

2-2-4 りんによる処理機能への影響と安定運用に向けた

葛西水再生センターの取組

東部第二下水道事務所 葛西水再生センター スラッジ管理担当 阿部翔真

1 はじめに

近年、東京都下水道局の汚泥焼却炉では、焼却灰に含まれるりんが原因と考えられる煙道閉塞が発生している。葛西水再生センター（以下「当センター」という。）でも過去に煙道閉塞が原因で焼却炉の運転を停止し、一時的に汚泥処理能力が低下した経験がある。

これまでの調査で、焼却灰に含まれるりんに対して金属類が少なくなると、焼却温度により、融点の低いりん化合物を生成し、炉内で融解して煙道に付着することが分かっている（図 1）。また、金属類とりの含有率に応じて焼却灰の色に一定の変化が生じることなどが報告されている（図 2）。

当センターでは、焼却灰の色データを収集し、煙道閉塞の傾向を把握するとともに、焼却以前の処理工程でりの含有率をある程度低く維持する運用を見出し、煙道閉塞の危険性の小さい、安定した汚泥処理を実現したので、その方法及び結果について報告する。



図 1 空気予熱器上部（煙道閉塞時）



図 2 焼却灰（煙道閉塞時）

2 閉塞抑制指標値と余剰比率

2.1 閉塞抑制指標値

煙道閉塞の危険性を示す値として閉塞抑制指標値¹⁾があり、図 3 のとおり、閉塞抑制指標値が 1.0 を下回ると煙道閉塞の危険性が大きくなる。煙道閉塞の危険性を小さくするには、式の分母である「りん」が減少するか、分子である「金属類」を増加させて、1.0 を上回ることが必要である。

$$\text{閉塞抑制指標値} = \frac{\left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \cdot 2 + \frac{\text{CaO}}{M(\text{CaO})} \cdot \frac{2}{3} + \frac{\text{MgO}}{M(\text{MgO})} \cdot \frac{2}{3} \right\}}{\left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{M(\text{P}_2\text{O}_5)} \cdot 2 \right\}} < 1.0 \Rightarrow \begin{array}{l} \text{煙道閉塞} \\ \text{危険性大} \\ \text{焼却灰白色化} \end{array}$$

XiO_j : 焼却灰の分析値 [%] $M(\text{XiO}_j)$: 化合物 XiO_j の分子量 [g/mol]

図 3 閉塞抑制指標値

閉塞抑制指標値の算出に必要な焼却灰の成分分析値は、分析に時間がかかることから、閉塞抑制指標値を速やかに運転に反映することは困難である。このことから、りんと金属類の含有率に応じて変化する焼却灰の色が着目されている。

当センターでは、焼却灰の色を数値化して、りんを多く含有する余剰汚泥と焼却灰の色の関係を調査し、脱水汚泥中の余剰汚泥の比率（以下「余剰比率」という。）から煙道閉塞の危険性を小さくできないか検討した。

2.2 汚泥処理状況と余剰比率

当センターでは、一沈汚泥・余剰汚泥・送泥汚泥（中川水再生センター、小菅水再生センターの一沈汚泥と余剰汚泥を混合したもの）と性質の異なる3種類の汚泥を処理している。一沈汚泥・送泥汚泥は重力濃縮槽、余剰汚泥はベルト濃縮機によって濃縮処理し、それぞれの濃縮汚泥を混合して脱水処理する。混合の過程では、貯留できない余剰汚泥が優先的に処理されるため、脱水汚泥中のりんの量は、余剰汚泥に含まれるりんの量に大きく依存する。（一沈汚泥・送泥汚泥は、重力濃縮槽等で時間をかけて処理（重力汚泥）され、大部分のりんは水処理に返水されるため、余剰汚泥と比べてりん含有量は少ない）

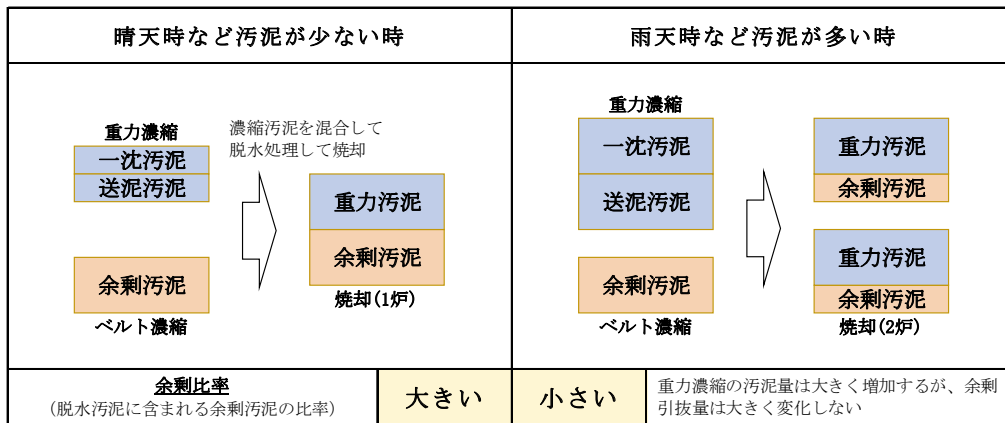


図4 晴天時・雨天時における汚泥処理状況

当センターでは、図4に示すとおり、重力汚泥の発生量に応じて焼却炉の運転基数を調整している。1炉運転時は、脱水汚泥に含まれる余剰汚泥の比率が大きくなり、金属類を多く含む重力汚泥が少なくなるため、図3式より閉塞抑制指標値は小さくなる傾向にあり、煙道閉塞の危険性は大きくなる。一方、2炉運転時は、余剰汚泥の処理量は大きく変わらないが、各炉に分配するため余剰比率が小さくなり、煙道閉塞の危険性は小さくなる。

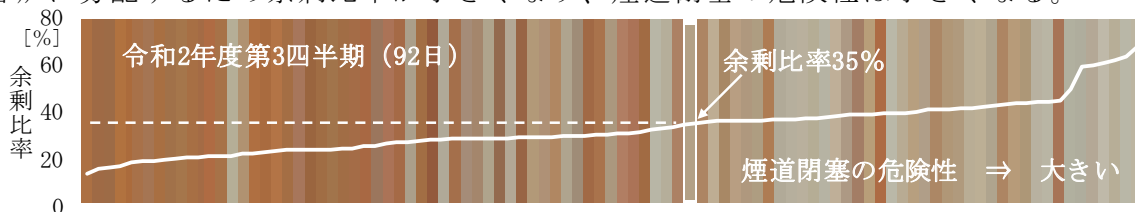


図5 余剰比率と焼却灰の色（背景色）

令和2年度第3四半期(92日)における余剰比率と焼却灰の色の関係を図5に示す。余剰比率の順に焼却灰の色をプロットした結果、余剰比率が大きくなるにつれて色が白色化する傾向にあることが分かる。特に、余剰比率が35%を超えたあたりから顕著に白色化していく。

2.3 焼却灰の色の数値化と余剰比率

焼却灰の色を数値化するため、焼却灰の画像から RGB 値を求めた（図 6）。焼却灰の R 値は大きく変化せず G 値と B 値が変化している事が分かる。色が赤褐色である図の左側では、R 値と GB 値に差があるが、色が薄くなるほど GB 値が R 値に近づいている。RGB 値は各値が 0～255 で設定されており、値が大きいくほどその色が強く表される。また、各値が近い値になるほど色がなくなり、すべての値が 0 ならば黒、255 ならば白になる。焼却灰の RGB 値は、合計が大きいくほど色が薄くなり、白色に近づくといえる。

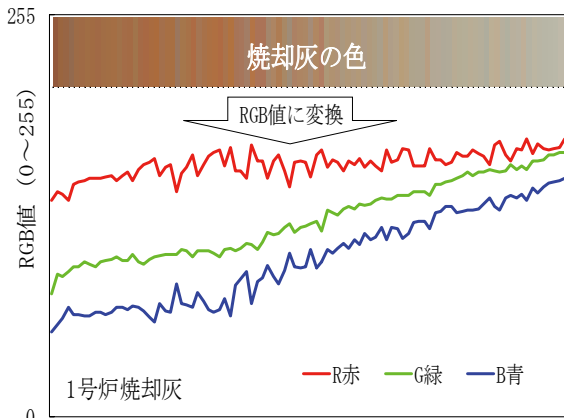


図 6 焼却灰の RGB 値

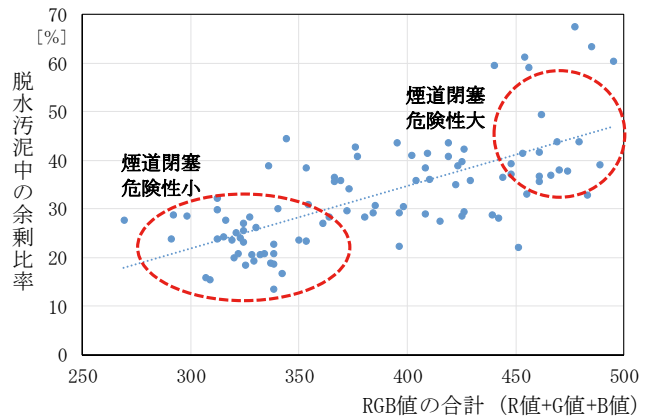


図 7 RGB 値の合計と余剰比率

RGB 値の合計と余剰比率の関係を表したものを図 7 に示す。余剰比率が大きいくほど、RGB 値の合計が大きくなる傾向にある事が分かる。焼却灰が白く（RGB 値の合計が大きいく）なるほど、閉塞抑制指標値が小さくなることから、余剰比率、焼却灰の色及び閉塞抑制指標値には相関があると考えられる（図 8）。

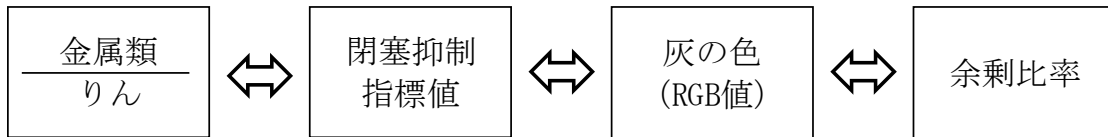


図 8 各指標値の相関

2.4 余剰汚泥中のりん濃度

重力汚泥と余剰汚泥の処理量から余剰比率を計算するが、実際のりん負荷量は、余剰汚泥の処理量と余剰汚泥中のりん濃度によって算出される。

汚泥処理施設を併設するセンターの余剰汚泥中のりん濃度を図 9 に示す。当センターの余剰汚泥中のりん濃度は毎年度 4% 強を示しており、比較的高い濃度となっている。

当センターでは、反応槽の処理状況によって、余剰汚泥中のりん濃度が 5% 程度まで上昇することがあるため、定期的に余剰汚泥中のりん濃度を測定し、余剰汚泥の処理

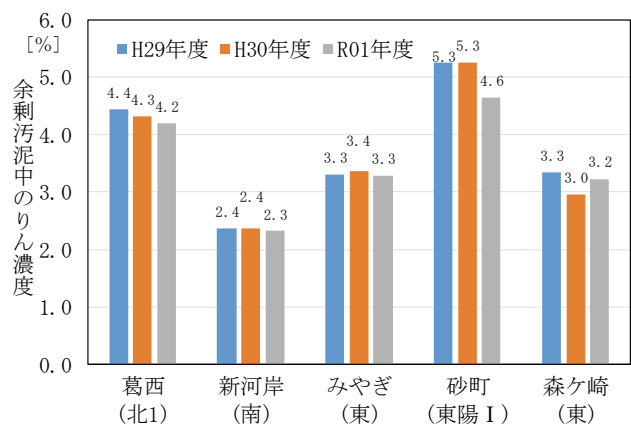


図 9 各センターの代表槽の余剰汚泥中のりん濃度（水質管理月報より）

量とりん濃度からりん負荷量の概算値を算出し、状況を把握することとした。

3 煙道閉塞対策

当センターでは、余剰比率を小さくすることが煙道閉塞の抑制に最も効果的であると推測し、余剰引抜量の管理方法の変更により余剰比率の上昇を抑える取組と、幹線フラッシングで重力汚泥を増加させて2炉運転を継続し、余剰比率を小さくする取組を実施した。

3.1 余剰引抜量管理による閉塞抑制効果

令和2年10月以降は、汚泥処理、水質の日報データから、余剰比率やりん負荷量の概算値を算出して数値化、水処理と汚泥処理で情報共有を行い、余剰引抜量などの調整を行った。

2炉運転時に余剰汚泥の引抜量を増加させ、1炉運転時は引抜量を抑制するなどの運転調整を実施して、余剰比率の平準化に取り組んだ。焼却灰が極端に白くなる現象がなくなるなど、ある程度の効果はあったが、反応槽の処理状況を優先して余剰引抜量を決めるため、余剰引抜量の調整には限界があり、2炉運転でも余剰比率が35%前後になるなど、思ったような効果が得られない場合もあった。

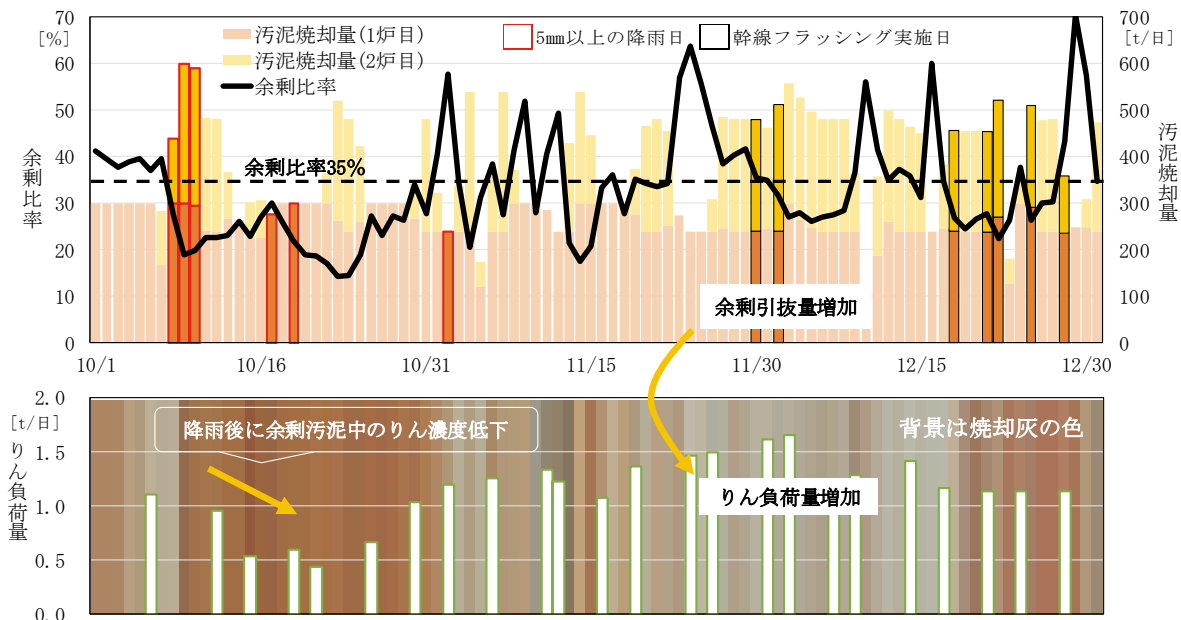


図 10 (第 3 四半期) 汚泥焼却量と余剰比率(上)、焼却灰の色とりん負荷量

図 10 に第 3 四半期の汚泥焼却量、余剰比率、焼却灰の色及びりん負荷量を示す。10 月上旬は、降雨により重力汚泥が増加して余剰比率が下がり、降雨後には余剰汚泥中のりん濃度が下がってりん負荷量が減少している。これにより、暫くは閉塞抑制指標値が大きくなり、閉塞の危険性が小さいことが焼却灰の色に表れている。

11 月下旬～12 月上旬は、余剰引抜量が増え、余剰汚泥中のりん濃度も 5% 近くまで上昇したため、結果的にりん負荷量が増加した。この期間は 5 mm 未満の降雨や、後述する幹線フラッシングを試験的に実施しているため 2 炉運転できているが、りん負荷量が増加した影響で、焼却灰の色は白くなった。余剰比率を小さくしても、りん負荷量が大きければ煙道閉塞の危険性は大きくなってしまうため、余剰汚泥中のりん濃度も重要な値であることが分かる。

降雨が少ないと脱水汚泥が不足して定期的に 1 炉運転となり、余剰比率が大きくなって

しまい煙道閉塞の危険性が大きくなる。煙道閉塞の危険性をできるだけ回避するには、重力汚泥を増加させて2炉運転を維持し、余剰比率を小さく保つことが最も効果的といえる。したがって、一沈汚泥を確保することを次の目標とした。

3.2 幹線フラッシング

一沈汚泥を増加させる方法として下水幹線に堆積した汚泥に注目し、晴天時に汚泥を引き寄せる幹線フラッシングという運転方法を行った。これまで、沈砂池のフラッシングを実施していたが、沈砂池内に堆積した汚泥を引込むだけで、汚泥量の大幅な増加とはなっていなかった。

これに対して幹線フラッシングは、幹線水位を通常運転している水位よりも下げて、幹線内に堆積している汚泥を沈砂池に引き込んだり、上流ポンプ所で揚水量を一時的に増加させて、堆積している汚泥を押し流したりすることで、より多くの汚泥を確保することが可能である。

令和2年12月～令和3年1月の間に実施した幹線フラッシング時の重力汚泥量を図11に示す。ほとんどの幹線フラッシングで重力汚泥が増加し、2炉運転(240t/日×2基)を維持するために必要な重力汚泥(約76[DS-t])を満たして、平均で104[DS-t]の重力汚泥を得ることができた。幹線フラッシングは、重力汚泥の増加に効果的であるといえる。

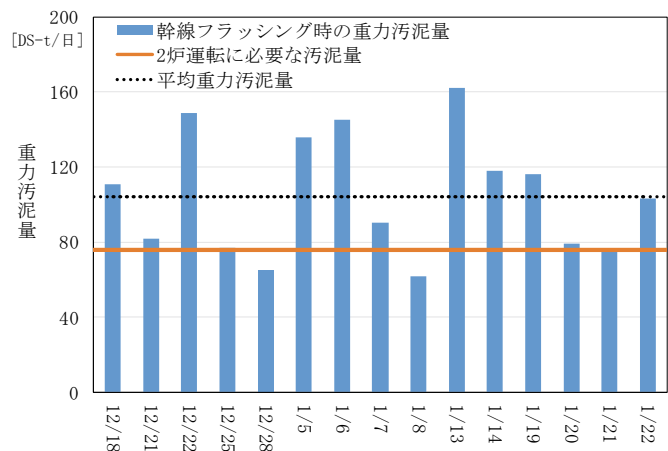


図11 幹線フラッシング時の重力汚泥量

3.3 幹線フラッシングによる閉塞抑制効果

令和2年12月下旬以降は定期的に幹線フラッシングを実施し、2炉運転をできるだけ継続する運用を実施した。

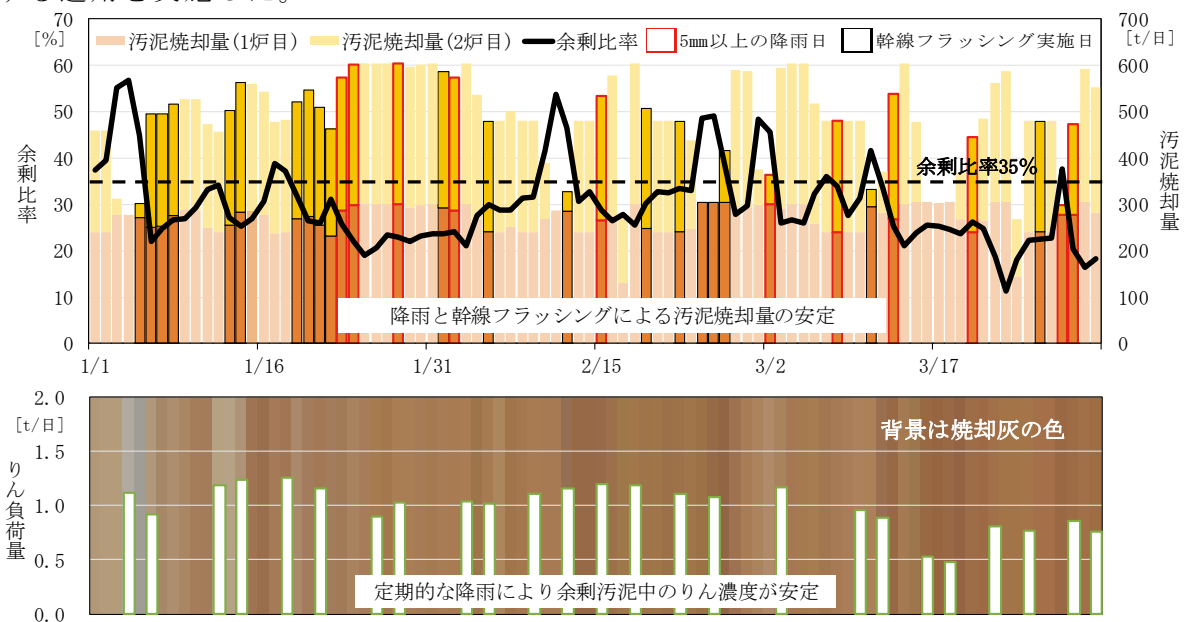


図12 (第4四半期) 汚泥焼却量と余剰比率(上)、焼却灰の色とりん負荷量

図 12 に幹線フラッシングを実施した第 4 四半期の汚泥焼却量・余剰比率・焼却灰の色及びりん負荷量を示す。黒枠で示した日は幹線フラッシングを実施した日、赤枠で示した日は降雨量が 5mm 以上の日を表している。第 3 四半期は 1 炉運転の日数が 30 日あるのに対して、第 4 四半期は 7 日となった。また余剰比率が 35% 以上である日数は、第 3 四半期は 36 日であったが、第 4 四半期は 18 日と半分にまで減少している。

第 4 四半期は、降雨と次の降雨の間に幹線フラッシングを実施して、断続的に幹線に滞留している汚泥を引込み、2 炉運転を維持する事で余剰比率の上昇を抑制した。また、この期間は定期的に降雨があったため、余剰汚泥中のりん濃度が安定してりん負荷量の変動が少なかった。以上のことから、焼却灰の色は安定して赤褐色になっており、煙道閉塞対策の効果が表れたといえる。

日々の運転データからりん負荷量に注視しつつ、幹線フラッシングにより余剰比率を調整して焼却灰の色で状況を確認するといった管理方法により、煙道閉塞の危険性を小さくできる。

4 情報共有及び協力要請

幹線フラッシングにより一時的に汚泥量を増加させることで、焼却炉の 2 炉運転を確保することが、煙道閉塞対策として効果的であることが分かった。しかしながら、葛西処理区内の幹線汚泥だけでは限界があり、必要な汚泥量を確保するためには、東部第二下水道事務所（以下「東二」という。）内の施設課を含む他センターの協力が必要である。そこで、煙道閉塞の危険性が一番伝わり易い焼却灰の色を東二内のサーバーで「灰色通信」と名付けて情報共有（図 13）し、煙道閉塞の危険性が大きい時には、上流側センターでも幹線フラッシングに協力していただいた。

葛西焼却灰の状況（灰色通信）

		1月3日	1月2日	1月3日	1月4日	1月5日	1月5日	1月7日
		土	土	日	月	火	水	木
中川	降雨量(mm/日)	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm
	炉運転					○		○
小管	降雨量(mm/日)							
	小管処理 梅田P						○	
	津島川処理 本田P							○
葛西	降雨量(mm/日)	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm	0.0mm
	葛西処理 東小丸川P							
	江戸川処理 篠崎P					○		
	真島町処理						○	
焼却灰	灰採取日	1月3日	1月2日	1月3日	1月4日	1月5日	1月5日	1月7日
	色画像							
備考						東プツ受見開始	東プツ受見	東プツ受見
閉塞抑制施設				103		100		

図 13 灰色通信

第 4 四半期は、他センターに協力を要請するとともに幹線フラッシングを適宜実施し、2 炉運転を概ね維持できた。りん負荷量が大きい場合は、十分な重力汚泥が必要であり、乾季には他センターの協力が必要となる。

5 まとめ

今回行った取組によって、余剰比率、焼却灰の色、閉塞抑制指標値に相関があることが確認でき、余剰比率を抑制する事が煙道閉塞対策として効果があることが明らかとなった。

また、水処理と汚泥処理で情報共有を行い、余剰引抜量の調整・幹線フラッシング等の運転を連携することで 2 炉運転の日数を増加させることが可能であり、煙道閉塞対策に一定の効果があることが明らかとなった。今後も今回実施した煙道閉塞対策を継続し、安定した汚泥処理を行っていく。

参考文献

- 1) 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（第 53 回下水道研究発表会）