

汚泥処理返流水へのMAP法の適用 (その3)

下水道河川研究室 ○井上 貴子 (三縄 教明)
高須 豊

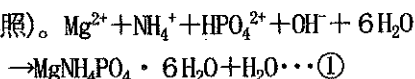
1. はじめに

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。しかし、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. 概要

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。これについての詳細は、『汚泥処理返流水の処理法の検討』を参考にされたい。ここではMAP法の返流水処理への適用性について述べる。

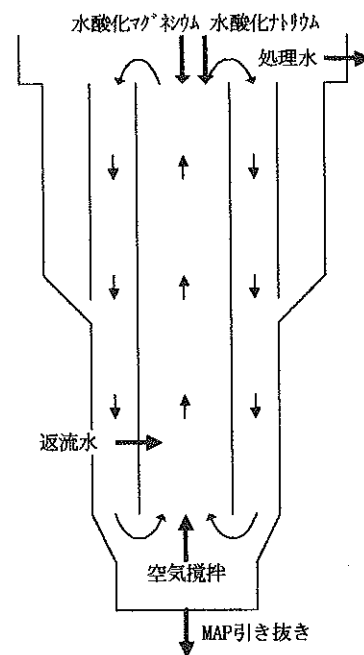
MAP法はリン酸イオン(PO_4^{3-})をMAP(リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物)として取り除く処理法である(生成反応は式①、MAP装置概要は図-1参照)。



回収されたMAPは肥料原料など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。MAP法は消化汚泥脱水分離液への適用の実績があるのみで、機械濃縮分離液、脱水分離液を混合したSS濃度が高い返流水についての事例はまだ数少ない。

3. 目的

前述したように返流水は高濃度のPを含有しており、高度処理の普及に伴い、返流水のP濃度も更に上昇すると見込まれる(表-1参照)。そのため、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る。平成12~14年度にわたり、返流水へのMAP法の適用について調査検討を行った。今年度は、まとめとして、(1)MAP法と修正Bardenpho法の直列運転による処理目標レベルの達成確認、(2)MAP法の薬品費削減可能性検討、(3)MAP装置分離部の縮小化、以上3点について検討した。



反応・沈殿塔形状	2重円筒式
Mg源	Mg(OH)2, T-Pに対して1M添加
処理量	3m3/日
滞留時間	25分
攪拌方式	ブロー(25l/分)
反応塔設定pH	8.5
アルカリ剤	NaOH(5%)

図-1. MAP装置

表-1. 返流水P濃度の推移予想

項目	現在(高度処理化率10%)	高度処理化率100%
T-P	60	140
PO4-P	40	120

単位: 濃度(mg/L)

4. 結果

(1) MAP 法と修正 Bardenpho 法の直列運転による 処理目標レベルの達成確認

最初沈殿池で SS をある程度除いた原水（返流水）を MAP 装置（図-1. 参照）に水酸化マグネシウム ($Mg(OH)_2$) と苛性ソーダ ($NaOH$) と共に投入し、MAP を生成させる。MAP の生成はアルカリ性条件下で起こるため、pH 調整のため $NaOH$ を加え、pH は 8.6 に調整した。 Mg は PO_4^{3-} と等モル反応するため（式①参照）添加モル比 1 を目標に添加し、運転した。今年度も安定した P 除去率（T-P: 66%、 PO_4 -P: 88%）を得た。目標水質（除去率）（T-P: 70%、 PO_4 -P: 80%）を概ね達成できた。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。 NH_4 -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 NH_4 -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が起こっているものと考えられる。

なお、生成した MAP の組成であるが、成分分析の結果 T-Mg と T-N、T-P のモル組成比は、概ね $Mg : N : P = 1 : 1 : 1$ であり、 Mg 、T-N、T-P の成分%についても、概ね理論値（MAP: $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ）と一致していたことから、MAP であるといえる。また、重金属（Cd、Cr、As、Hg）については、いずれも定量下限値未満となっていた。MAP 装置で生成された MAP 粒子は、肥効成分（P、N、Mg）が豊富に含まれており、重金属等の有害物質は肥料取締法の基準以下であるため、肥料原料として有効利用することが可能である。

表-3 MAP 成分の平均（H12~H14 年度）

成分	濃度	mol数	成分%	理論値%
T-N	mg/L	55	3.92	5.5
NH_4 -N	mg/L	52	3.71	
T-P	mg/L	128	4.13	12.6
PO_4 -P	mg/L	122	3.94	
Mg	mg/L	95	3.91	9.9

(2) MAP 法の薬品費削減可能性検討

MAP 処理は、薬品添加による化学反応を用いた処理方式であるため、使用する薬品量が処理のランニングコストを大きく左右する。

したがって、薬品費削減の可能性を検討することは、運転条件などを設定していく上でも非常に重要な項目である。

表-4 薬品費の試算

総合分離液 PO_4 -P 濃度	$Mg(OH)_2$ 費用 (円/㎡)	NaOH 費用 (円/㎡)		合計薬品費 (円/㎡)			除去リン量あたりの薬品費 (円/g-P)		
		pH8.6	pH8.4	pH8.6	pH8.4	pH8.2	pH8.6	pH8.4	pH8.2
現状レベル PO_4 -P: 40mg/L	4.3	9.2	4.2	13	8.5	4.3	0.36	0.25	0.13
中間値 PO_4 -P: 80mg/L	8.6	8.6	4.1	17	13	8.6	0.23	0.19	0.13
高度処理 100% 導入 PO_4 -P: 120mg/L	13	8.1	4.0	21	17	13	0.19	0.17	0.13

備考: $Mg(OH)_2$ の単価は 20 円/kg、 $NaOH$ の単価は 10 円/kg とした。

総合分離液が現状レベル（流入 PO_4 -P: 40mg/L）の場合における薬品費の合計は pH8.6 条件で 13 円/㎡、pH8.4

条件で8.5円/m³、pH8.2条件で4.3円/m³となる。高度処理100%導入時(流入PO₄-P:120mg/L)の場合における、薬品費の合計はそれぞれpH8.6条件で21円/m³、pH8.4条件で17円/m³、pH8.2条件で13円/m³となる。しかし、除去リン量あたりの薬品費は、総合分離液が現状レベルではpH8.6条件で0.36円/g-P、pH8.4条件で0.25円/g-P、pH8.2条件で0.13円/g-Pとなる。高度処理100%導入時では、pH8.6条件で0.19円/g-P、pH8.4条件で0.17円/g-P、pH8.2条件で0.13円/g-Pとなり、高度処理100%導入時の方が効率的となる。

(3) MAP装置分離部の縮小化

図-1.の分離部をなくしたMAP装置を用いてMAP処理システムの検討をおこなった。MAP処理においては、PO₄-Pの除去が進んでおり、MAP生成は起こっていたと考えられるが、T-P除去率が39%程度と低く、また、引抜きMAPの粒度分布結果から推測して、生成したMAPが小さく、流出するMAPが多くなっていた。この流出MAPは後段のMAP回収装置においてもほとんど回収できなかった。このことから、分離部がMAP粒子の成長に寄与していると考えられる。後述するように、流出したMAPが生物反応槽に流入すると再溶出し、P除去率が低下する。また、分離部を撤去した場合でも、ポンプ等の補機類の設置場所が必要となるため、大幅な省スペース化は難しい。以上のことから、分離部のないMAP装置はP除去システムには不適であると判断される。

H13年度から14年度においては定常状態のMAP装置からのMAP粒子の流出はほとんどなかった。しかし、もし流出してしまうと生物反応槽内で溶出し、MAP粒子回収装置が必要となる。そこで、MAP装置で生成した粒径が比較的細かいMAP粒子を用いて、回分実験によりMAP粒子回収装置の性能を比較検討した(表-5.参照)。

その結果、沈殿池式、上向流式の水面積負荷250m³/m²/d及び液体サイクロンでは、MAP粒子の粒径75μm以上の場合にはいずれも80%以上の回収率を達成した。このことから、これらのMAP回収装置を組み合わせることで、MAP反応をさらに安定化させることができると考えられる。しかし、沈殿池式、上向流式の水面積負荷500m³/m²/dになると急速に回収率が低下した。全体として液体サイクロンが最も良好な成績を収めた。

ここでMAP回収装置の適用性を比較すると、沈殿池式、上向流式では、設置面積が大きくなり、稼働時には汚泥が蓄積する可能性がある。一方、液体サイクロンでは省面積性に優れているが、電力量が多く、電力量を下げたときの回収性能については確認できていない。

表-5 MAP粒子の回収率

MAP粒子 粒径範囲	液体 サイクロン 回収率 (%)	沈殿池式回収率 (%)		上向流式回収率 (%)	
		水面積負荷 (m ³ /m ² /d)		水面積負荷 (m ³ /m ² /d)	
		250	500	250	500
150~300 μm	95	93	73	93	75
75~150 μm	90	84	73	85	78
75 μm以下	65	64	52	65	47

おわりに

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、ライフサイクルコストの削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、返流水へのMAP法の適用は、P除去のみならずP回収技術として、大いに有望である。