

汚泥処理返流水の処理法の検討

下水道河川研究室 ○高須 豊
三縄 教明

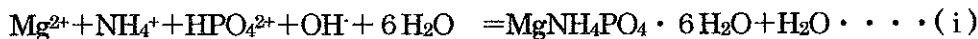
1. はじめに

本市では、市内11箇所の下水処理場で発生する下水処理汚泥（以下、汚泥）を南北2箇所の汚泥処理センターで集約処理を行っている。汚泥は濃縮・嫌気性消化・脱水・焼却処理を行っているが、その処理工程で発生する、汚泥処理返流水（以下、返流水）は特に窒素・リン（以下N・P）負荷が高く、返流水を受け入れる処理場の処理に影響を及ぼしていた。現在は南北汚泥処理センターに隣接する処理場で、暫定の返流水処理施設（南部：循環脱窒法・北部：A2O法）が稼働しているが、その処理水はN・P等の負荷が高く、公共用水域へ直接放流できないため、隣接処理場の標準法で再処理している。今後、高度処理の普及に伴い、汚泥のP含有率が上昇し、返流水のP濃度も上昇するため、返流水処理（特にP除去）の重要性が高まると考えられる。研究室では、高度処理が普及した場合を想定して、平成11年度から実験プラントにて返流水処理法の検討を行った。

2. 調査目的

返流水の処理方法として最適なプロセスの検討を目的として、実験プラントを用いた調査研究を平成11年度より進めてきた。処理対象である返流水は通常の下水に比べ、次のような特徴がある。①汚濁負荷が高い（特にN・P負荷は通常下水比の10倍以上）。②BOD:N:P比が大きく異なる（生物処理における最適比は一般に100:5:1とされるが、北部センター返流水では100:38:11(平成13年実績値)）。③嫌気性消化汚泥分離液を含むため、難分解性CODが多い。

以上の特徴を踏まえ、N・Pの処理に主眼を置いて、MAP法と生物処理（AOAO法、A2O法及び修正Bardenpho法）の直列運転による返流水処理への適用性を検討した（処理フローは図-1参照）。MAP法は以下の反応式(i)のごとくリン酸イオン（ PO_4^{3-} ）をMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物）として取り除く処理法である。



回収されたMAPは肥料原料として利用できるため、福岡市や島根県などいくつかの自治体で実施が稼働している。

生物処理でのP除去量は余剰汚泥量と汚泥P含有率で決まるため、著しく高い除去率は期待できない。そのため、生物反応槽流入水のP濃度は生物反応槽で処理可能な濃度までに抑える必要があり、MAP法による返流水の前処理（P除去）を行うこととした。MAP法の適用についての詳細は、『汚泥処理返流水へのMAP法の適用（その3）』を参考にされたい。

生物処理は、平成11～13年度の間、AOAO法、A2O法及び修正Bardenpho法について比較した結果、修正Bardenpho法が最も優れた処理能力があると判断した。そのため、今年度はMAP法と修正Bardenpho法の直列運転により、全項目の処理目標レベル3（項目によっては2）の達成の確認を目指した。

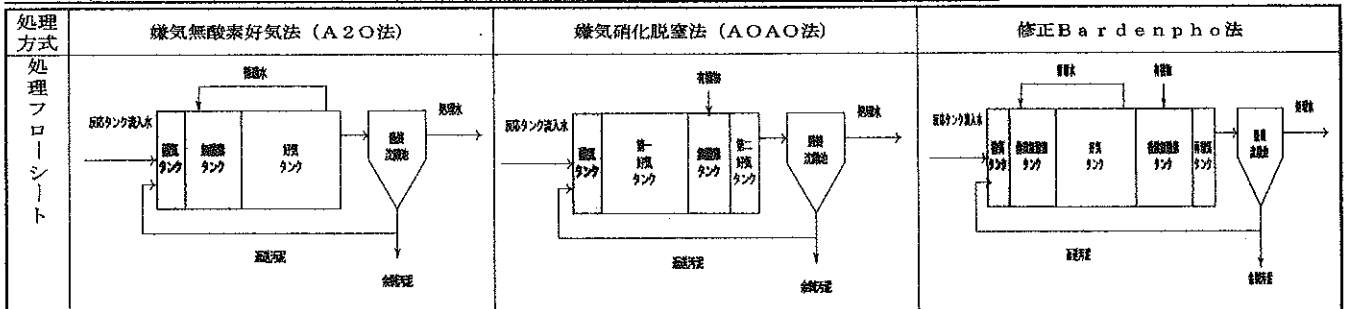


表-1 処理目標レベル

目標レベル	1	2	3	4
T-N	8	20	30	40
T-P	0.4	2	5	7
COD	8	20	25	30
BOD	5	10	15	20
SS	5	10	15	20

（単位：mg/l）

図-1. 処理フロー

レベル1：公共用水域へ直接放流する

レベル2：返流水処理後、隣接下水処理水と混合し放流する
（混合効果を見込まない）

レベル3：返流水処理水を隣接処理場へ移送する

レベル4：返流水処理後、隣接下水処理水と混合し放流する
（混合効果を見込む）

備考：BODとSSは他水質とのバランスを考慮した。

3. 調査結果

代表的な運転期間（H14年8月下旬）の運転条件を表-2に、処理実績を表-3に示す。

MAP法：最初沈殿池でSSをある程度除いた返流水を原水として、水酸化マグネシウム(Mg(OH)₂)と苛性ソーダ(NaOH)を添加してMAPを生成させる。(図-2参照) MAPの生成はアルカリ性条件下で起こるため、NaOHを加えてpHを8.6に調整した。

MgはPO₄³⁻と等モル反応するため(式(i)参照)添加モル比1を目標に運転した結果、安定したP除去率(T-P:66%、PO₄-P:88%)を得た。T-P除去率が低いのはSS由来のPが影響するためである。NH₄-Nの一部もMAPとして除去されるため、低下するが、計算量よりMAP装置でのNH₄-N除去量が多いのは、高pHによるアンモニアストリッピング(NH₄⁺がNH₃として大気中に揮散する現象)が起こっているものと考えられる。また、MAP法は低SSの原水(概ね200mg/l以下)にしか適用された実績がなかったことから、高SSの原水(概ね500~600mg/l)ではMAP生成が阻害されるのではと危惧された。しかし、実験の結果、使用した原水のSSではMAPの生成に大きな影響は及ぼさないことが判明した。

修正Bardenpho法：槽配分は表-2のとおり。反応槽水温が30℃近くと高いが、夏季における運転のみならず、消化汚泥脱水分離液の影響を受けて返流水自体の温度が高いことがあげられる。

返流水の汚濁負荷が高いため、MLSS濃度2700mg/l、HRT55時間と通常下水の高度処理に対して、大きな値となっている。N・Pを中心とした処理実績であるが、流入水(T-N:304mg/L T-P:125mg/L)に対してN除去については、十分なA-SRTが確保されているため、NH₄-Nは好気槽で完全硝化されている。硝化速度は2.5~3.6mgN/gSS・hである。脱窒速度は第1無酸素槽で5.4~8.2mgN/gSS・h、第2無酸素槽ではメタノール添加100mg/lで1.6mgN/gSS・h程度となっている。なおメタノール添加量と脱窒速度の関係であるが、メタノール無添加では脱窒速度が大幅に低下するが、過剰に添加しても100mg/lと余り変わらないという結果を得ている。全体での除去率はT-Nで94%程度であり、BOD、SSと共に目標レベル2を達成できた。Pについては、MAP法と修正Bardenpho法の直列運転で除去率95%程度であったが、目標レベル3を達成することはできなかった。余剰汚泥のP含有率は標準法に比べ高く、3~4%程度と安定していた。

処理法による余剰汚泥のP含有率の差であるが、AOAO法、A2O法と及び修正Bardenpho法の間には大きな差は見られなかった。生物処理でのP除去量は余剰汚泥量と汚泥P含有率で決まる。余剰汚泥量はMLSSの維持とSRT確保のため制限され、汚泥のりん含有率は自ずと上限がある(平均3~4%)。そのため、生物処理では流入水中のP濃度が高い場合、高い除去率は期待できない。そ

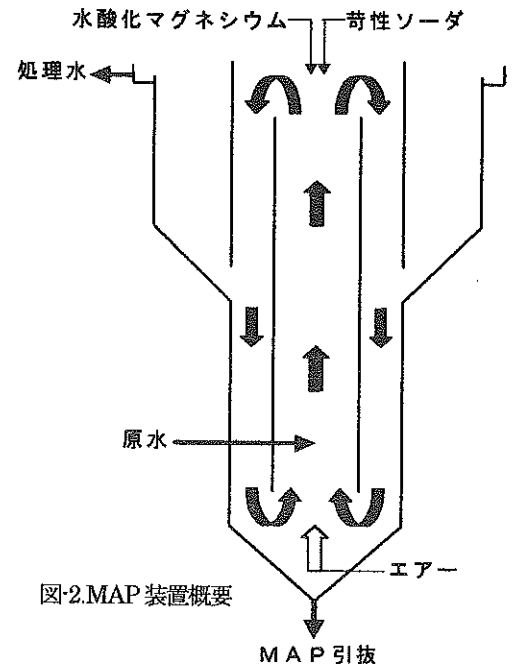


図-2. MAP装置概要

表-2. 運転条件

MAP法		
HRT(分)		25
pH		8.6
Mg添加モル比(対P)		1.3
修正Bardenpho法		
槽配分(全24槽)	嫌気	2
	第一無酸素	3
	好気槽	12
	第二無酸素	6
	再ばつ気槽	1
反応槽水温(No.24)	°C	29.4
HRT	時間	55
返送率	%	50
循環率	%	300
MLSS	mg/l	2700
好気槽DO(No.17)	mg/l	1.6
嫌気槽ORP	mV	-550
第二無酸素槽メタノール添加量	mg/l	100

表-3. 処理実績 (MAP法+修正Bardenpho法)

水質項目	流入水(MAP入)	MAP法処理水		修正Bardenpho法処理水		処理目標の評価
	濃度	濃度	除去率	濃度	除去率	
T-N	304	275	9.5	17	94	レベル2達成
NH ₄ -N	240	180	25	0.8	99	—
T-P	125	43	66	5.7	95	レベル4達成
PO ₄ -P	101	12	88	5	95	—
COD	—	—	—	36	92	達成できず
ATU-BOD	—	—	—	5.3	99	レベル2達成
SS	520	540	0	5.6	99	レベル2達成

単位: 濃度(mg/L)、除去率(%)

のため、生物反応槽流入水のP濃度はある程度の濃度までに抑える必要があると思われる。

生物処理でのP除去の限界に対し、処理水への凝集剤(PAC)添加実験を行い、PAC添加率とP除去の相関を求めた。処理水のT-Pが7mg/lの場合、PAC添加比1(AlとPのモル比が1)で約1mg/lまで低下した。凝集剤添加法を組み合わせることにより、Pの目標レベル2の達成は可能である。CODに関しては、当初から予想されていたとおり、良好な結果は得られなかった。濃縮汚泥を嫌気性消化した際、残留する難分解性CODが多く、生物処理ではこれ以上のCOD除去は望めないものと思われる。

4. まとめ

平成11年度から返流水の処理法の検討として、生物処理(循環脱窒法、AOAO法、A2O法及び修正Bardenpho法)とMAP法の返流水処理への適用を図ってきた。各生物処理法の目標レベル達成可能性評価を表4にまとめた。結論として、MAP法と修正Bardenpho法の組み合わせが最も良好な結果を得た。

今年度のMAP法と修正Bardenpho法の直列運転の結果、T-N・BOD・SSはレベル2を達成できることが確認された、しかし、T-Pはレベル4の安定的な達成は従来の手法では困難であることが明らかとなった。処理水にPACなどの凝集剤を添加することにより、レベル2の達成は十分可能である。ただし、凝集剤添加法によるP除去はMAP法に比してランニングコストが相当高い難点がある。Pの資源化という点でもMAP法はPを返流水から有価物として直接回収できるのに比べ、凝集剤添加法では汚泥に移行したPを回収する工程が必要となる。CODに関しては、生物処理によるレベル4の達成は困難と思われる。汚泥嫌気性消化を行っているため、返流水中に難分解性CODが多く残留し、促進酸化法等で難分解性CODを分解しない限り、生物処理ではこれ以上の処理は困難である。

今後、返流水処理はMAP法や凝集剤添加法などと修正Bardenpho法をはじめとする生物処理の複合処理を行うことになるとと思われる。そのような処理施設の建設にあたっては、目標処理水質を達成しつつ、建設費や維持管理費等を包括したライフサイクルコストの縮減を目指したものにしなければならない。また、循環型社会の実現のため、再生可能な資源の回収技術の確立は非常に有益であると考えられる。特にP資源の枯渇が予測されることからPの回収技術の確立は、不可欠である。

表4. 各処理法と達成レベル一覧

		目標レベル(下段:目標値(mg/L))				レベル設定
		レベル1 N=8,P=0.4	レベル2 N=20,P=2	レベル3 N=30,P=5	レベル4 N=40,P=7	
循環法	N	x	x	△非常に高い循環率	△高い循環率	レベル1 T-N:8, T-P:0.4(公共用水域への直接放流)
	P	x	x	x	x	レベル2 T-N:20, T-P:2.0(既設処理場の将来規制値)
A2O法	N	x	x	◎非常に高い循環率	◎高い循環率	レベル3 T-N:30, T-P:5.0(処理場流入水レベル)
	P	x	△+MAP+凝沈	○+MAP+凝沈	○+MAP	レベル4 T-N:40, T-P:7.0(既設処理場処理水との混合)
AOAO法	N	x	△完全硝化高メノール添加	◎高メノール添加	◎メノール添加	◎:プラント実験で達成実証
	P	x	△+MAP+凝沈	○+MAP+凝沈	○+MAP	○:条件付で達成の可能性高い
修正Bardenpho法	N	x	◎完全硝化メノール添加	◎メノール添加	◎	△:条件付で達成の可能性有り
	P	x	○+MAP+凝沈	○+MAP+凝沈	◎+MAP	x:達成不可能