

(32) 返流水の MAP 法を用いた処理

MAP (magnesium ammonium phosphate) Crystallization for Phosphorus Removal from Side Streams

原田浩幸*、広田隆司**、村尾雄次**、藤井正博***、松下知広***

HARADA Hiroyuki*, HIROTA Ryuji**, MURAO Yuji**, FUJII Masahiro***, MATUSHITA Tomohiro***

ABSTRACT; A magnesium ammonium phosphate (MAP) crystallization process that works by addition of magnesium seed crystals was used to phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P} < 50\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) removal from side streams from sludge dewatering and thickening processes. Using a bench scale reactor, which consisted of a bubble column with draught and settling tubes, the optimum operational conditions were determined to be: reaction time 2hr, pH 8.9-9.1, molar ratio of $\text{Mg/P} = 1.0$ and an excess of $\text{NH}_4\text{-N}$, under these conditions the maximum amount of crystallization occurred.

KEY WORDS; Side Stream, Phosphorus Removal, Crystallization, Phosphorus, Bubble Column Reactor

1. はじめに

水質保全対策の推進のため、平成 16 年度を目標年度とする第 5 次総量規制において、従来の COD に加えて窒素・リンが総量規制の指定項目に追加される。このため終末処理場では従来の処理項目に加えて窒素やリン高度処理に取り組みなければならず、標準活性汚泥法の曝気槽の一部を嫌気槽に変える嫌気好気活性汚泥法の採用が検討されるようになった。この方法では、余剰汚泥中のリン含有量は標準活性汚泥法に比べ高くなり、嫌気条件にさらされるとリンを容易に放出しその濃度が $40\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度の濃度に達する¹⁾。Fig. 1 に示す下水処理場内の返流水フローのなかで余剰汚泥分離液の流量は大きい²⁾。このため $40\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度の濃度ではリン負荷量が無視できなくなり、何らかの対応が必要となる。MAP 法の適用は $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が $50\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下の排水、または $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低い排水には難しいとされる¹⁾。そのため、余剰汚泥分離液に対してはカルシウム晶析処理が検討されている¹⁾³⁾⁴⁾。これは高度処理において種晶の存在化でカルシウムを添加し pH を 9 前後に高めることでヒドロキシアパタイトとして種結晶に固着・成長させる方法である。このように脱水分離液からは MAP 法、余剰汚泥分離液からはカルシウム晶析法による処理が考えられている。処理プロセスが 2 つあると維持管理が複雑となるので、Fig. 2 に示すように統合して、1 系統の返流水を処理するほうが効率的である。余剰汚泥分離液と脱水分離液を統合処理する場合の水質は、本文中で述べているように $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 $40\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 $200\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度になると考えられる。そのため MAP 反応の律速となる $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度に対して過剰状態を維持できる。しかしまだ処理操作条件が明らかにされていない。また熊本県内の下水処理場を対象とした脱水分離液濃度の調査では、13 ヶ所のうち 6 ヶ所が $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 $40\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 $200\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度であった⁵⁾。

*熊本大学工学部 (Department of Civil engineering and architecture, Kumamoto University)

**熊本県下水道公社 (Kumamoto Institute of Sewage Treatment)

***(株)ユニチカ中央研究所 (YUNITIKA LTD.)

したがって、このような濃度域の排水に対して MAP 法を適用する条件を明らかにすることで、脱水分離液と余剰汚泥分離液の混合液からリンを回収できるのみならず、リン酸イオン濃度があまり高くない脱水分離液からも効率的にリンを回収する技術を確立できる

そこで本研究では、まず下水処理場を例にとって返流水中の窒素・リン濃度を調査した。次に操作条件の影響をモデル排水に対して、容積 0.01m³ のラボスケール装置を用いて 1 条件につき 2 週間の連続試験で検討した。適切な操作条件を提案した後、下水処理場内の水量比を参考に脱水分離液と余剰汚泥分離液を混合し、MAP 処理を行ってその有効性を確認した。また、嫌気性消化を経たにもかかわらず脱水分離液のリン濃度が相対的に高くない分離液からのリン除去も検討した。

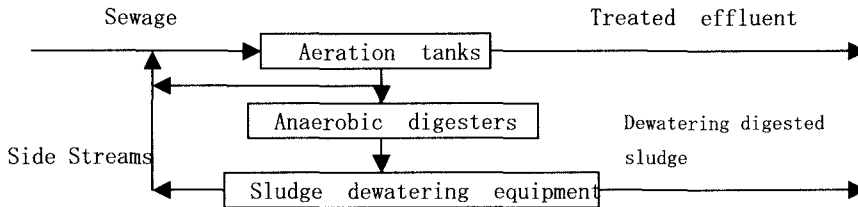


Fig.1 Flow se a t of side streams in sewage treatment plant²⁾

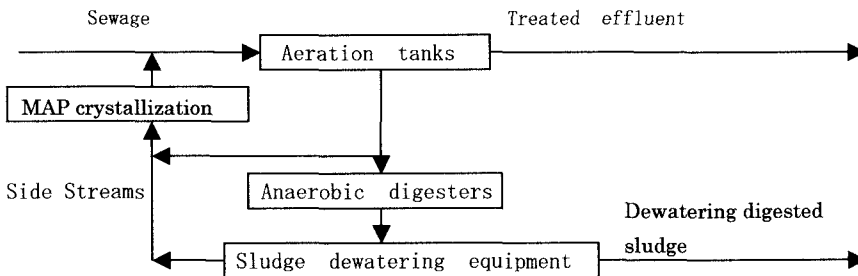
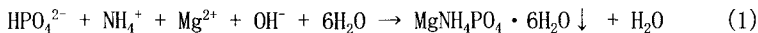


Fig.2 Applied proposal method in sewage treatment plant with phosphate removal for side streams

2. MAP 法

MAP 法とは、リンとアンモニアを含む排水に Mg 塩と pH 調整のためのアルカリを加えることにより MAP を生成し難溶性の固形物として除去する方法である。MAP の生成反応は次式による。



MAP 法は過飽和溶液から結晶を析出させる晶析現象を利用している。晶析操作を考える上で重要となるのは、晶析する物質の溶解度曲線、過溶解度曲線などであり、これらはある物質が溶解する濃度を表している。溶解度曲線以下の領域を安定域と呼び、Mg²⁺、NH₄⁺、HPO₄²⁻、OH⁻といったイオンがそれぞれイオン状態で存在する領域である。一方、過溶解度曲線より上方の領域を不安定域と呼び、この領域では種結晶不存在下でも新しい MAP の微細結晶が発生し、これを核として晶析が起こり、飽和状態まで晶析反応が進行する。溶解度曲線と過溶解度曲線の間が準安定域で、何かのきっかけ（種結晶）がなければ結晶を析出しない領域である⁶⁾。準安定域でも過溶解度曲線に近い領域で操作することにより、MAP の晶析反応速度を速めることができる。リン濃度が低い状態では、微細結晶の析出が見込めないので種結晶の効果が必要となる。

3. 各返流水のリン負荷調査

3. 1 調査対象および調査方法

北部浄化センターは、処理人口が 18.8 万人、流入水量は $35,400\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ であり、標準活性汚泥法で処理を行っている。調査は平成 12 年 12 月 5 日の 8 時 30 分、11 時 30 分、14 時 30 分の 3 回行った。分析は下水試験方法に従った。

3. 2 調査結果

調査結果を Table 1 に示す。なお、示した結果は 3 回の調査の平均値である。北部浄化センターの返流水全体のリン負荷量は $38.2\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ であり、そのうちの 78% が機械濃縮分離液と脱水ろ液に起因する。機械濃縮分離液の流量は $557\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ と脱水ろ液の約 2.4 倍であり、そのリン負荷は無視できない。仮定では 2 つの返流水からリンを 80% 削減・回収できると、62% の負荷を削減することができる。機械濃縮分離液の $\text{NH}_4\text{-N}$ は $15.7\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ と低く、直接 MAP 法を導入することはできないが、脱水ろ液と濃縮分離液流量の比で 2 つを混合すると、 $35.1\text{gPO}_4\text{-P} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $320.6\text{gNH}_4\text{-N} \cdot \text{m}^{-3}$ となり、混合した返流水のリン酸イオンに対して過剰のアモニアイオン濃度を維持できる。そのためリン酸イオン濃度が低くても操作条件を検討することで MAP 法が適用できると考えられる。

Table 1 Mass balance of nitrogen and phosphorus in a sewage treatment plant

	Influent	side stream from gravity thickener	side stream from dewatering	side stream from centrifuge thickening	effluent
$10^{-3} \cdot \text{flow rate} [\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}]$	37800	6800	2300	5600	37500
TP $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	3.8	12.4	90.5	12.4	1.2
TP $[\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}]$	144	8.4	21.4	8.4	43.9
$\text{PO}_4\text{-P} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$		6.3	87.1	13.1	
$\text{PO}_4\text{-P} [\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}]$		4.3	20.5	7.3	
TN $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	36.5	74.9	1063	33	25
TN $[\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}]$	1376.1	51	251	18.4	914.6
$\text{NH}_4\text{-N} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$		45.6	1040	15.7	
$\text{NH}_4\text{-N} [\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}]$		31	245	8.8	
Mg $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$		11.9	13.9	9.4	
SS $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$		256	163.8	150.6	

4. MAP 法によるリン回収操作条件の検討

4. 1 実験材料と方法

原水として使用する排水には、モデル排水として、プラントより採取した返流水（北部浄化センター内のベルトプレス脱水機より排出される脱水ろ液を採取、水道水で希釈し、所定の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度になるようにした）を用いた。

著者らの検討により種結晶として微細 MAP 粒子を投入するとリン除去率が良いと思われる⁶⁾ ので、関東化学(株)製特級試薬を 200g 投入した。なお MAP 結晶粒子は柱状なので、光学顕微鏡で写真撮影をした粒子 100 個の最大・最小粒子径を測定し長径と短径とした。試薬の MAP 結晶は平均粒径 $0.033 \times 10^{-3}\text{m}$ (長径)、 $0.020\text{m} \times 10^{-3}\text{m}$ (短径) であり、 $0.05 \times 10^{-3}\text{m}$ 以下 (長径) のものが 90% を占めて

いる。この微細種結晶の効果は島根東部浄化センターで回収された直径 0.5mm 以上の粗大結晶 200g を投入した場合、および投入しない場合についてそれぞれ比較した。なお投入する前に種結晶は 1 時間以上水洗いして投入した。装置は、Fig. 3 に示すドラフトチューブ構造の反応部（容積 $5.9 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ）と固液分離のための沈殿部（容積 $5.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ）、および投入しない場合についてそれぞれ比較した。なお投入する前に種結晶は 1 時間以上水洗いして投入した。種結晶を投入した装置内に原水を連続的に反応部下部より供給し、Mg 源として塩化マグネシウム六水和物 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 水溶液を添加した。また、pH コントローラーを用いて $20 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ の水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液を供給し、pH の制御を行った。反応部下部より $2.5 \times 10^{-3} \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ で曝気を行うことで、反応部全体を十分に混合し、MAP 粒子が均一に流動するようにした。水質分析は下水試験方法に従った。実験条件は Table2 に示した。

Table 2 Operating conditions

Run No	seed type	pH control	Hydraulic retention time[hr]	influent $\text{PO}_4\text{-P}[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	influent $\text{NH}_4\text{-N}[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$
Run1	fine seed	8.7~8.9	1	42.2	225.8
Run2	fine seed	8.9~9.1	1	42	257.4
Run3	fine seed	8.9~9.2	2	44.1	294.1
Run4	coarse seed	8.9~9.3	2	39.1	297.5
Run5	without seed	8.9~9.4	2	39.5	320.6

- Chemical reagent used as fine seed (Kanto Ltd.)
- MAP particle taken from side stream treatment facility in Shimane sewage treatment plant used as coarse seed

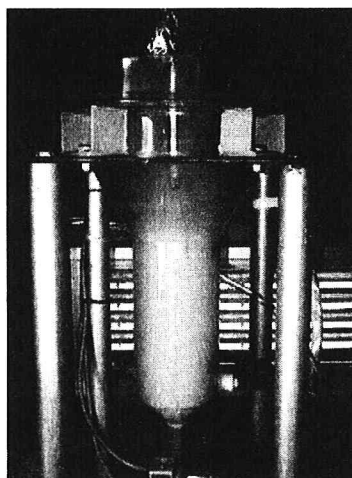
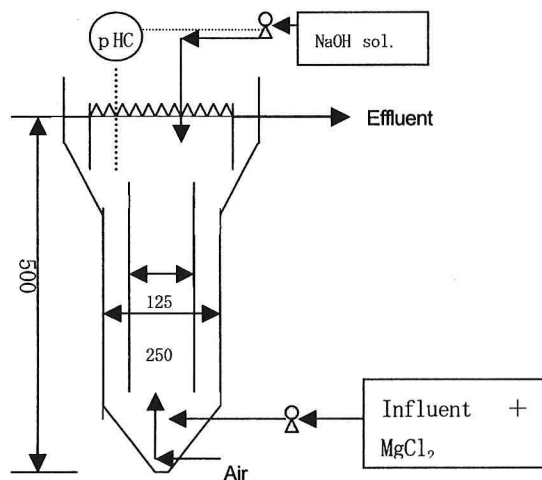


Fig.3 Experimental setup

Unit:mm

4.2 結果と考察

(1) Mg 添加比の影響

Mg 添加量を Mg/P=1 と 1.5 にしたときの結果を Table 3 に示す。Mg 添加比が 1.5 のときには 1.0 のときに比べ処理水の T-P, PO₄-P とも $6\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 低くなった。T-P, PO₄-P の差は添加にかかわらずほとんど見られなかった。なお表中の数値は、Fig. 4 に示すように添加比 1.0 での T-P 除去率の経過時間変化において数値が増加して安定したときの平均値である。

Table3 Effects of Mg/PO₄-P ratio on effluent concentration
(pH:8.5-8.7, HRT 1hr)

Mg/PO ₄ -P	Influent			Effluent		
	PO ₄ -P [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	T-P [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	NH ₄ -N [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	PO ₄ -P [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	T-P [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	NH ₄ -N [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
1.5	37.4	39.1	185.8	8.0	8.2	170.1
1.0	42.2	42.5	225.8	14.2	14.4	202.2

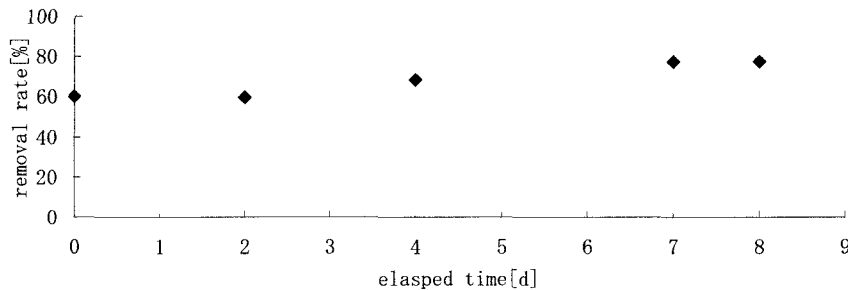


Fig.4 T-P removal rate varied with elapsed time

(2) 操作 pH の影響

Mg の添加量比 1 で固定し、操作 pH を変化させた。実験条件は Table2 の Run1、Run2 に相当する。Run1 よりも Run2 の方が制御 pH の範囲を 0.2 上げて操作している。各 Run の T-P 処理状況を見ると、どちらも経過時間が 6 日前後で除去率が安定する。安定したときの平均値を Table 4 にまとめた。また、Fig.5 に示すように T-P 除去率は操作 pH の高い Run2 の方が 10% 程度大きい値、8 日目以降に処理水濃度は $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下となった。このように低濃度リンの処理ではわずかながら、pH 値を高めて操作したときに処理効果が大きくなる。高濃度の操作では微細粒子が析出しないように 8.0~8.5 で操作されることが多い⁸⁾。これに比べると本研究の操作域はやや高いが TP と PO₄-P との差が少ないので問題はないと考える。

次に、Run1,2 においての水面から 15cm の位置、反応部内管上端を流動している MAP 粒子を引き抜いて、装置運転開始から 3 時間後と 8 日後における粒経を調査した。

MAP 粒子は六角柱状になっており径には長径と短径が存在する。Run1,2 とともに開始後 3 時間では内部を流動している結晶粒子の結晶粒経は種結晶のそれとほとんど差がなかった。12 日後には Run1,2 とともに

粒子の成長が見られ、平均粒径から求めた成長速度では、Run1 で $0.020\text{m} \times 10^{-3}\text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (長径)、 $0.009\text{m} \times 10^{-3}\text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (短径) となり、わずかであるが Run2 のときに結晶成長が遅い。これは、操作 pH が高いために種結晶への固着・成長より微細な結晶が発生しやすい条件にあったためと考えられる。

(3) 滞留時間の影響

次に滞留時間の差による影響を調査するため、Table 2 に示す Run 2 と 2 時間にした Run 3 とで比較し、検討した。この実験では、操作 pH は除去率の良かった 8.9～9.11 の範囲とした。処理状況を Table 5 にまとめ、Fig. 6 に経過時間ごとの T-P 除去率を示す。滞留時間が 1 時間の Run2 は 4～6 日以降 $10\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ となり、その後 8 日以降には $8\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度、除去率 80% 程度の安定した値となっている。それに対し、滞留時間の長い Run 3 の方では全期間においてほとんどが $10\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下、除去率 80% 以上の値であり、Run 2 に比べると特に運転開始直後から安定した処理が行われている。滞留時間が長い方が装置運転開始直後から安定した処理を行うことができる。

Table 4 Effects of pH on effluent concentration
(Mg/PO4-P=1, HRT 1hr)

HRT [hr]	Influent			Effluent		
	PO ₄ -P [g·m ⁻³]	T-P [g·m ⁻³]	NH ₄ -N [g·m ⁻³]	PO ₄ -P [g·m ⁻³]	T-P [g·m ⁻³]	NH ₄ -N [g·m ⁻³]
8.7-8.9	42.2	42.6	266.8	14.2	14.4	202.2
8.9-9.1	41.1	42.0	267.4	8.6	8.6	234.2

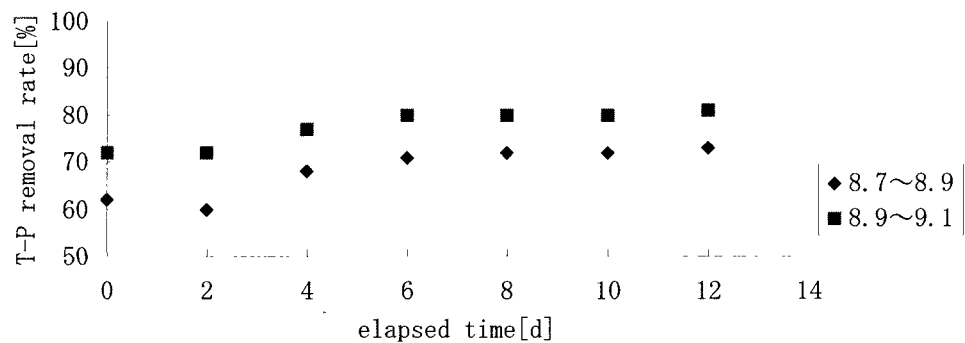


Fig. 5 Effects of pH on T-P removal rate

滞留時間 2 時間では 1 時間に比べて 8 日目以降で 2～3% 程度の除去率向上となるが濃度では $0.7\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 程度の差しかない。従って滞留時間は 1 時間程度で十分である。

次に、流動している MAP 粒子を引き抜いて粒径を調べた。実験開始 3 時間後の粒径分布は Run2,3 とともに大きな差なく、種晶として投入した試薬 MAP の粒径と変わらなかった。12 日後では平均粒径では Run2 で $0.23 \times 10^{-3}\text{m}$ (長径基準) Run3 で $0.16 \times 10^{-3}\text{m}$ (長径基準) であり、Run 2 の方が大きく成長していた。これは滞留時間が 1 時間程度である Run2 の方が実際に流入したリンの総量が Run3 の約 2 倍で

あることに起因している。平均粒径から求めた粒子の成長速度で見ると Run2 で $0.016 \times 10^{-3} \text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (長径基準)、 $0.007 \times 10^{-3} \text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (短径基準) であるのに対して、Run 3 で $0.010 \times 10^{-3} \text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (長径基準)、 $0.004 \times 10^{-3} \text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ (短径基準) であった。

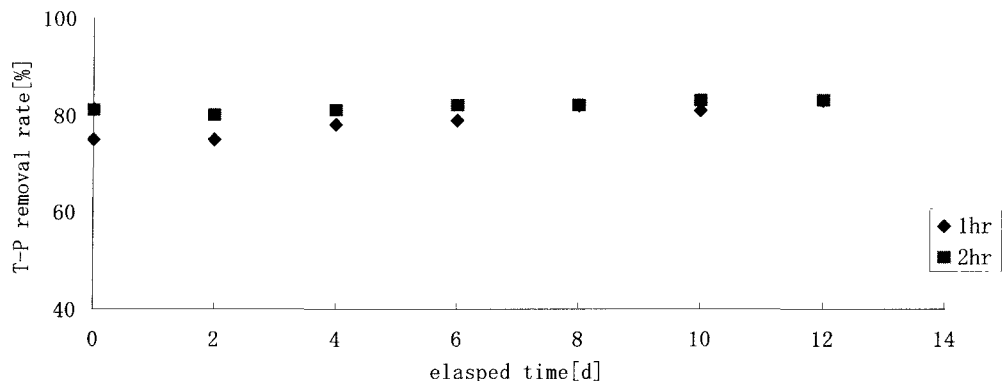


Fig.6 Effects of HRT on T-P removal rate

(4) 種結晶の効果

通常 MAP 法では多くの微細結晶が発生して種結晶として作用し成長するので種結晶は使用しない。濃度が低いと多くの微細結晶の発生は望めない。このような状況に対し本研究では微細な種結晶をあらかじめ投入し反応効率を高めている。この有効性を確認するためにするために純粋試薬の微細結晶と実プラントで回収された 0.5mm 以上の粗大結晶および種結晶を使わない場合を比較検討した。その実験条件は Table2 の Run3, 4, 5 に該当する。pH は 8.9~9.1、滞留時間は 2 時間とした。Run3~5 における処理除去率を Table6 にまとめ、Fig. 7 に T-P 除去率の経時変化を示す。微細結晶用いた Run 3 では期間を通して安定した除去率であり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ と T-P との差も見られない。

Table5 Effect of hydraulic retention time on effluent concentration

HRT[hr]	Influent			Effluent		
	$\text{PO}_4\text{-P} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	T-P $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	$\text{NH}_4\text{-N} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	$\text{PO}_4\text{-P} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	T-P $[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$	$\text{NH}_4\text{-N} [\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$
1	41.1	42.0	267.4	9.6	9.6	234.7
2	42.7	44.1	294.1	7.3	7.5	263.4

粒径の大きな MAP を使用した Run 4 では、除去率は運転開始後から 2~3 日で上昇し、4 日後以降は 80% を越え安定した除去率となった。T-P 除去率では $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率との差は開始 4~5 日まで大きかったが、それ以後は見られなくなった。これは運転開始後 4~5 日の間に装置内で新たに析出した MAP 結晶が 5 日以降には装置内を流動し、種結晶として微細な試薬 MAP を投入した状態に近い状態になったためと考えられる。このことは実験終了時に内部の MAP を回収する際に粗大、種結晶として投入した MAP よりもはるかに多い量の微細な MAP 粒子が含まれていたことから言える。種結晶を投入せずに運転した Run5 では開始時 60% の除去率で徐々に増加して 10 日以降で、80% 以上となった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率との差は 10 日までは 10%

程度の差があるが10日以後は見られなくなった。この結果から微細種結晶はスタートアップ時において種結晶の表面積を大きくする効果があることが認識できた。また、新たに析出するMAP粒子の流出を抑制する効用も認められた。微細粒子の粗大粒子に比べての効果はカルシウムを添加するヒドロキシアパタイト晶析法（HAP法）による脱リンで認められている⁹⁾¹⁰⁾。

5. 濃縮分離液と脱水ろ液の混合返流水の処理

5. 1 実験方法

濃縮分離液と脱水ろ液を混合させた排水を使用して、MAP法による処理が可能かどうかを検証した。

原水として、北部浄化センターにおける汚泥処理過程の返流水を構成している機械濃縮分離液とベルトプレス脱水ろ液を採取し、北部浄化センターで実流量に合わせ、濃縮分離液：脱水ろ液を2.36：1の割合で混合した処理対象とした。

Table 6 Effects of seeds on effluent concentration
(pH 8.9-9.1, HRT 2hr)

Seed	Influent			Effluent		
	PO ₄ -P [g・m ⁻³]	T-P [g・m ⁻³]	NH ₄ -N [g・m ⁻³]	PO ₄ -P [g・m ⁻³]	T-P [g・m ⁻³]	NH ₄ -N [g・m ⁻³]
Fine	42.7	44.1	294.1	6.3	7.0	263.1
Coarse	39.1	39.4	297.6	7.3	7.5	263.4
Without	38.4	39.5	320.6	11.3	11.3	301.8

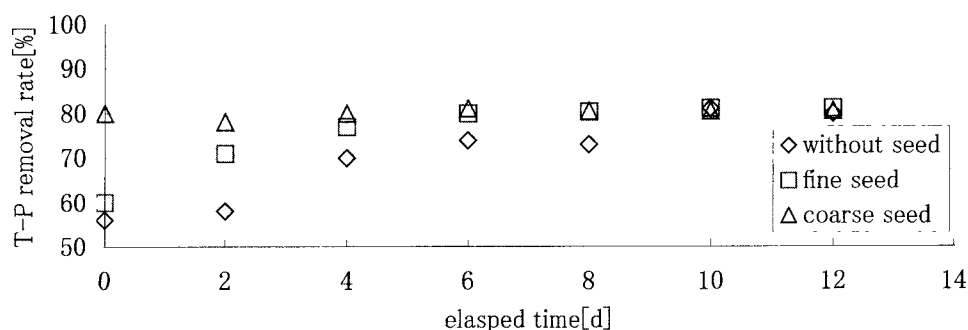


Fig.7 Effects of seed on T-P removal rate

Fig.1 に示した装置を使用して、微細結晶は200g投入し滞留時間1時間、pH8.8～9.1で処理をおこなった。装置運転開始後滞留時間の3倍の時間経過後にサンプリングを行った。分析は下水試験方法に従った。

5. 2 結果と考察

結果をTable7に示す。表には濃度変化のあった2回の結果を示している。PO₄-P処理では、処理水は10g・m⁻³以下の値となり、85%以上の除去率が得られた。また、T-P処理においても処理水は10g・

m^3 以下、除去率は 79% となり、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率と比較すると 6% 程度小さい値となった。処理水 $\text{PO}_4\text{-P}$ と T-P にも $3\sim 4\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 程度の差が生じているが、原水の $\text{PO}_4\text{-P}$ と T-P との差が $4\sim 9\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ あるので、この差は流出した微細 MAP 粒子と考えるよりは、SS 中に含まれるリン成分だと考えられる。また、Ca の影響についても調査したところ、原水中の Ca^{2+} と処理水中の Ca^{2+} との差が無かったので、カルシウム成分はこの濃度では影響しない。今回行った混合排水の処理において、MAP 法を用いた返流水（濃縮脱離液と脱水ろ液）の統合処理が十分可能であると考えられる。

北部浄化センター以外の N 町浄化センターの $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が $27.6\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 T-P $28.4\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $390.4\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ とリン濃度が低い脱水ろ液を対象に微細種結晶を投入して HRT2 時間、 pH 8.9-9.1 で処理をおこなった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が $7.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 T-P $7.7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ となった。このことからリン濃度が高くない脱水ろ液でも種結晶を用いて滞留時間と pH を制御することで高い除去率を得ることができる。

Table 7 Mixed side streams treatment

mixed liquor	Run 1		Run 2	
	influent	effluent	influent	effluent
$\text{PO}_4\text{-P}[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$	29.5	4.2	34.6	5.2
$\text{T-P}[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$	38.2	8.0	38.4	8.2
$\text{NH}_4\text{-N}[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$	286.1	265.8	303.3	375.4
$\text{Ca}[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$	23.0	23.0	23.0	22.5
$\text{SS}[\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$	155.7	80.0	165.5	81.3

6. まとめ

本研究では、返流水のうち、脱水ろ液と濃縮分離液とを混合させて統合処理を行うという方法を提案した。その場合、リン濃度は $40\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 程度で、アンモニアは過剰となる。この性状の原水に対し微細種結晶を投入した MAP 法の操作条件を検討した。添加 Mg を理原水 $\text{PO}_4\text{-P}$ に対するモル比 1.0 に固定した条件では、 pH による効果をもっとも大きく、その操作 pH は 8.9-9.1 が最適であった。また滞留時間を通常の 1 時間から 2 時間にすることで、更に除去率、回収率とも上昇するが、装置運転開始から 4 日以降ではその差はほとんどないため、滞留時間は 1 時間程度で十分であると考えられる。実際の処理操作を考えると運転開始から 3、4 日目までは通常の滞留時間よりも長めにとり、その後は滞留時間を通常の 1 時間で運転を行うのが良いのではないかと考えられる。また、実際に濃縮分離液と脱水ろ液を混合した排水を使用し、MAP 処理を行ったところ、リンは 80% 程度除去でき、処理後の濃度は $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ を下回った結果となった。本研究で提案した濃縮脱離液と脱水ろ液とを混合した返流水に対して MAP 法を用い、返流水の統合処理を行うことは十分可能であると考えられる。

《謝辞》

特に現場でのサンプリング、測定等で協力していただいた日本メンテスエンジニアリング(株)の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 森山克美, 三縄義和, 小島利広, 福島祐一, 松本忠司: ケイ酸カルシウム水和物を種結晶とした晶析脱リン法, 下水道協会誌論文集, Vol. 37, pp. 107-119 (2000/9)

- 2) Norbert J., Johannes P.: Phosphate Release of Sludge from Enhanced Biological P-Removal During Digestion, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 30, No. 6, pp.281-292 (1994)
- 3) Elizabeth V.M., Keith B.: Controlled Struvite Crystallization for Removing Phosphorous from Anaerobic Digester Sidestreams, *Wat. Res.*, Vol. 35, pp. 151-159 (2001)
- 4) 加藤義重, 高橋信行, 中井敏博, 佐藤芳夫: 富栄養化防止のための環境水中のリン処理研究, *工業用水*, No. 432, pp. 2-13 (1992)
- 5) Harada H., Hirota R., Tamaki Y.: Phosphorous Removal for Mid-strength Waste water by MAP Crystallization, First IWA Asian -pacific Regional Conference, pp. 763-768 (2001)
- 6) 津野洋, 宗宮功, 吉野正章: 消化脱離液からのストラバイトの回収に関する研究, *下水道協会誌論文集*, Vol. 28, No. 324, pp. 68077 (1990)
- 7) 橋本信吾, 原田浩幸, 広田隆司, 亀丸信昭, 玉木由佳: 完全混合リアクターを用いた低濃度 MAP 法の開発に関する研究, 第 37 回下水道研究発表会講演集, pp. 831-833 (2000)
- 8) 山下雅治, 茂木浩一: MAP 法により排水からのリン基礎除去実験; 第 33 回下水道研究発表会講演集, pp. 519-521 (1988)
- 9) Skler M.M.: Phosphate removal in a fluidized bed: *Wat. Res.* 26, pp. 1590-1595 (1992)
- 10) 平沢泉: 流動層脱リン法におけるリン酸カルシウムの結晶速度, *化学工学シンポジウムシリーズ* No. 18, pp. 146-150 (1988)