

省面積型下水処理新技術に関する調査研究

1. はじめに

名古屋市には施設更新の時期を迎えている下水処理場がいくつかあるが、いずれも都心部にあって敷地面積が狭く、新たな処理場用地を確保することは困難な状況にある。このため、施設更新時には施設の省面積化による用地の有効利用が不可欠となっている。

そこで、名古屋市と（財）下水道新技術推進機構は、平成4年度～5年度まで、バイオフォーカスWT等で提案された新下水処理技術の中から、省面積性に特に有効と考えられる「ろ過式固液分離装置」と「好気性ろ床」の組合せプロセスの実施設化への適用性について、BOD等の有機汚濁物質除去を中心に共同研究を行ってきた。

一方、閉鎖性水域である伊勢湾の富栄養化防止や都市域における新たな水環境の創造など、名古屋市においても下水処理の高度化が求められている。

そこで、平成6年度から7年度にかけて、本処理プロセスにおける運転管理調査に加え、高度処理への適用性検討のための調査研究を行った。

2. 調査の内容

2.1 実験施設の概要及び運転条件

本調査は、基本プロセスにおける運転管理に関する調査とリン除去に関する高度処理適用性調査については大型実験装置で、窒素除去に関する高度処理

適用性調査については担体充填脱窒槽を加えた小型実験装置で行った。図-1に処理フローを、表-1に運転条件を示す。

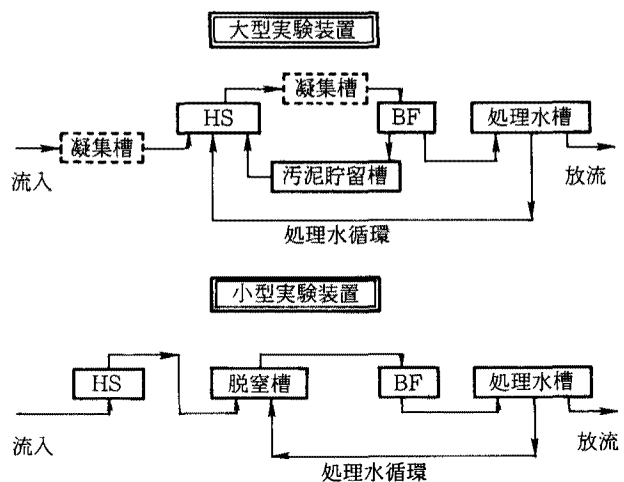


図-1 実験装置の処理フロー

表-1 各調査の運転条件

調査内容	RUN	装置	処理水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	HSろ速 ($\text{m}/\text{日}$)	BFろ速 ($\text{m}/\text{日}$)
	期間				
運転管理方法	18	大型	330	168~228	35~47
	H7.8~9				
窒素除去の適用性	19	小型	15~24	144	61~74
	H7.11~2				
リン除去の適用性	20	大型	220	136	29
	H7.1~2				

備考：HSはろ過式固液分離装置，BFは好気性ろ床を示す。
RUN19の脱窒槽ろ速はBFと同じである。

2.2 基本プロセスにおける運転管理に関する調査

2.2.1 硫化水素対策調査

平成5年度までの調査によって、固液分離装置や好気性ろ床上部における硫化水素濃度が作業環境として危険なレベル(10ppm)を超える場合があり、硫化水素対策が必要であることが明らかになっていった。平成6年度の冬季調査では、好気性ろ床処理水をろ過式固液分離装置へ20%循環することで硫化水素発生を抑制することが可能であることがわかった。平成7年度は更に次の項目について検討を行った。

(1) 硫化水素発生状況と酸化還元電位ORPとの関係

(2) 夏季における処理水循環による抑制効果

(3) 前曝気施設の抑制効果

2.2.2 好気性ろ床の付着生物量調査

平成6年度は秋季から冬季にかけての付着生物量の調査を行った。平成7年度は春季から秋季にかけて調査を行なうことで年間を通した付着生物量の状況を把握した。

2.2.3 好気性ろ床のろ過抵抗状況調査

平成6年度冬季に行った処理水循環及び好気性ろ床汚泥返送調査において原水処理水量を好気性ろ床のろ過速度30m/日(一定流量)で処理したところ、好気性ろ床のろ過抵抗値は上限値を超えることなく処理が可能であった。そこで、平成7年度は原水処理水量をろ過速度30m/日で流量変動運転した場合のろ過抵抗状況を調べ、最適ろ過速度について検討を行った。

2.3 高度処理への適用性検討調査

2.3.1 窒素除去

スポンジ担体を1m厚で充填した上向流浮遊床式脱窒槽を基本プロセスに加えた小型実験装置で秋季から冬季にかけて窒素除去実験を行い、次の項目について検討を行った。

(1) 窒素除去特性

(2) 好気性ろ床における硝化状況

(3) 脱窒槽における脱窒状況

2.3.2 リン除去

凝集剤(ポリ鉄)注入装置を基本プロセスに加えた大型実験装置で冬季にリン除去実験を行い、次の項目について検討を行った。

(1) リン除去特性

(2) 凝集剤注入による汚泥発生量

(3) 凝集剤注入時の生物活性

3. 調査結果

3.1 基本プロセスにおける運転管理に関する調査

3.1.1 硫化水素対策

(1) 硫化水素発生状況と酸化還元電位ORPとの関係

硫化水素は嫌気的環境において硫酸還元菌の作用で生成される。ろ過式固液分離装置上部と好気性ろ床上部における硫化水素濃度とろ過式固液分離処理水のORPとの関係を示した図-2によると、ORPが-200mv以下になると急激に硫化水素濃度が上昇しており、作業環境として安全な10ppm以下を安定的に維持するためにはORPを-100mv程度以上にすることが必要であることがわかった。

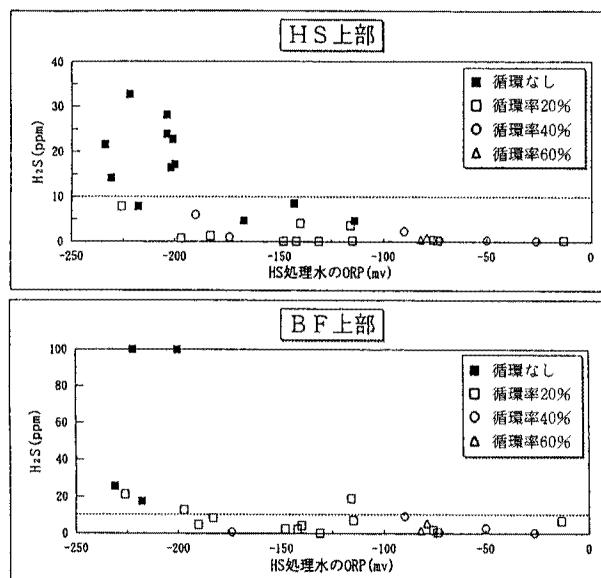


図-2 ORPと硫化水素発生状況

(2) 夏季における処理水循環の効果

冬季においては処理水をろ過式固液分離装置へ20%循環することで、ろ過式固液分離装置、好気性ろ床ともに硫化水素濃度を安定して10ppm以下まで低下させることができた。そこで、硫化水素発生量が多い夏季における処理水循環の硫化水素抑制効果を調べたところ、処理水を40%循環することで10ppm以下を確保することができており、発生量の多い逆洗浄中においても図-3に示すように著しく発生量を抑制することができた。

(3) 前曝気施設の効果

岩塚下水処理場(名古屋市)の実施設を用い

て前曝気施設の硫化水素発生抑制効果についての調査を夏季から冬季にかけて行った。調査時は滞留時間を約30分間で統一し、空気倍率を0.5～2倍まで変動させて運転した。

空気倍率1倍程度の前曝気によって、流入下水中に含まれている硫化水素は概ね放出されることがわかり、前曝気の空気倍率とORP上昇量との関係式、「ORP上昇量 (mv) = 70.86 × 空気倍率」が推定された。前曝気施設を本プロセスの硫化水素対策として組み込む場合、ろ過式固液分離装置で硫化水素が生成される嫌気性レベルにもどらないようにする必要がある。流入原水ORPの年間最低レベルは-200mv程度であり、前曝気施設を空気倍率2倍で運転するとORPが約140mv上昇すると推定されるため、ろ過式固液分離装置に流入するORPは-60mv程度になると考えられる。次に、ろ過式固液分離装置ではORPが約60mv程度低下するため、ろ過式固液分離処理水のORPは-120mv程度となり硫化水素の発生は概ね抑制されると推定された。

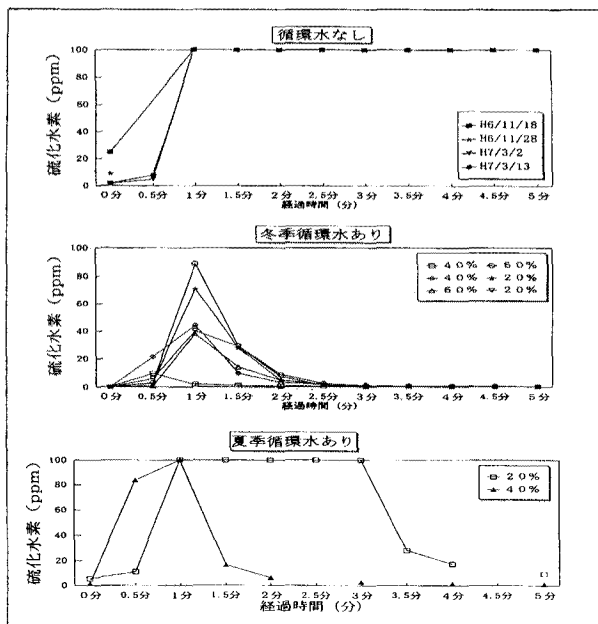


図-3 処理水循環による硫化水素制御効果 (逆洗時)

3.1.2 好気性ろ床の付着生物量

好気性ろ床の付着生物量を多孔質であるろ材表面に付着している部分とろ材内部の微細孔に付着している部分に分けて調査し、その結果を水温やBOD容積負荷とともに図-4に示した。水温が約15～25℃、BOD容積負荷が約1～2 kg/m³・日で運転した場合、概ね12,000～20,000 mg-VSS/l-ろ材程度の付着生物を年間通して維持できていた。

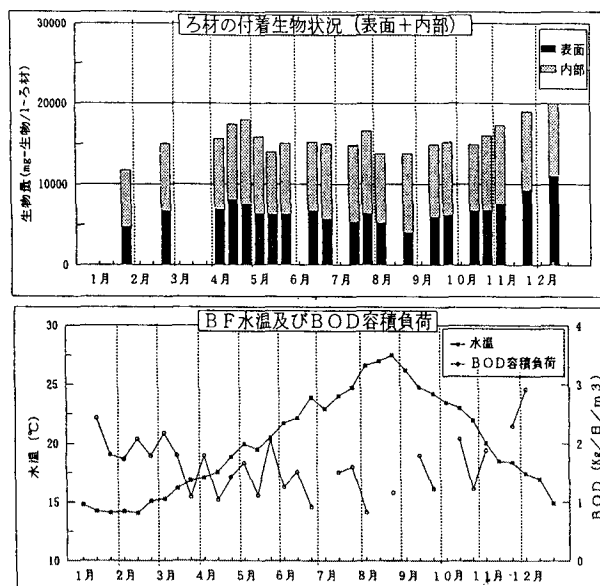


図-4 BF洗浄後の生物濃度 (ろ床上層)

3.1.3 好気性ろ床のろ過抵抗状況

平成7年度における好気性ろ床のろ過抵抗状況を図-5に示した。30m/日のろ過速度で運転した10月初旬から12月中旬にかけてろ過抵抗値が上限値を超え、流入水がオーバーフローする現象が見られた。1月以降20m/日で運転した場合に凝集剤を注入してもオーバーフローしなかった。これらのことから、1日1回の逆洗浄で好気性ろ床のろ過速度を30m/日で安定的に水処理を行なうことは困難であり、ろ過速度20m/日程度が本プロセスにおいて安定的に処理できる水量であると考えられた。

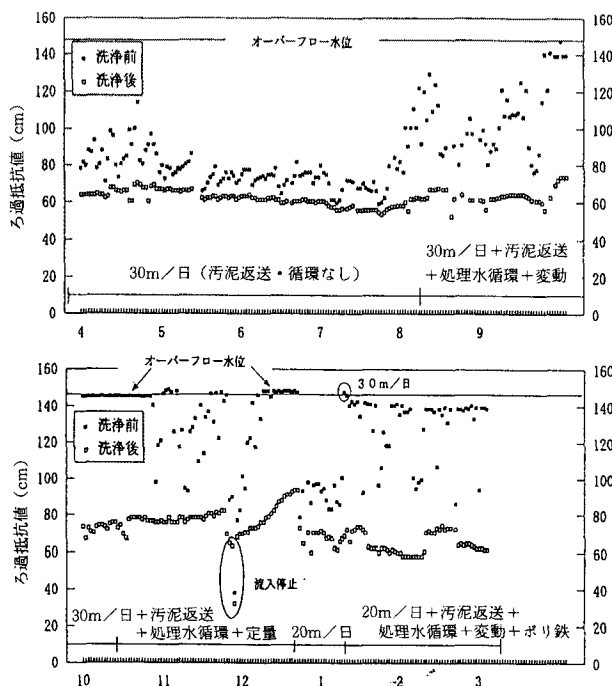


図-5 好気性ろ床のろ過抵抗状況 (平成7年度)

3.2 高度処理への適用性検討

3.2.1 窒素除去

(1) 脱窒プロセスの概要

スポンジキューブ担体 (12~15mm□) を1m厚で充填し、上向流浮遊床式で処理する脱窒槽 (0.785m³) を小型好気性ろ床の前段に組み込み、目標水質T-N=10mg/ℓ以下の窒素除去実験を行った。脱窒槽の洗浄は2~3日に1回の頻度で行い、1回の洗浄水量は約1m³ (処理水量の約2~3%) である。脱窒槽担体付着生物量は秋季調査時には約7,000mg-VTS/ℓ-ろ材であり、冬季調査時には10,000mg-VTS/ℓ-ろ材であった。

(2) 窒素除去特性

秋季と冬季に行った調査結果を表-2に示す。好気性ろ床処理水のT-Nは秋季 (BF実ろ速30m/日×150%循環) には11~13mg/ℓ, 冬季 (BF実ろ速20m/日×200%循環) には11~12mg/ℓと目標値を満たしていなかった。この原因として、好気性ろ床での硝化が十分に進まず、処理水中にNH₄-Nが3~7mg/ℓ残存していたことと脱窒槽での脱窒が完全でなかったことがあげられる。

表-2 窒素除去実験結果

測定日	11/23	11/24	11/30	12/01	2/14	2/15	2/21	2/22
循環率	150%				200%			
実ろ速 (脱窒・BF)	75m/日				60m/日			
流入水温 (°C)	18.8	18.8	17.8	17.6	15.3	15.7	14.3	14.5
T-N (mg/ℓ)	流入原水	27	25	26	30	28	30	27
	HS流入水	24	24	26	23	27	25	25
	脱窒流入水	16.4	16.9	18.6	17.1	16.1	15.3	16.0
	脱窒処理水	15	16	17	16	13	12	15
NH ₄ -N (mg/ℓ)	BF処理水	11.0	11.9	13.4	13.0	10.7	10.5	11.0
	流入原水	25	23	23	23	24	24	21
	HS流入水	22	22	24	21	23	22	18
	脱窒流入水	11.5	11.8	13.5	12.7	10.5	10.0	7.9
NO ₃ -N (mg/ℓ)	脱窒処理水	12	13	15	14	12	11	9.3
	BF処理水	4.2	4.7	6.2	6.9	4.2	4.0	2.9
	流入原水	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	HS流入水	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
NO ₃ -N (mg/ℓ)	脱窒流入水	3.6	3.8	< 0.1	3.1	4.1	3.7	5.1
	脱窒処理水	0.5	1.1	< 0.1	0.4	< 0.1	0.2	1.7
	BF処理水	6.1	6.4	6.3	5.3	6.1	5.6	7.7

(3) 好気性ろ床における硝化状況

好気性ろ床への流入Kj-N容積負荷量と処理水中のKj-N流出容積負荷量との関係を大型装置での過年度の調査結果とともに図-6に示した。この図より秋季調査では明らかに流入負荷量が過大であり、好気性ろ床のKj-N除去能力を超えていた。一方、ろ過速度20m/日に処理水量を減らした冬季調査における流入負荷量は好気性ろ床のKj-N除去能力約0.35kg/m³・日と同程度であったにもかかわらず、過年度の調査結果よりKj-N除去が悪化していた。

これは槽内水温が15°Cを下回っていたため、硝化活性が低下したことが原因として推定された。

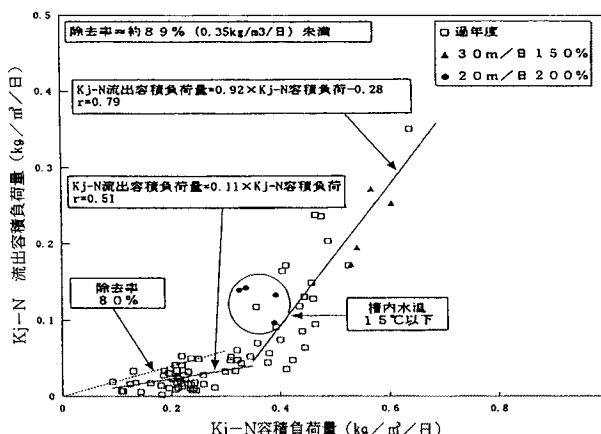


図-6 好気性ろ床における硝化状況

(4) 脱窒槽における脱窒状況

脱窒槽へ循環されるNO₃-N量の脱窒量との関係を図-7に示した。合計8回の調査で、脱窒率が90%を超えたのは3回あり、3回は約60~70%の脱窒率であった。一方、脱窒量は0.18~0.26kg/m³・日の範囲にあり、平均値は約0.2kg/m³・日となった。表-3に示すように、脱窒に必要なBODは十分存在していたと考えられるが、①脱窒槽内の実滞留時間は19~24分間と比較的短時間であること、②実験装置が小型であるため水温が低下したこと。等が脱窒が十分に進まなかった原因と考えられる。特に冬季調査の内、脱窒率が約60%前後と低かった時期では槽内水温が約11°C (昼間) であり低い温度での処理となっていた。

表-3 脱窒槽の脱窒能力

採水日	水温 (°C)		循環率 (%)	実ろ速 (m/日)	実滞留時間 (分)	BOD容積負荷 (kg/m³/日)		NO ₃ -N供給量 (kg/m³/日)		脱窒量 (kg/m³/日)	脱窒率 (%)
	流入水	脱窒槽				BOD	D-BOD	NO ₃ -N	NO ₃ -N		
95/11/23	18.8	17.7	143	74	19	4.017	3.365	0.282	0.225	85.9	
95/11/24	18.8	17.9	143	74	19	3.695	2.621	0.275	0.193	70.4	
95/11/30	17.8	16.1	143	74	18	3.417	2.804	0.270	0.263	97.3	
95/12/01	17.6	15.9	143	74	18	4.660	2.822	0.227	0.196	87.0	
96/02/14	15.3	13.7	200	60	24	2.920	1.878	0.244	0.244	100.0	
96/02/15	15.7	15.2	200	60	24	3.124	2.271	0.224	0.212	94.6	
96/02/21	14.3	11.4	200	60	24	2.455	1.947	0.308	0.206	66.9	
96/02/22	14.5	10.6	200	60	24	2.696	2.151	0.304	0.178	58.6	
平均値						3.373	2.457	0.284	0.215	82.6	

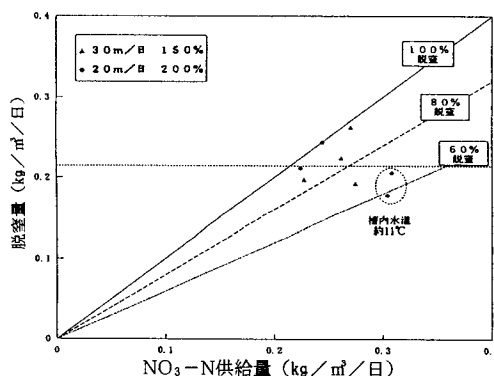


図-7 脱窒槽の脱窒能力

(5) 目標水質達成に向けての課題

窒素に関する目標水質T-N=10mg/l以下を安定的に確保するためには次の点を考慮する必要がある。

- ① 装置を大型化し水温低下をできるだけ抑制する。
- ② 脱窒槽の脱窒性能を向上させるために担体充填厚を1mより増やす。
- ③ 好気性ろ床のKj-N除去能力に合ったKj-N負荷量(ろ過速度=20m/日程度)を設定する。

3.2.2 リン除去

(1) 凝集プロセスの概要

実験に用いた凝集剤はポリ鉄であり、表-4にその性状を示す。凝集剤添加によるリン除去の目標水質は、第一段階でT-P=1.0mg/l以下、第二段階がT-P=0.5mg/l以下とした。凝集剤の混和は、固液分離装置の前段に添加する場合はプロペラ+水流攪拌で約4分間混和し、好気性ろ床の前段に添加する場合は空気曝気攪拌で約12分間混和した。実験時の凝集剤の添加率はPO₄-Pとのモル比で1~3程度である。

表-4 ポリ鉄の性状

外観	赤褐色の液体
比重(20℃)	1.45以上
鉄(Fe ³⁺)	11.0%以上
凍結性(℃)	-12℃±1℃

(2) リン除去特性

凝集剤の添加率(PO₄-Pとのモル比)と好気性ろ床処理水のリン濃度との関係を図-8に示した。これから以下のことが考察される。

- ① 凝集剤添加位置の違いによって、リン除去性能の相違は見られなかった。しかし、好気性ろ床の前段に添加する場合、凝集剤による汚泥を全て好気性ろ床に負担させることになり、ろ過抵抗値の上昇が懸念されることから凝集剤は固液分離装置の前段に添加することが望ましい。
- ② 第1目標であるT-P=1mg/l以下はモル比1程度の添加率で達成できる。全プロセスの総合除去率はT-Pで約70%、PO₄-Pで約50%であった。
- ③ 第2目標であるT-P=0.5mg/l以下はモル比3程度の添加率で達成できる。全プロセスの総合除去率はT-Pで約90%、PO₄-Pで約90%であった。

- ④ 好気性ろ床の後段に仕上げ処理として砂ろ過処理を追加する場合、処理水PO₄-P濃度から、T-P=0.5mg/l以下を達成するためには凝集剤をモル比2程度で添加すれば良い。

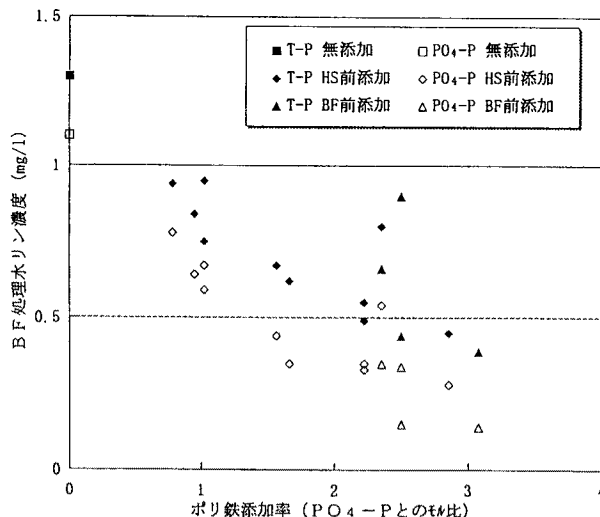


図-8 ポリ鉄注入による処理水リン濃度の状況

(3) 凝集剤添加による汚泥発生量

凝集剤を添加した場合、好気性ろ床における汚泥発生量を過年度の凝集剤無添加調査結果とともに図-9に示した。その結果、汚泥発生量には大きな違いは認められなかった。しかし、一般に鉄系凝集剤の場合、鉄添加量の3.5倍の汚泥発生量を見込む。そこでモル比3での凝集剤添加時について試算すると、鉄添加濃度が8mg/l、処理水量が220m³/日、好気性ろ床容積が22m³/日であることから、約0.3kg/m³・日の汚泥発生量が見込まれる。この汚泥が全て好気性ろ床で補足されるとすると凝集剤無添加時と比べて約30%程度の増加となるため、凝集剤は好気性ろ床の前段には添加しない方が良いと考えられた。

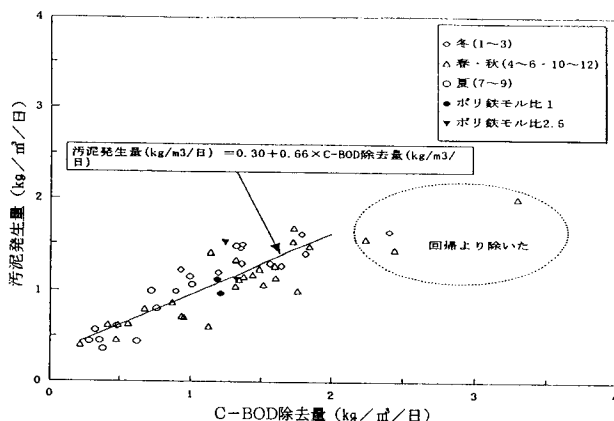


図-9 凝集剤注入時BF汚泥発生量

(3) 凝集剤添加時の生物活性状況

凝集剤添加における好気性ろ床での硝化量は概ね $0.2\sim 0.3\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 程度であり、冬季における凝集剤無添加時の場合とほぼ同程度であった。脱水素酵素活性についても $1.5\sim 3.2\text{mg}/\text{g-VSS}$ と凝集剤添加前の $3.7\text{mg}/\text{g-VSS}$ と比べて概ね同程度であった。そのため、モル比1～3程度のポリ鉄添加率では生物活性を低下させることはないものと考えられる。

4. まとめ

運転管理に関する調査と高度処理への適用性について調査を行った結果、次の知見が得られた。

(1) 基本プロセスにおける運転管理に関する知見

- 好気性ろ床処理水を夏季には40%、冬季には20%、ろ過式固液分離装置へ循環することで、硫化水素の発生を抑制することができる。
- 好気性ろ床の付着生物膜量は年間通して約 $12,000\sim 20,000\text{mg-VTS}/\ell$ -ろ材であった。

- 好気性ろ床のろ過速度は $20\text{m}/\text{日}$ 程度が安定的なろ過速度である。

(2) 高度処理への適用性に関する知見

- 窒素除去に関しては、目標水質 $T-N=10\text{mg}/\ell$ 以下を安定的に確保するために、

- ① 水温低下をできるだけ抑制すること。
- ② 水温低下等の影響が顕著であった脱窒槽の脱窒性能を向上させるために担体充填厚を増やす。
- ③ 好気性ろ床の $Kj-N$ 除去能力に合った $Kj-N$ 負荷量（ろ過速度= $20\text{m}/\text{日}$ 程度）を設定する。

などが必要である。

- リン除去に関しては、凝集剤添加位置はろ過式固液分離装置の前段に凝集剤添加設備を設置することが望ましく、

- ① 目標水質 $T-P=1.0\text{mg}/\ell$ 以下は $P0-P$ とのモル比1程度の凝集剤添加率で達成できる。
- ② $T-P=0.5\text{mg}/\ell$ 以下はモル比3程度の添加率で達成できる。

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長

佐藤 和明

研究第二部主任研究員

中田 穂積

研究第二部研究員

久保田 勝一