---------------------------|-------|
| 1 濃縮汚泥から発生する臭気ガスの制御に関する研究 | 水質管理課 |
| 2 ヨウ素添着炭による脱臭効果に関する研究 | 水質管理課 |

平成9年度（第16号）

- | | |
|--|-------|
| 1 濃縮汚泥の凝集・ろ過等に関する研究 — ヨウ素添着活性炭による脱臭効果について（第2報） — | 水質管理課 |
| 2 濃縮汚泥の凝集・ろ過等に関する研究 — 汚泥凝集度測定器の利用について — | 水質管理課 |
| 3 濃縮汚泥の凝集・ろ過等に関する研究 — 古紙を利用した下水汚泥の脱水性の改良について — | 水質管理課 |
| 4 濃縮汚泥の凝集・ろ過等に関する研究 — 濃縮汚泥への防臭剤の添加と脱水性について — | 水質管理課 |

平成10年度（第17号）

- | | |
|--------------------------------|-------|
| 1 ヨウ素添着活性炭による脱臭効果について（第3報） | 水質管理課 |
| 2 古紙を利用した下水汚泥の脱水性の改良（重力ろ過について） | 水質管理課 |
| 3 担体充填式生物脱臭法の調査について | 水質管理課 |

平成11年度（第18号）

- | | |
|---|-------|
| 1 古紙及び廃プラスチックを利用した下水汚泥の脱水性の改良（重力ろ過について） | 水質管理課 |
| 2 ヨウ素添着活性炭による脱臭効果について（第4報） | 水質管理課 |

平成12年度（第19号）

- | | |
|---------------------------|----------|
| 1 結合型固定化微生物による下水処理調査 | 水質管理課 |
| 2 柳島管理センター水処理第7系列の運転実態の報告 | 柳島管理センター |
| 3 汚泥濃縮槽から発生する臭気の調査と脱臭について | 酒匂管理センター |

平成13年度（第20号）

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1 結合固定化微生物による下水処理調査（第2報） | 水質管理課 |
| 2 回転加圧脱水機（ロータリプレスフィルタ）の脱水性能調査報告 | 柳島管理センター |
| 3 その他 | |
| (1) 臭気対策のための施設調査について | 業務部臭気対策プロジェクトチーム |
| (2) 放流水中の残留塩素の測定及び管理について | 業務部水質担当者 |

平成14年度（第21号）

- | | |
|--------------------------------|---------------|
| 1 下水処理場の臭気に関する調査研究 | |
| (1) 各管理センターにおける脱臭設備の効果測定結果について | 臭気対策プロジェクトチーム |

(2) 最初沈殿池のスカム対策について	柳島管理センター
(3) 下水処理水の臭気指数に関する調査	水質管理課
2 下水処理施設の運転管理に関する調査研究	
(1) 汚泥濃縮・脱水方式の違いによる分離液の性状比較について	四之宮管理センター
(2) 最初沈殿池汚泥掻寄機の間欠運転について	酒匂管理センター
(3) 処理場施設の腐食について	土木・建築部会
平成15年度(第22号)	
1 下水処理場の臭気に関する調査研究	
(1) 処理施設内の臭気調査とその対策の検討	臭気対策プロジェクトチーム
(2) 下水処理水の臭気に関する調査	水質管理課
2 下水処理施設の運転管理に関する調査研究	
(1) 超微細気泡散気装置の設置による省エネルギー効果等の調査	柳島管理センター
(2) 処理場施設の腐食について	土木・建築部会
(3) 広域汚泥処理に伴う汚泥性状の把握と有効な濃縮方法の検討	酒匂管理センター
(4) 汚泥濃縮・遠心脱水による返送水への影響について	四之宮管理センター・水質チーム
平成16年度(第23号)	
1 酒匂川流域下水道に流入する指定化学物質(P R T Rデータ)の解析結果	水質管理課
2 深槽反応タンクにおける効率的な散気装置設置条件の検討	柳島管理センター
平成17年度(第24号)	
1 汚泥焼却設備の低負荷運転について	機械設備研究チーム
2 相模川流域下水道に流入する指定化学物質(P R T Rデータ)の解析結果	水質管理課
3 ポリ硫酸第二鉄添加による臭気除去効果について	四之宮管理センター・扇町管理センター
4 水処理系列毎における揚水分配量の検討結果について	柳島管理センター
5 酒匂管理センターにおける汚泥処理について	酒匂管理センター
平成18年度(第25号)	
1 柳島管理センターにおける省エネ対策の取組について	柳島管理センター
2 焼却炉から発生するシアン対策	扇町管理センター
3 汚泥処理における生物脱臭設備の効率的な運用の検討	扇町管理センター
平成19年度(第26号)	
1 柳島管理センターにおける脱水機の効率的な運用について	柳島管理センター
2 柳島管理センターにおける省エネ対策の取組について	柳島管理センター
3 効率的な塩素注入率の検討	扇町管理センター
4 下水処理場における新型水質計測器の有効性とその活用について	酒匂管理センター
平成20年度(第27号)	
1 水処理計装機器の管理方法についての検討	相模川流域計装機器検討グループ
2 活性炭交換時期の適正化について	水質チーム
3 連絡2号幹線の運用について	扇町管理センター
4 門沢橋ポンプ場の脱臭設備における脱臭剤の選定について	四之宮管理センター
平成21年度(第28号)	
1 ポリ硫酸第二鉄による臭気対策効果について	柳島管理センター
2 余剰汚泥へのポリ硫酸第二鉄添加による遠心濃縮機の省エネと消臭効果について	柳島管理センター
3 水処理施設の処理状況と今後の維持管理対応	四之宮管理センター
4 遠心脱水機の低遠心力運転について	四之宮管理センター
平成22年度(第29号)	
1 戸田ポンプ場の送水時における人孔内の硫化水素濃度の挙動	四之宮管理センター
2 下水道公社における省エネルギー対策の取組み ― 汚水ポンプ揚程の低減化における検証 ―	四之宮管理センター
平成23年度(第30号)	
1 反応タンクにおける散気設備の更新周期等の検討 ― 四之宮管理センターの事例 ―	四之宮管理センター

2 柳島管理センターにおける汚泥処理施設の検証	柳島管理センター
3 放射性物質を含む焼却灰に関する基礎調査	四之宮管理センター・柳島管理センター
4 下水処理場における電力削減と維持管理について	業務課・四之宮管理センター
平成24年度（第31号）	
1 四之宮管理センターにおける汚泥処理施設の検証について	四之宮管理センター
2 下水道公社による省エネルギー対策の取組みについて	四之宮管理センター
— 最初沈殿池における汚泥掻寄機の運転方法の見直しに関する調査 —	
3 スクリュープレス脱水機の効率的な運用に関する検討	四之宮管理センター
平成25年度（第32号）	
1 汚泥処理返流水から発生する硫化水素による施設への影響について	四之宮管理センター
2 四之宮せせらぎの森における生態系と管理に関する実態調査	四之宮管理センター
3 相模川汚泥貯留地浸出液の経年変化と下水道排出への管理手法について	水 質 課
平成26年度（第33号）	
1 1,4-ジオキサンの事業場排出実態調査について	水 質 課
2 活性炭吸着塔への腐植質脱臭剤導入による脱臭剤交換費用の削減について	四之宮管理センター
3 寿町終末処理場の流域下水道編入に係る維持管理対応について	酒匂管理センター
平成27年度（第34号）	
1 活性炭交換時期の適正化について	水 質 課
2 汚泥処理施設へのポリ硫酸第二鉄注入による硫化水素発生抑制効果について	四之宮管理センター
3 水処理施設における汚泥引抜ポンプの振動対策について	柳島管理センター
平成28年度（第35号）	
1 神奈川県流域下水道終末処理場の電力削減に関する共同研究	共同研究会
2 浸出液排水設備の管理手法の見直しに関する検討	水 質 課
3 過給式流動炉の運用について	四之宮管理センター
4 寿町終末処理場の流域下水道編入に係る維持管理対応について（第2報）	酒匂管理センター
平成29年度（第36号）	
1 事業場の1,4-ジオキサン水質検査実施対象範囲の検討について	水 質 課
2 アンモニアセンサーを用いた送風量制御の最適化と電力削減について	四之宮管理センター
平成30年度（第37号）	
1 流域関連市町と連携した悪質水排出先の特定に関する検討	水 質 課
2 汚泥処理返流水を考慮したポリ硫酸第二鉄添加量の最適化について	四之宮水再生センター
令和元年度（第38号）	
1 流域下水道幹線の水質調査における安全対策に関する検証	水 質 課 ・ 業 務 課
2 水質異常時における活性汚泥適合試験に関する調査	水質異常時の維持管理対応マニュアル見直し検討グループ
3 焼却炉の焼結対策に関する検討	酒匂水再生センター・業務課・水質課
令和2年度（第39号）	
1 焼却炉の焼結対策に関する検討（第2報）	酒匂水再生センター

研究報告書（第39号）

発 行 公益財団法人神奈川県下水道公社

神奈川県平塚市四之宮四丁目19番1号

TEL 0463(55)7211

FAX 0463(55)7216

URL <http://www.kanagawa-swf.or.jp>

発行年月 令和3年10月