

2-2-3 LAC 注入設備の運用に関する検討およびセンターりん処 理の現況

西部第二下水道事務所 みやぎ水再生センター 佐波 勇希
伊藤 正宏
(現 施設管理部環境管理課)

1 はじめに

みやぎ水再生センター（以下「当センター」という。）では、令和 2 年度の焼却炉更新に伴い、脱水設備をベルトプレス脱水機から遠心脱水機に変更した。設備の更新により運用が変化したため、汚泥処理量が増加し返流水のりん負荷が高まった。その対策として、令和 3 年 11 月から、遠心脱水機に投入する汚泥が通過する分配槽へ LAC（液体塩化アルミニウム）を注入する運転を開始した。

また、令和 4 年度以降、新しい焼却炉の効率的な運用を目指し、汚泥処理量をさらに増加させる試みを行った。落合受泥のセンター引抜量を増量し、加圧浮上濃縮槽の運転台数を 2 槽から 3 槽にすることで実施した。この変更により返流水のりん負荷量はさらに増加した。

本報告では、焼却炉更新以降の当センターのりん処理状況、返流水りん負荷の LAC による削減効果の調査結果及び LAC 注入設備の運用方法を検討した結果について報告する。

2 みやぎ水再生センターの施設概要

2.1 汚泥処理施設について

当センターの汚泥処理施設および LAC 注入設備の概要について説明する。

当センターに関連する送泥ネットワークについて図 1 に示す。当センターは、落合、浮間、三河島、小菅の各センターと送泥管がつながっているが、通常時の送泥は、図の赤い矢印の経路を使用している。落合水再生センターから受泥し、一部を受泥槽からセンター内に引き抜いた上で、東系の余剰汚泥を加えて三河島水再生センター経由で東部スラッジプラント（以下「東プラ」という。）に送泥している。また、受泥槽で引き抜いた汚泥、当センターで発生した一沈引抜汚泥及び西系の余剰汚泥は、センター内で処理している。なお、図の薄橙色のセンターには、汚泥処理施設が存在する。

つづいて、センター内の汚泥処理施設について図 2 に示す。汚泥の濃縮は、重力濃縮槽（以下「重力」という。）と加圧浮上濃縮槽（以下「加圧」という。）で行っている。一沈引抜汚泥は重力で処理し、受泥槽引抜汚泥と西系余剰汚泥は加圧で処理している。濃縮汚

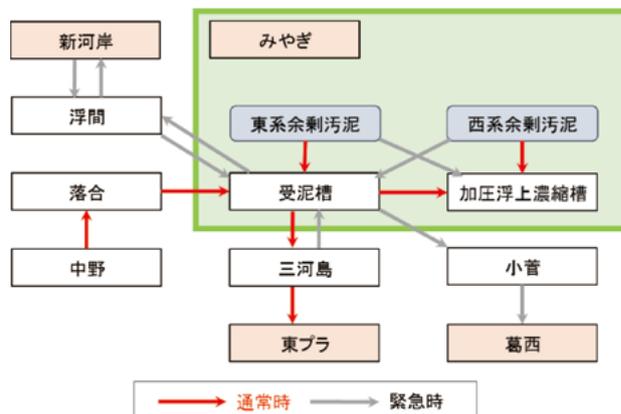


図 1 当センターに関連する送泥ネットワーク

泥は、調整槽、分配槽、汚泥貯留槽を経由して、遠心脱水機（以下「遠心」という。）に投入され脱水ケーキとなったのち、1号炉で焼却される。

LAC 注入設備は、分配槽に注入されるよう設置された。のちほど 6.2 節でふれる机上実験の結果から、遠心の前後どちらかに注入すると効率よくりんが削減できると想定されたが、施設特性上、遠心の後ろには設置できなかつたため、遠心の前に設置した。分配槽は容積が 3 m³ と小さいため、濃縮汚泥を投入する際に、十分に LAC と汚泥が混合されると想定された。濃縮汚泥は、分配槽を間欠的に通過するため、汚泥の通過中のみ希釈水と LAC が注入される。LAC の注入制御方式として、注入率制御と流量制御の設定があるが、現在は安定的な注入のため流量制御を使用している。

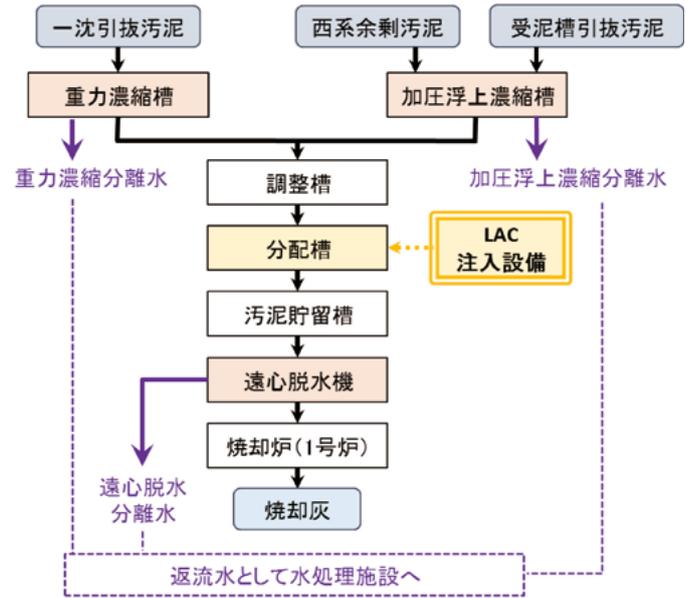


図 2 当センターの汚泥処理施設

図 2 当センターの汚泥処理施設

2.2 水処理施設について

当センターの流入水は、主に、高段沈砂池に流入する石神井川下幹線と、低段沈砂池に流入する飛鳥山幹線の 2 系統である。汚泥処理工場の返流水は、洗煙排水を除き高段沈砂池に流入する。当センター既報¹⁾や日常試験の水質から、高段沈砂池への流入水は、概ね西系 3、東系に 7 の比率で流入することがわかっている。つまり、東系では返流水の負荷を西系の 2 倍程度受けるといえる。処理方式は、西系は標準法の浅槽反応槽、東系は AO 法の深槽反応槽である。流入負荷と処理方式の関係から、東系は西系に比べてりん含有率が上がりやすい傾向にある。

2.3 みやぎ水再生センターのりん処理における PAC と LAC の特徴

当センターでは、りん処理に使用する薬品として、PAC と LAC を使用している。2 薬品は、ともにアルミニウム（以下「Al」という。）の添加によってりんを難溶性かつ高融点の塩として固形化するはたらきを有している。本節では、この当センターの処理における 2 薬品の役割の違いを説明する。

当センターの模式的なりんの流れについて、図 3 に示した。2 薬品は、ともに放流水のりんを削減する役割を果たすが、一連の処理の中で固形化したりんを移行させる場所が異なっている。

PAC は、反応槽と第二沈殿池の間で注入され、りんを放流水から汚泥へと移行させる役割を果たす。一方、LAC は、返流水中のりんを焼却灰に移行させる役割をもつ。2 薬品のりん処理に対するはたらきとしては、PAC は一時的なりん濃度の上昇を抑制することであり、LAC は系内で循環するりんの量を減らし系外にりんを移行させることで、水処理系の流入負荷量を連続的に減少させることである。また、循環するりんの量の抑制という観点では、りんの系外への排出先が焼却灰と放流水の 2 か所しか存在しないことは、汚泥処理を有するセンターにとって水処理が困難となる一因である。

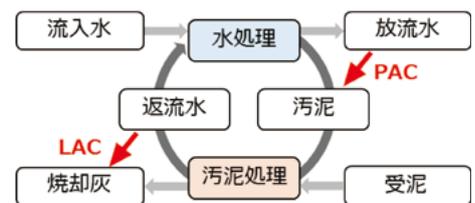


図 3 当センターのりんフロー概要及び PAC、LAC の役割

3 みやぎ水再生センターにおけるりん処理状況

3.1 りん処理状況の概況

焼却炉更新後のりん処理状況として、東西一沈出口及び放流水のりん濃度、東西反応槽の活性汚泥りん含有率、返流水のりん負荷量などについてまとめた。返流水については、脱水機の更新前後では洗浄水量等が異なり、休止前の4号炉と稼働後の新1号炉では洗煙排水量も異なるため、濃度でなく負荷量で確認した。

東西一沈出口のりん酸性りん濃度及び放流水の全りん濃度の経年変化について、図4に示した。一沈出口のりん酸性りん濃度の変化は、西系に比べて東系の方がやや大きいことがわかる。これは、第2章で説明した通り、返流水の影響を東系の方が西系より大きく受けることが原因と考えられる。また、放流水の全りん濃度は、東系の方が西系よりも高い傾向があり、これは一沈出口のりん酸性りん濃度の影響を受けているためと考えられる。

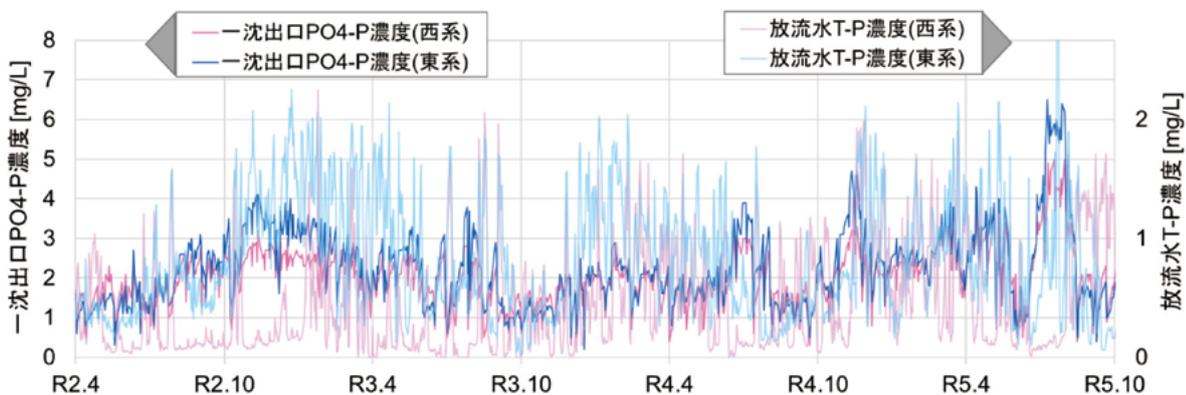


図4 東西一沈出口のりん酸性りん濃度および放流水の全りん濃度の経年変化

つづいて、東西のりん含有率と返流水のりん負荷量の経年変化について、図5に示した。東西のりん含有率と、返流水のりん負荷量はおよそ同じ時期に上下していることがわかる。これは、どちらも系内で循環するりんの量と相関があることが原因と考えられる。つまり、りん含有率が上昇すれば、加圧や遠心の分離水のりん濃度が上昇し、返流水のりん負荷量が増えることによってりん含有率が上昇しやすくなる悪循環や、すべて逆にはたらく好循環などが発生してきた結果、このような水質変動につながっている。

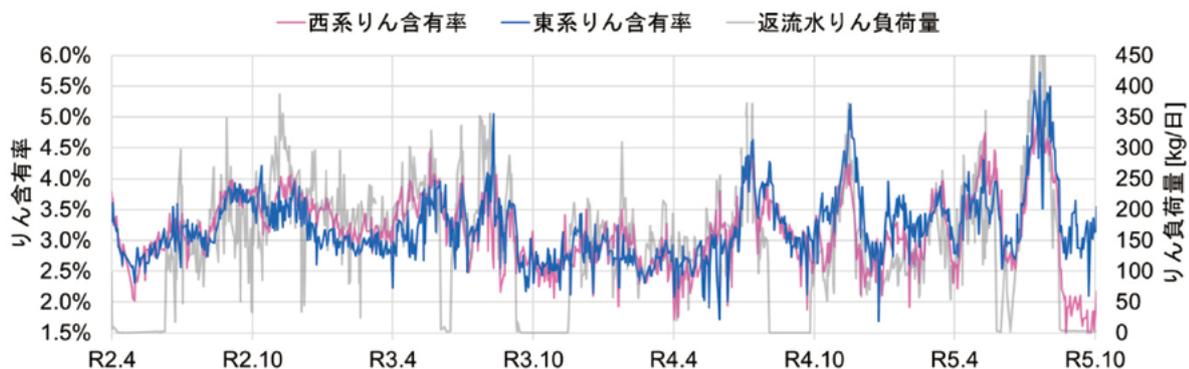


図5 返流水のりん負荷量と東西のりん含有率の経年変化

4 加圧浮上濃縮槽の3槽運転について

4.1 加圧浮上濃縮槽3槽運転による焼却炉の効率的な運用と返流水負荷量の増大

加圧では、1槽あたり2,600 m³/日程度の汚泥を処理できる。

安定して加圧3槽運転が続いた令和5年4月は脱水ケーキ量が191 t/日であった。加圧2槽運転をしていた令和4年4月が152 t/日であったことから、加圧3槽運転によってケーキ量を前年同月比で27%増量することができた。

なお、TGS スラッジ事業所の報告²⁾では、投入量7.0 t/h（日量換算168 t/日）以上かつ含水率78.0%以下であれば焼却炉の安定的な自燃が達成できるとある。自燃状態が維持できれば燃焼時の都市ガス利用がなくなり、温室効果ガスの削減につながるため、望ましいことは明らかである。

脱水ケーキ生産量と自燃に必要なケーキ量を比較すると、加圧2槽運転であれば自燃が難しいところ、加圧3槽運転の脱水ケーキ量であれば安定的に自燃が達成可能になる。これが、加圧3槽運転の大きなメリットである。

一方、加圧3槽運転では、処理工場からの返流水も増加する。晴天日の平均的な平日の場合、返流水の流量は、加圧2槽運転では約11,200 m³/日、加圧3槽運転では約13,500 m³/日であり、21%増加していた。りん酸性りんの濃度が同じであっても負荷量が2割変化するというを示しており、水量増加は水処理系にかかる負荷量増大に大きく影響する。

このように、加圧3槽運転は、焼却炉の効率的な運用の一助となる一方で、水処理系への負荷は増大するため、水処理の安定した運用のためには汚泥処理の運用状況をふまえ、安定した水質との両立をさせなければならない。

4.2 加圧浮上濃縮槽3槽運転の実績

前節のような課題が想定される中で、令和4年9月以降、加圧3槽運転を試行し、水質状況について調査した。3槽運転は、令和4年10月中旬～12月上旬、令和5年2月中旬～3月中旬、4月上旬～5月下旬、6月下旬～8月上旬にかけて実施した。この間、LACの注入量は、10 L/hから120 L/hの設定であった。加圧の運転状況と、東西の活性汚泥中のりん含有率についてまとめたグラフを図6に示す。なお、ここでは加圧3槽運転の定義として加圧投入汚泥5,500 m³/日以上とし、1日のうち短時間でも3槽運転をした場合には3槽運転として示している。

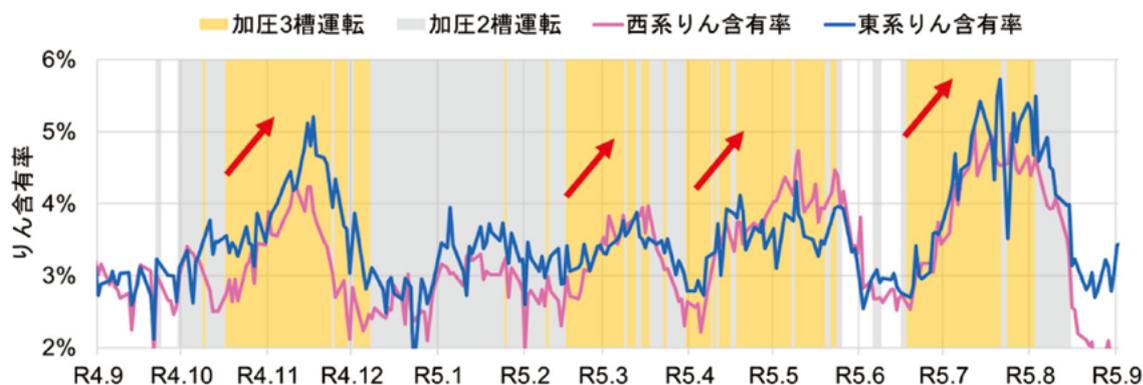


図6 加圧の運転槽数と東西の活性汚泥りん含有率の関係

いずれの機会においても、加圧3槽運転の開始時には東西のりん含有率が上昇した。加圧3槽運転開始から1か月程度経過するとりん含有率の上昇傾向が鈍化する一方で、放流

水の全りん濃度が上昇する場合があった。一例として、令和4年10月15日から12月10日までの期間における、東系におけるりん含有率と放流水の全りん濃度について、図7に示す。11月中旬を境にして、りん含有率の上昇が止まった一方、放流水の全りん濃度が高くなったことが明らかに読み取れる。

また、令和5年7月には、約1か月間に渡り無降雨期間が継続し、東系のりん含有率が最大で5.7%に達した。返流水のりん負荷量も、通常時は150 kg/日程度の日がほとんどであるのに対して、約550 kg/日まで上昇した。

試行の結果を鑑みるに、加圧3槽運転を現状の運転方法で長期間にわたって継続するのは、りん負荷の観点からは難しい。りん処理の安定的な運用を行うには、LAC注入量の増量や放流水質の調整によってりん含有率を低く維持するほか、3槽運転を連続ではなく断続的に行うなど、更なる工夫が必要である。

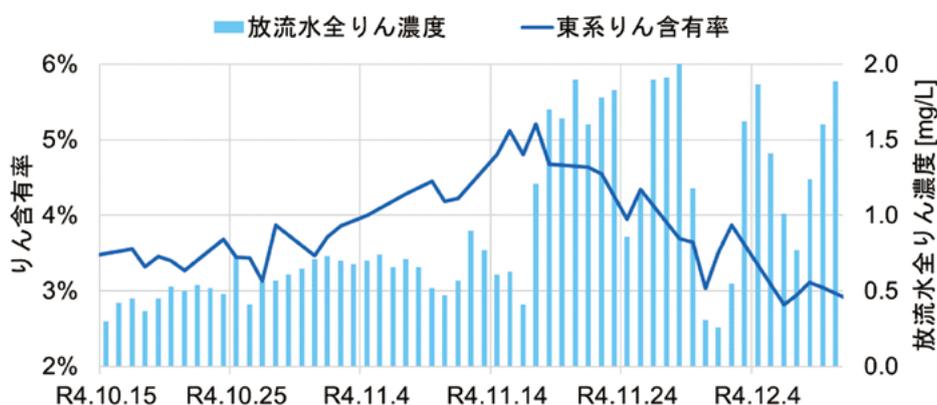


図7 加圧3槽運転中の放流水全りん濃度とりん含有率の関係

5 LACの化学的性質が水処理に与える影響についての検証

5.1 濃縮汚泥のpHについて

LACによってりんを塩として固形化する場合、pH4を下回るとりんが再溶出する事例が報告されている³⁾。一方で、LACのpHは製品規格では2.2~3.0であり、汚泥に多量に注入すれば汚泥のpHが低下することが想定された。そこで、LAC注入時に濃縮汚泥のpHがどのように変化するか調査した。

LAC注入直後の汚泥貯留槽に投入される汚泥について、間欠運転の1周期分について採泥しpHを測定した。LACの注入設定量を、60, 100, 120 L/hに変更して3回実施し、結果を図8にまとめた。なお、各回の汚泥投入継続時間が異なったため、図の横軸は時間を規格化して表示し、投入が継続している時間を示す箇所には緑色の背景をつけた。

汚泥が投入されている間は、いずれの設定量であってもpH4を上回っていることが確認できた。なお、汚泥の通過後は、配管内を希釈水で洗浄するため、一時的にLACと希釈水が通過することでpH4を下回った。また、LAC注入量によるpHの明確な違いは見られなかった。

つづいて、LAC注入率と遠心投入汚泥のpHの関係について、汚泥試験の結果を用いて算出を試みた。LAC注入量と遠心投入汚泥の水温から重回帰分析を行ったところ、pHは水温にのみ依存するという結果であった。これは、前述の結果と整合している。そこで、

水温と pH の関係性について LAC 注入設備の導入前後でそれぞれまとめ、図 9 に示した。LAC 導入前に比べ導入後では、傾きが小さくなったことがわかる。

以上の結果から、LAC 注入は遠心投入汚泥の pH に対して影響を与えているものの、pH 低下と LAC 注入量の関係に定量性は確認できず、りん処理に問題を及ぼすことはないといえる。

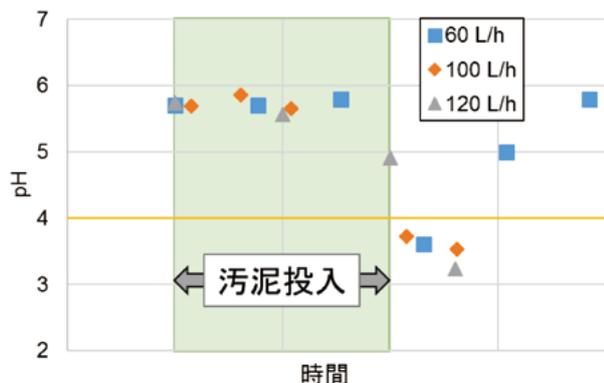


図 8 LAC 注入時に貯留槽に投入される汚泥 pH の変化

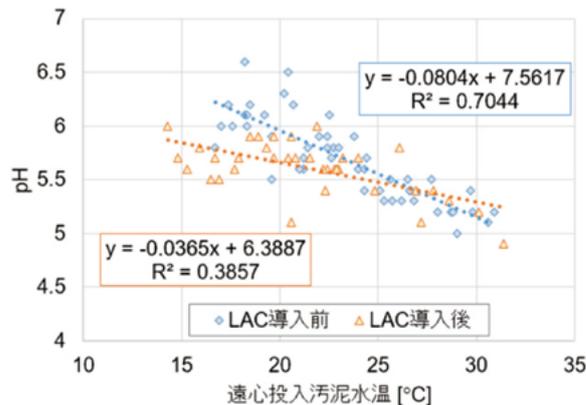


図 9 遠心投入汚泥の水温と pH の関係

5.2 水処理・汚泥処理施設におけるアルミニウムの残留性について

LAC のりん処理に寄与する主成分は Al である。活性汚泥中に高濃度の Al が存在する場合、生物活性に悪影響を与えると報告されている⁴⁾。一方で、当センターにおいて、LAC により注入した Al のうち返流水として水処理施設に戻っている割合が不明であった。

この調査のため、水処理施設、汚泥処理施設において採水、採泥し、Al 濃度の分析を行った。分析手法には ICP-OES を用い、すべて硝酸で 1 時間 150 °C で分解する前処理を行うことで、液体試料として分析した。汚泥処理施設と水処理施設についての分析結果を表 1 及び表 2 に示す。なお、調査は LAC 注入量 100 L/h で実施した。

表 1 汚泥処理施設における Al 濃度

(単位: mg/L)

	調整槽引抜汚泥 (LAC注入前)	遠心投入汚泥 (LAC注入後)	遠心分離水	LAC
調査①	-	110	<25 (参考:<5)	-
調査②	70	100	<5	71,000

表 2 水処理施設における Al 濃度

(単位: mg/L)

	石神井川下幹線 流入水	返流水	東系 反応槽混合液	西系 反応槽混合液
調査①	<25 (参考:<5)	-	<25 (参考:8)	-
調査②	-	<5	<25 (参考:9)	<25 (参考:3)

遠心分離水（汚泥処理施設）及び返流水（水処理施設）では、測定下限の 5 mg/L 未満という結果であった。この結果から、当センターにおいては、ほぼすべての Al が脱水ケーキに移行しているといえる。注入した LAC は、りんの固形化や、汚泥の凝集にほぼすべて使用されていることがわかった。

また、下水からの流入も測定下限値以下であった。このような条件にもかかわらず、反応槽混合液において測定下限値以下の参考値ではあるものの 3~9 mg/L という値を示しているのは、LAC 由来ではなく水処理系への PAC 注入による影響と考えられる。

さらに、LAC の Al 濃度測定値と貯留槽投入汚泥の注入率を用いて計算すると、LAC 注入によって濃縮汚泥中の Al 濃度は 29 mg/L 増加すると算出された。調査②において、LAC 注入前の調整槽引抜汚泥と注入後の遠心投入汚泥の濃度差が 30 mg/L であるので、測定結果は、計算値と高い整合性を示している。

6 LAC による返流水りん負荷の削減効果について

6.1 LAC とりん酸性りんの化学量論的反応について

本節では、LAC に含有されている Al がりん酸性りんと化学量論的に反応をした場合について考察する。実際の反応や水中における各物質の様態などは複雑であるが、りんを固形化するとき起きる現象は、単純化すれば Al イオンとりん酸イオンが反応すると考えることができる。このとき、Al イオンとりん酸イオンは、ともに 3 価のイオンであるため物質間で 1 対 1 の反応をする。

実施設においては、異なる比率で処理されることが想定され、その反応比率について、本報告では、添加した Al の物質量を不溶化したりんの物質間で割った数字で表し、以降「モル比」と表現する。化学量論的に反応した場合のモル比は 1 であり、モル比の数字が大きくなるほど、LAC の注入効率が悪くなることを意味する。

つづいて、化学量論的な比率に基づいて処理がされた場合の、LAC の 1 L あたりのりん処理量について算出する。LAC 納入時の試験成績表によれば、わずかにばらつきはあるが、おおむね比重が 1.30、含有する Al の酸化アルミニウム (Al₂O₃) としての重量パーセントが 10.7%とのものである。各原子の原子量を O が 16、Al が 27、P が 31 とすると、LAC 中の Al は、73.6 g/L つまり 2.73 mol/L である。よって、不溶化するりん酸性りんは、84.6 [g-P / L-LAC]と計算される。

6.2 机上実験による注入箇所別の LAC とりんの反応モル比の検討

最適な位置に LAC 注入設備を設置するため、令和元年度に、当センターの汚泥を使用した机上実験により LAC とりん酸性りんのモル比を調査した。結果を表 3 に示す。また、東プラにおいて過去に同様の調査を行っており、参考として表 4 に示した⁵⁾。当センターにおいては、脱水機投入汚泥と脱水機分離水に注入すると想定した場合、モル比が 1.2 と最も低くなることが分かった。脱水機の投入前後に LAC を注入することで、効率よくりん

表 3 当センターにおける、LAC とりん酸性りんのモル比 (机上実験)

試料	モル比 (Al/P)
落合受泥	2.0
加圧分離水	1.4
脱水機投入汚泥	1.2
脱水機分離水	1.2
返流水	1.8

表 4 東プラにおける、LAC とりん酸性りんのモル比 (机上実験)

試料	モル比 (Al/P)
汚泥分配槽投入汚泥	1.3~1.5
濃縮汚泥	1.2~1.4
遠心脱水分離液	1.0~1.2

と Al が反応するという結果は、東プラの机上実験ともおおむね近い傾向であるといえる。

当センターでは、施設特性上、脱水機分離水に LAC を注入する設備を設置できなかったため、2.1 節で示した通り、脱水機投入汚泥に注入できる位置に設置した。以上の経緯から、当センター施設における LAC によるりん処理のモル比は、机上の実験結果によれば、1.2 であるといえる。

6.3 実施設の水質からみる LAC 注入量と返流水のりん負荷量の関係

つづいて、実施設におけるモル比について調査した。まず、LAC の注入量と返流水のりん負荷量の関係をプロットし図 10 に示した。返流水のりん負荷量と LAC の注入量の関係について直線で近似すると、相関係数は低いものの、傾きが 0.0985 で右上がりになっていることがわかる。これは、高い返流水りん負荷量になればなるほど、増加を抑えるために LAC 注入量を上げる運転変更を行ってきたことを示している。実施設の水質から LAC とりん負荷量の関係性や LAC によるりん負荷削減効果を確認するには、詳細な検討が必要である。

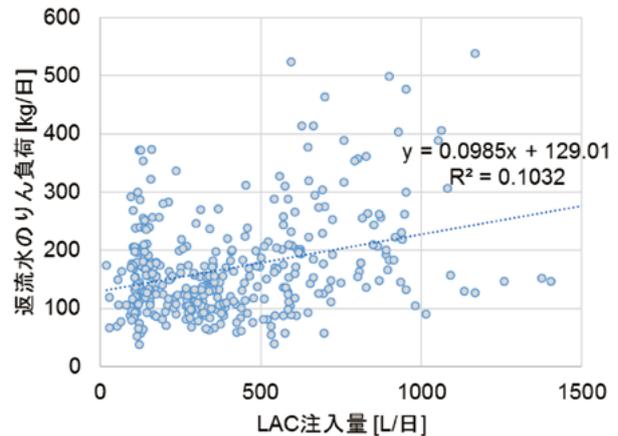


図 10 LAC の注入量と返流水のりん負荷

6.4 遠心脱水機分離水と加圧浮上槽分離水のりん負荷比較による返流水負荷量削減効果の試算

返流水のりん負荷の発生源のうち、大きな割合を占めるのは加圧と遠心の分離水である。LAC 注入は、加圧と遠心の間の工程で行われるため、LAC の直接的な効果が現れるのは 2 つの分離水のうち遠心のみである。実際に、加圧分離水のりんについては LAC について考慮する必要はなく、図 11 に示す通りセンターで処理している西系余剰汚泥のりん含有率との相関がみられた。

遠心分離水については、LAC 注入の効果が定量的に現れていた。遠心分離水のりん負荷量を加圧分離水のりん負荷量で割ったものをりん負荷量の遠心比率として、LAC 注入率との相関を図 12 にまとめた。りん含有率など LAC 以外の条件は、加圧分離水と遠心分離水で概ね同じである。LAC 注入無しでのりん負荷量の遠心比率は、平均すると 2.5 であった。この比率には、LAC 注入率を増加するにつれて小さくなる傾向があることが確認できた。

この 2 つの近似直線から、LAC の定量的な効果を計算することができる。図 12 の近似式の傾きから、LAC によって遠心分離水中のりん負荷を比率 1 だけ減らすためには、0.41 L/m³ 増加させる必要があるといえる。

ここで、西系のりん含有率を 3.5%、加圧 2 槽運転の場合における LAC によるりん削減量を考える。加圧分離水量を 4,200 m³ とすると、加圧分離水のりん負荷量は 57 kg となる。汚泥貯留槽投入汚泥量を 1,600 m³ とすると、0.41 L/m³ に相当するのは、656 L となる。よって、この手法から求めた LAC によるりん削減量は、87 [g-P / L-LAC] であったと算出できる。また、添加した Al と不溶化したりんのモル比で表現すれば約 1.0 となり、ほ

ば 6.1 節で示した化学量論的な比率で反応しているといえる。ただし、本節では、りん含有率を 3.5%と仮定して計算したが、りん含有率は幅を持って値が変動する項目である。実施設におけるモル比の値については、継続して検証していく必要がある。

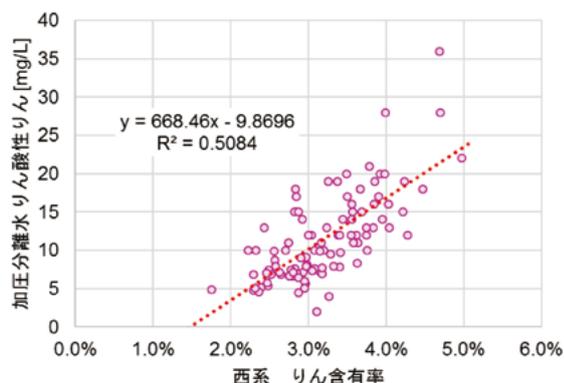


図 11 加圧分離水のりん酸性りと西系
余剰汚泥りん含有率の関係

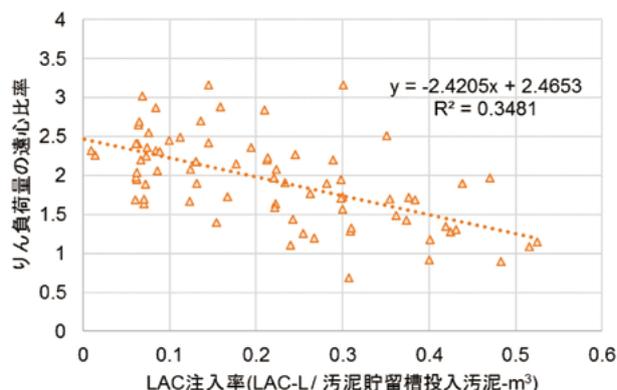


図 12 りん負荷量の遠心比率（遠心／加
圧）と LAC 注入率の関係

6.5 LAC による返流水りん負荷の削減効果のまとめ

本章では、当センターにおける LAC とりん酸性りんのモル比を求めようと努めてきた。実施設における正確な値を算出することはできていないが、机上実験の結果などから、モル比は 1.2 程度であると考えるのが、現時点では妥当である。その結果から計算すると、LAC によるりん削減量は約 70[g-P / L-LAC]となる。ただし、この値は、汚泥処理系内での LAC による直接的なりん削減効果についてのものである。

LAC 注入量が、センター全体のりん処理に及ぼす効果を推定するには、水処理系内におけるりん削減効果に関する検証が不足している。同じ流入状況で、同じ量の LAC を注入しても、放流水のりん濃度が低ければ系内のりんは増加していく。一方、放流水のりん濃度が高ければ系内のりんは減少していく。このようにセンター全体のりん処理は、水処理系内のりんの状況とも密接な関係があるため、水質データからセンター全体の LAC の効果を分析する場合には、汚泥処理系内だけでなく、水処理系も含めたセンター全体のりん循環量や、放流水のりん濃度などの影響も考慮する必要がある。このことから、LAC の使用量を増減させた場合、放流水質や汚泥中のりん含有率などがどのように変化するかといったことを、本章の議論のみで推測するのは難しいと考えられる。

7 LAC 注入指針について

令和 4 年度末に、それまでの水質データに基づき LAC 注入指針を作成した。指針では、水質指標をもとに、放流水のりん濃度のリスクレベルを 3 段階（「通常」、「管理目標超過のおそれ」、「排水基準超過のおそれ」）に区分し、レベルに応じて LAC 注入量を増減させる。水質指標として、返流水のりん濃度と負荷量、一沈出口りん濃度、活性汚泥りん含有率を採用した。このうち、返流水のりん負荷量を見ると、150 kg/日と 300 kg/日とを境目として LAC 注入を強化している。

この指針に従って LAC 注入したところ、加圧 2 槽運転時には、放流水中に微量のりん濃度が検出される条件では、「通常」または「管理目標超過のおそれ」のどちらかに該当することがほとんどであった。指針に沿った LAC の注入が、安定的なりん処理に寄与したと

いえる。

加圧 3 槽運転時は、指針通りの注入量では、りん含有率と返流水のりん負荷量が上昇する場合が多かった。一方で、放流水のりん濃度が上昇した際には、りん含有率や返流水の負荷量の上昇が抑えられた。加圧 3 槽運転を安定して継続するためには、4 章で記載した通り、LAC だけでなく複合的な対策をとるような指針に変更する必要があると考える。

8 まとめ

- ・ LAC 注入設備の新設によって、返流水のりん負荷量の削減効果は確認できたが、LAC 注入の水処理への定量的な効果の把握に関しては、今後も継続して検証する必要がある。
- ・ 通常注入している 120 L/h 以下の LAC 注入量の範囲では、汚泥投入中に pH が 4 を下回ることはなく、りんの再溶出は発生しないと考えられる。
- ・ LAC によって注入された Al は、返流水にはほとんど含まれておらず、Al 濃度増加による活性汚泥への悪影響は少ないと考えられる。
- ・ 加圧 3 槽運転は、自燃に必要なケーキ量の確保が可能になり焼却炉の効率的な運用に寄与する一方で、1 か月以上継続したケースでは返流水のりん負荷増大を招き、活性汚泥中のりん含有率が増加した。
- ・ 令和 4 年度に策定した指針は、加圧 2 槽運転時にはよく適応している。しかし、加圧 3 槽運転時にはりん負荷量の増加に LAC のみで対応することが難しいため、注入設定をより詳細に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 中村 浩一郎ほか：「汚泥処理キーステーション化に向けた窒素とりん処理の両立に向けた取組～臭化ナトリウムをトレーサー物質とした混合特性及び流動調査～」 水質技術研究発表会 2019
- 2) 東京都下水道サービス株式会社 みやぎスラッジ事務所：「省エネルギー型焼却炉の効率的な運転方法の構築」 令和 3 年度処理技術等成果報告書 2022
- 3) 石井 裕樹ほか：「返流水等における凝集剤りん除去性能の比較」 水質技術研究発表会 2020
- 4) 柴田 美幸：「LAC(塩化アルミニウム)を用いたりん除去の基礎実験---曝気槽混合液への添加 ---」 水質管理研修 2002
- 5) 杉本 太郎ほか：「LAC 注入による汚泥処理返流水のりん負荷低減について」 技術調査年報 2020