

所属・氏名	下水道水質課 高橋 一樹
発表名称	南北汚泥資源化センターにおける汚泥のりん濃度の動向の比較について
ジャンル	水処理

1 はじめに

りんは、生物の増殖機能に重要な役割を果たしており、し尿、肥料などに多量に含まれている。閉鎖性の海域や湖沼などの富栄養化を促進する一因とされ、りんの環境基準が設定された水域では水質汚濁防止法の規制項目となっている。横浜市は、水再生センターで発生する汚泥を南北二つの汚泥資源化センター（以下、それぞれ南セ、北セと略記する）で集約処理を行っており、嫌気性消化法による汚泥処理の前後の濃縮と脱水の工程では分離液がそれぞれ発生する。これらはそれぞれ南セ・北セにある分離液処理施設（南セは H22 年、北セは H23 年よりともに修正 Bardenpho 法）に流入し、その処理水は金沢、北部第二水再生センター（以下、金沢、北二と略す）へ返流され、最終的に公共用水域に放流される。（図-1）

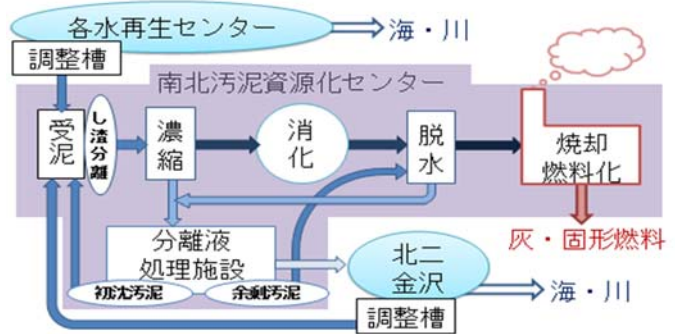
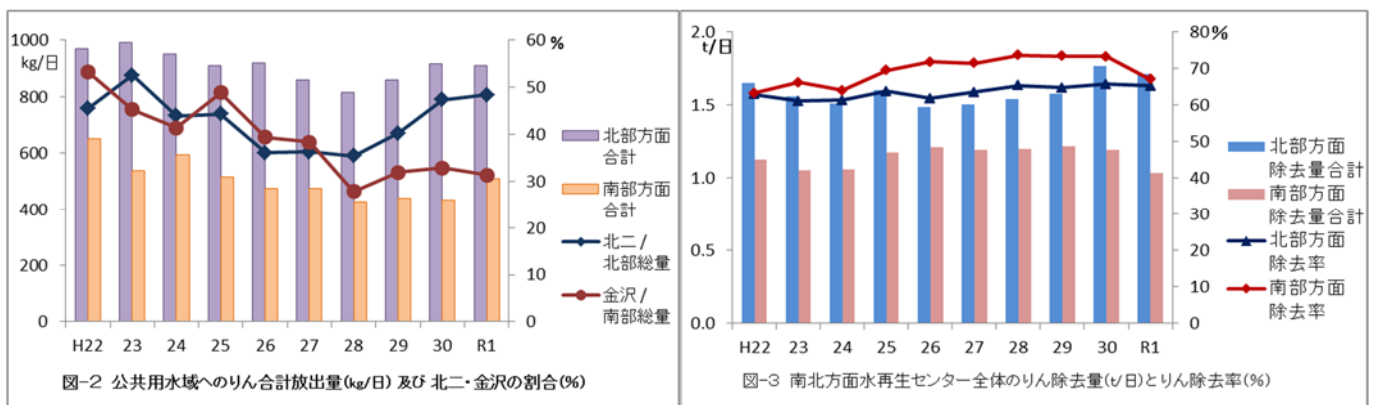


図-1 水再生センターと汚泥資源化センターの関係

今回、水質規制項目のうちりんについて着目し、その収支、経年変化、南北の処理状況の違いの原因について調査した。

2 各水再生センターから公共用水域へのりん放出量およびりん除去量

平成 22 年度から令和元年度までの（以下 H22～R1 年度と略す）、市内の各水再生センターから公共用水域へのりん放出量、りん除去量及び除去率の変化を比較した。（図-2、図-3）



横浜市内の各水再生センターの二次処理水量に、処理水の全りん(T-P)濃度を乗じて算出したりん放出量の合計値について、北部方面は10年間平均で1日当たり910kgと南方方面の504kgの約1.8倍となっており、常に上回っていた。そのうち、北二では北部方面の42.4%（1日当たり388kg）、金沢では南部方面の39.9%（1日当たり207kg）のりんが処理水中に含有されて東京湾側の公共用水域に放出されていた。また、汚泥資源化センターをもつ金沢及び北二のりん放出量の割合は、H22 から R1 年度にかけて金沢は53.3%から31.3%へと大きく減少したが、北二では45.5%から48.4%とほぼ変わらなかった。

次に、H22～R1 年度における南北方面の各水再生センターのりん除去量においても、北部方面の合計値は南部方面を常に上回っており、北部方面は10年間平均で1日当たり1.59tで南部方面の1.15tの約1.4倍であった。除去率は北部方面が平均63.6%に対し南部方面が69.4%と、ほぼ同等であることを考えると、北部方面の処理水量が南部方面に比べて多いため、そのままりん除去量が多くなっていることがわかる。

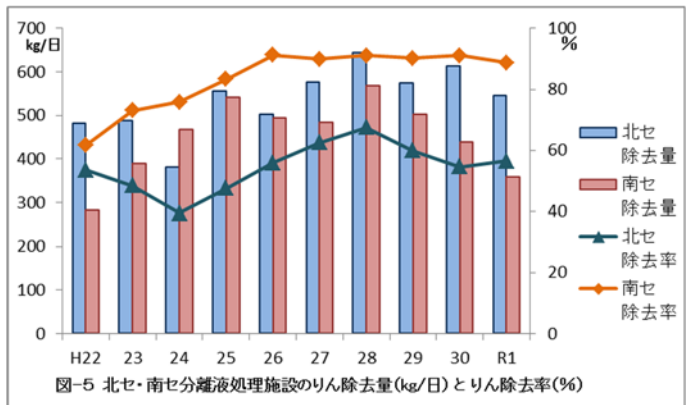
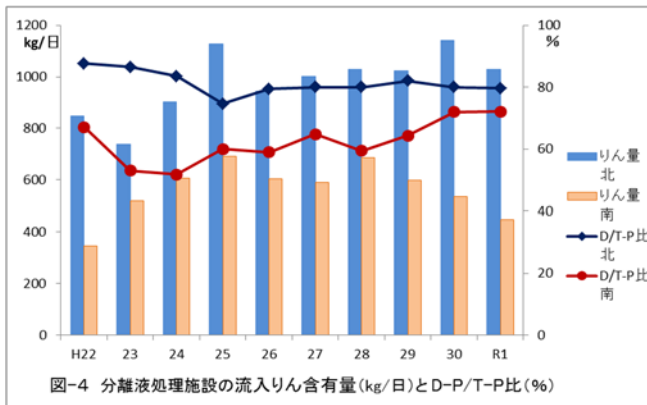
### 3 分離液処理施設における水質の比較

H29～R1 年度（3年間）の北セ及び南セの分離液処理施設の反応タンク流入水と処理水、並びに北二及び金沢の最初沈澱池流入水（原水）、最初沈澱池流出水（沈後水）及び処理水の平均水質を比較した。（表-1）

分析項目	SS (mg/L)		BOD (mg/L)		T-N (mg/L)		NH4-N (mg/L)		T-P (mg/L)		D-P (mg/L)		BOD/T-P		D-P/T-P (%)	
	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)	北(北二)	南(金沢)
北セ南セ 分離液AT流入水	1433	503	1867	897	370	260	240	200	103	49.7	82.7	34.3	18.2	18.1	80.5	69.1
分離液処理水	86.7	2.00	62.7	3.80	31.0	3.90	18.0	0.500	34.0	3.90	33.0	3.20	1.84	0.974	97.1	82.1
除去率(AT入-処理水:%)	94.0	99.6	96.6	99.6	91.6	98.5	92.5	99.8	66.9	92.1	60.1	90.7				
北二金沢 初沈流入水(原水)	95.7	113	130	150	26.0	27.3	15.3	16.7	6.07	3.67	4.63	1.70	21.4	40.9	76.4	46.4
初沈流出水(沈後水)	36.7	25.3	72.3	75.3	21.3	21.3	15.0	15.3	5.00	2.50	4.60	1.67	14.5	30.1	92.0	66.7
処理水	2.67	2.33	5.13	5.47	8.27	8.10	0.567	0.800	3.10	0.980	3.23	0.847	1.66	2.19	104	86.4
除去率(原水-処理水:%)	97.2	97.9	96.1	96.4	68.2	70.4	96.3	95.2	48.9	73.3	30.2	50.2				

H29～R1 年度の分離液処理施設の反応タンク流入水において、SS、BOD、T-N、NH4-N、T-P 等すべての項目で北セの方が高くなっており、T-P 濃度は約2倍となっている。さらに北セでは、SS 成分の回収では除去されないT-P 中のりん酸態りん(D-P)の割合(D-P/T-P 比)が高く、北二の流入水(原水)中のBOD/T-P 比が低いため活性汚泥による処理も難しいと考えられる。

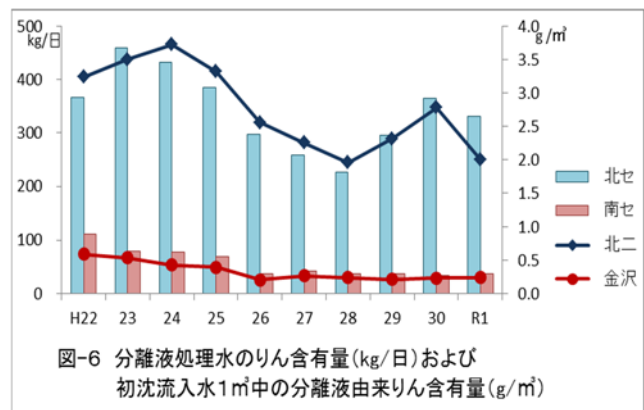
次に H22～R1 年度の南北の分離液処理施設における流入りん含有量と、D-P/T-P 比、反応タンク流入水と処理水のりん濃度の差と処理水量より求めたりん除去量と除去率について比較した。（図-4、図-5）



H22～R1 年度における分離液中のりん含有量では北セは南セを常に上回り、10年間の平均値で1日当たりの処理施設の流入りん含有量は北セで878kgと、南セの522kgの約1.7倍になっている。同じく、D-P/T-P 比は平均82%で、南セの平均61%よりも明らかに高い。また、りん除去率においては南セの方が常に高く、10年間で62%から89%へと上昇したが、北セでは変動はあるものの54%から56%とほぼ変わらなかった。

北セでは流入するりん含有量が多いため、H22～R1 年度における分離液処理施設の1日当たりの平均りん除去量が536kgと南セの435kgよりも多くなっているが、設備能力面においては、明らかに北セの方が余裕がない状況と考えられる。

これらのため、1日当たりの分離液処理水のりん含有量及び北二・金沢の初沈流入水1m<sup>3</sup>中の分離液由来のりん含有量は、ともに北セ(北二)が南セ(金沢)を大きく上回っていた。（図-6）



#### 4 汚泥資源化センター工程におけるりん収支

分離液処理施設流入水のりん含有量が両センターで大幅に異なる理由を考察するために、H29～R1 年度3年間の南北汚泥資源化センター処理工程におけるりん関連の収支を比較した。(表-2)

表-2 汚泥処理工程のりん収支(H29～R1年度平均)

分析項目	T-P(mg/L)		D-P(mg/L)		D-P/T-P (%)		処理量(m <sup>3</sup> /日)		りん含有量(kg/日)		T-P比率(%)	
	北	南	北	南	北	南	北	南	北	南	北	南
濃縮供給汚泥	253	210	89	52	35	25	7853	7793	1990	1637	100	100
濃縮分離液	113	72	98	43	87	60	6160	6683	698	481	35.1	29.4
消化投入汚泥	617	627	123	62	20	9.8	2297	1923	1416	1099	71.2	73.6
消化汚泥	550	573	213	143	39	25	2263	1917	1245	1099	62.6	67.1
脱水分離液*	120	62	113	59	94	96	2460	4043	295	251	14.8	15.3
脱水分離ケーキ*	3733	3751	—	—	—	—	226	252	842	947	42.3	57.8
AT流入水	103	50	83	34	81	69	10373	10590	1065	526	53.5	32.1
分離液処理水	37	3.8	36	3.4	96	89	8847	9427	330	36.1	16.6	2.2

\* 南セはスクリーンプレス、遠心脱水機の合計または平均(案分)値

H29～R1 年度の各処理工程におけるりん濃度は、濃縮分離液、脱水分離液ともに北セが高くなっている。そのため、濃縮供給汚泥を100%としたりん収支でも、北セは脱水ケーキへの移行割合が42.3%と南セ(57.8%)よりも低く、逆に分離液への移行割合が53.5%と南セ(32.1%)よりも高くなっている。そのため、北セ(北二)では分離液処理施設以降のりん収支の相対値が南セ(金沢)より高くなっている。(図-7)

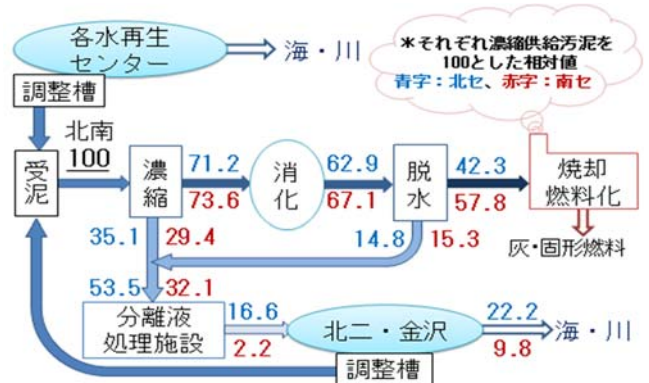


図-7 南北汚泥資源化センターのりん収支(%)

#### 5 受泥量と遠心濃縮機供給汚泥

H22～R1 年度における南セ・北セの受泥量と濃縮機供給汚泥のT-P濃度より算出した受泥中のりん含有量と、T-P中のD-Pの比の変化を比較した。(図-8)

10年間で受泥量はほぼ変わらないがりん含有量では北セが常に上回っており、1日当たり平均が1.99tと南セの1.55tに比べ1.28倍であった。T-P濃度(mg/L)では北256に対し南が208、D-P濃度(mg/L)は北88に対し南が44、およびD-P/T-Pの比率では北が34.6%に対し南が21.0%と、すべて北セが高くなっている。

以上より、濃縮供給汚泥の①りん含有量が多く、②溶解性のりん(D-P)の比率が高いことが、北セの分離液のりん濃度を高くしている要因と考えられる。

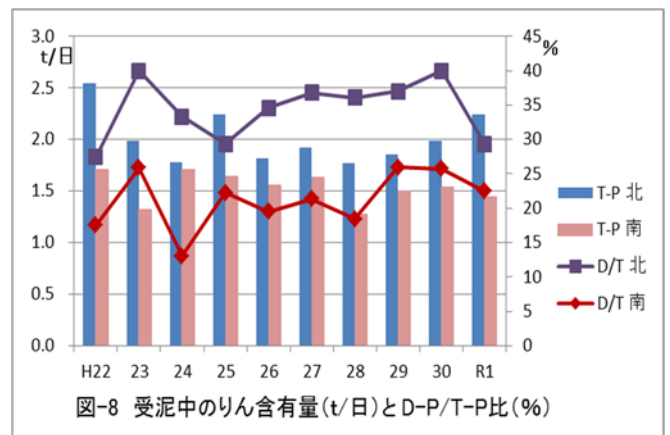


図-8 受泥中のりん含有量(t/日)とD-P/T-P比(%)

#### 6 南北方面水再生センターの高度処理量、調整汚泥中のりん含有量の比較

ここからは北セが南セと比べて濃縮供給汚泥のりん含有量及び溶解性のりん(D-P)比率が高いことの原因について考察していく。

H22～R1 年度における南北の水再生センター全体の高度処理量と高度化率について比較した。(図-9)

どちらも北部方面の方が高く、特にR1年度の時点の高度処理量では南部方面の約2倍高くなっており、

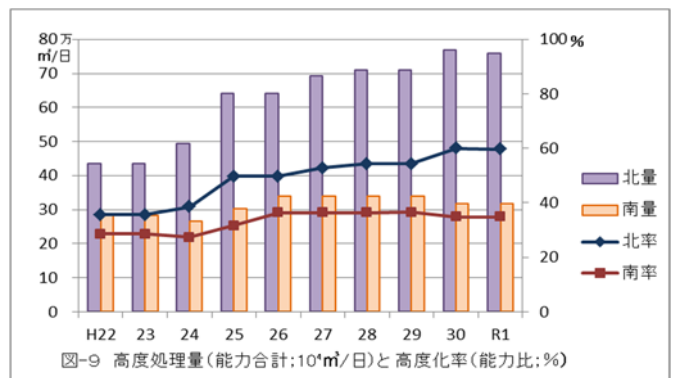


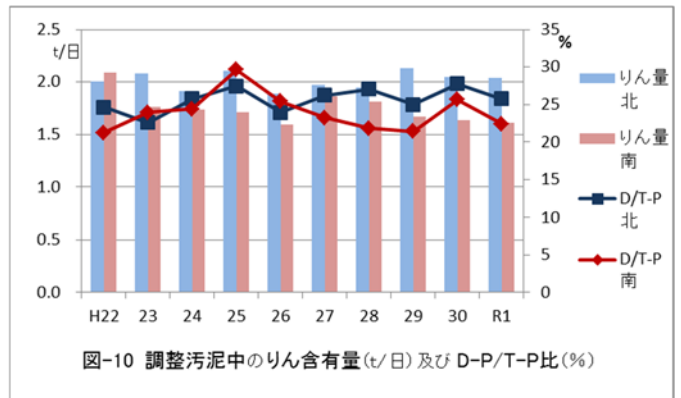
図-9 高度処理量(能力合計:10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/日)と高度化率(能力比:%)



高度処理の増加が、各水再生センターで除去されたりんが調整汚泥に高濃度に移行することが推測された。

次に、各センターの調整汚泥のりん含有量の合計値とD-P/T-P比を比較した。(図-10)

H22～R1年度の調整汚泥中のりん含有量の平均値において、北セは1日当たり2.01tで南セの1.75tをやや上回ったものの、D-P/T-P比では大きな差は認められなかった。これにより、南セでは送泥受泥のプロセスにおいて、T-P及びD-P(特に後者)がさらに減少する状況にあることが推察された。



### 7 浄水汚泥の調整汚泥・濃縮供給汚泥に与える影響

南セではH14年より、小雀浄水場の浄水汚泥を受泥量全体の10分の1弱程度(H22～R1年度平均で1日662m<sup>3</sup>)西部水再生センターを經由して受入れている。浄水汚泥には、凝集剤であるポリ塩化アルミニウム(PAC)が含まれておりT-Al濃度が年間平均で約1800mg/Lと高くなっているため、D-Pが減少する原因として考えられる。(図-11)

南セにおける浄水汚泥の影響を把握するため、以下のテーブルテストを行った。(図-12)

まず西部と小雀浄水場からの送泥比率に応じて、西部の調整汚泥と浄水汚泥を9:8の割合で混合し、送泥にかかる時間(5.5時間)緩速撹拌したところ、溶解性のりん酸態りん濃度が75%以上減少した。次に南セの濃縮供給汚泥における他の汚泥との比率に応じて、西部及び小雀浄水汚泥の混合汚泥に対して金沢水再生センターの調整汚泥を1:4の割合で混合し、一定時間(18時間)緩速撹拌した。その結果、溶解性のりん濃度が対照と比べて18~25%減少した。これらの実験結果より、南セの供給汚泥には浄水汚泥が混合されているため、処理しにくいD-Pが減少している可能性が示唆された。

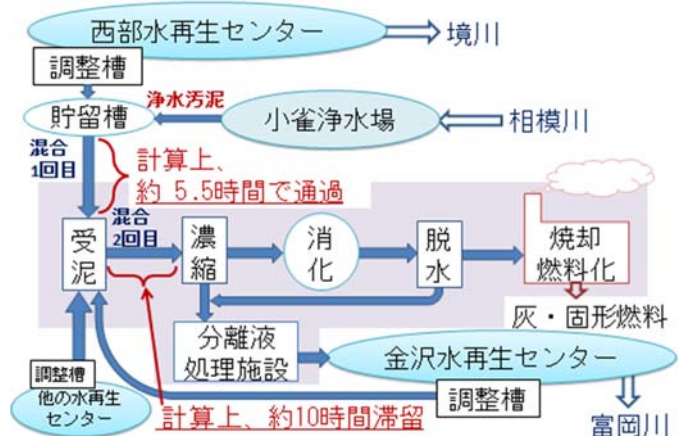


図-11 西部水再生センター及び小雀浄水場と南部汚泥資源化センターの関係

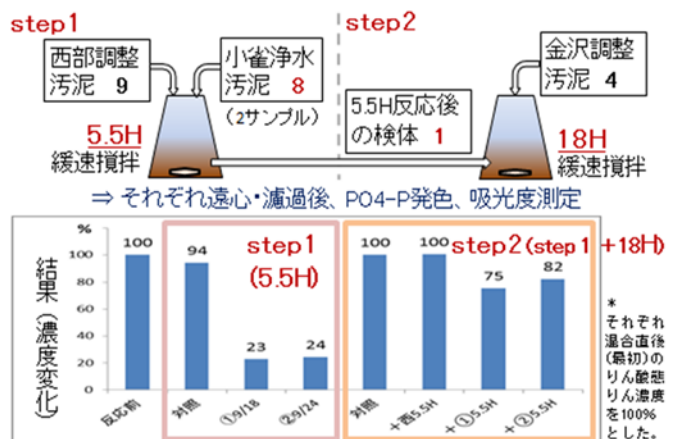


図-12 西部調整汚泥と小雀浄水汚泥の送泥中の反応、及び受泥後の他の汚泥への影響推定実験

### 8 まとめ

H22～R1年度における北セと南セのりんの収支、経年変化、処理状況の違いとその原因について調査した。北セは南セと比べて濃縮供給汚泥中のりん含有量が多く、かつ溶解性りんの比率が高いため、分離液のりん濃度が高く、処理施設に対しての負荷が増大し、公共用水域へのりん放出量が多くなっていると考えられる。西部から南セへの送泥状況を再現したテーブルテストにより、南セでは供給汚泥に浄水汚泥が混合されて、溶解性りんが減少している一因となっていることが推察された。

【共同研究者】下水道水質課 岩脇 涼香

【協力者】南部下水道センター 綿貫 敏寛