

嫌気培養による余剰汚泥からの元素類の溶出に関する研究

岩手大学 工学部 学生会員 ○及川俊文 川上北斗

(公財) 岩手県下水道公社 佐藤敦

岩手大学 工学部 正会員 笹本誠 石川奈緒 伊藤歩 海田輝之

1. 背景

下水処理場では、消化過程で下水汚泥中からリンや金属イオンが溶出し、リン酸マグネシウムアンモニウム (MgNH_4PO_4 : 以下 MAP とする) の結晶が生成し、その結晶が送泥管を閉塞する原因になっている。一方でリンは生物の必須元素であるが、供給源であるリン鉱石は近い将来枯渇すると予想されている。そこで本研究では消化より前の段階で余剰汚泥からリン、マグネシウム、カリウムを溶出させ、MAP の発生を抑制し有用元素類を回収するための技術開発を目的としている。

本研究では余剰汚泥を嫌気培養することでカリウム、リン、マグネシウムが溶出する性質に着目し、有機物添加の有無や培養温度の違いが元素類の溶出率及び溶出速度にどのような影響を及ぼすか検討した。

2. 実験方法

実験試料は北上川上流流域下水道都南浄化センターで採取した返送汚泥を用い、全固形物量 (TS)、強熱減量 (VS)、pH、汚泥中の元素の全濃度及び溶解性濃度を測定した。本研究では二次処理の最終沈澱池施設から機械濃縮機までの送泥管の中で余剰汚泥を嫌気化し、元素を溶出させ濃縮分離液の形で回収することを想定している。余剰汚泥ではなく返送汚泥を用いた理由は、最終沈澱池直後の余剰汚泥を採取できなかったためであるが、ここでは返送汚泥を余剰汚泥とみなした。返送汚泥と機械濃縮直前の余剰汚泥において元素類の溶解性濃度に違いがあるかを確認するため、機械濃縮直前の余剰汚泥を採取し分析した。また、余剰汚泥を機械濃縮機に送泥する間や濃縮時に元素類の溶出が起きているかを確認するため、機械濃縮分離液も採取し分析した。さらに有機物源としての可能性について調べるため、一次処理水と消化脱水分離液 (以降、脱水分離液とする) を採取し、含まれる溶解性有機炭素 (DOC) を測定した。

返送汚泥、機械濃縮直前汚泥、機械濃縮分離液とそれらの遠心分離 (10000 rpm、10 min) 後の濾液 (0.45 μm メンブレンフィルターで濾過) にそれぞれ塩酸と硝酸を加え、ホットプレートで加熱分解し、50 mL メスフラスコにメスアップした。メンブレンフィルター (0.45 μm) で濾過し、この濾液について Ca、K、Mg、P の濃度を ICP 発光分析装置 (Shimadzu, ICPE-9000) で測定した。これとは別に一次処理水と脱水分離液をメンブレンフィルター (0.45 μm) で濾過し、この濾液の全有機体炭素濃度を全有機体炭素計 (Shimadzu, TOC-V CSH) で測定し、これを溶解性有機炭素 (DOC) とした。また、返送汚泥の pH を pH メーターで測定し、乾燥機 (ISUZU, EPDW-7.2R) を用いて 24 時間 110 $^{\circ}\text{C}$ で乾燥させ TS を、さらに 1 時間 600 $^{\circ}\text{C}$ で灰化させ VS を測定した。

溶出実験は試料採取日に開始し、返送汚泥を恒温槽で 48 時間振とうさせ、温度、好気性と嫌気性、有機物添加量などの培養条件が元素類の溶出率と溶出速度にどのような影響を及ぼすかを試験した。温度は 25 $^{\circ}\text{C}$ と 35 $^{\circ}\text{C}$ の 2 条件とし、それぞれの温度で好気条件と嫌気条件で培養した。さらに嫌気条件については酢酸ナトリウム (CH_3COONa) を 0.1 g/L、0.5 g/L となるように添加した。25 $^{\circ}\text{C}$ の条件では 1 L のガラス製振とうフラスコに汚泥を入れ恒温室内において 25 $^{\circ}\text{C}$ 、120 rpm で振とうし、35 $^{\circ}\text{C}$ の条件では 50 mL のプラスチック製試験管に汚泥を入れ振とう式恒温水槽を用いて 120 rpm で振とうした。サンプリングは振とう開始から 0、1、6、12、24、48 時間後の計 6 回行った。80 mL 遠沈管に採取したサンプルを遠心分離 (10000 rpm、10 min) し、上澄み液をメンブレンフィルター (0.45 μm) で濾過した。上述のように溶解性元素と DOC 濃度を測定した。さらに、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4^{+}\text{-N}$) 濃度はオートアナライザー (ビーエルテック, AutoAnalyzer2) で測定した。

3. 実験結果

実験に用いた返送汚泥の性状は、表では示していないが、pH が 6.7、TS が 4.95 g/L、VS が 4.22 g/L であった。

表-1 に返送汚泥、機械濃縮直前汚泥、機械濃縮分離液の元素の全濃度及び溶解性濃度を示す。返送汚泥の溶解性濃度と機械濃縮直前汚泥の溶解性濃度を比較すると、大きな違いが無いため、送泥

表-1 返送汚泥、機械濃縮直前汚泥、
機械濃縮分離液の元素の全濃度及び溶解性濃度

		K(mg/L)	Mg(mg/L)	P(mg/L)	Ca(mg/L)
返送汚泥	全濃度	63.5	54.2	223	57.3
	溶解性濃度	12.8	4.67	16.2	14.3
機械濃縮直前汚泥	全濃度	68.4	59.2	239	55.6
	溶解性濃度	16.2	5.90	22.9	15.2
機械濃縮分離液	全濃度	17.1	11.1	37.9	16.6
	溶解性濃度	9.03	3.01	4.44	12.1

キーワード

余剰汚泥、嫌気培養、MAP の生成抑制、元素類の回収

連絡先：岩手大学(盛岡市上田 4-3-5 TEL:019-621-6449)

管の中で元素の溶出が進んでいないことが分かる。次に機械濃縮直前汚泥の溶解性濃度と機械濃縮分離液の全濃度を比較すると、大きな違いはないため、機械濃縮の過程でも多くの元素が濃縮汚泥として次の工程に送られることが分かる。

図-1 に返送汚泥の pH の時間変化を示す。好気条件では初期値から pH が低下し、5.4～6.6 の間で推移した。嫌気条件ではほぼ横ばいに推移し、6.2～7.1 の間で推移した。

図-2 に溶出実験における K、P、Mg、Ca の溶出率の 24 h までの変化を示す。好気条件と嫌気条件を比較すると、K、P、Mg は嫌気条件の方が溶出率は終始高かった。嫌気条件に着目すると、酢酸ナトリウムの添加量が多いほど振とう初期（1 h）の溶出速度は大きくなったが、12 h 以降では溶出率に差は見られなくなった。一方で Ca は終始溶出量が少なく、異なる傾向が見られた。温度に着目すると、すべての元素で 25℃より 35℃の条件のほうが初期の溶出率はわずかに高くなったが、12 h 以降では差は見られなくなった。24 h の最大溶出率は K が約 80 %、P と Mg が約 50 %、Ca が約 40 %であった。

図-3 の左に DOC の時間変化を示す。0 h の値は返送汚泥を入れる前の溶液（CH₃COONa）の濃度に、返送汚泥の初期の溶解性濃度を足し合わせたものである。嫌気条件に着目すると、酢酸ナトリウムを 0.5 g/L 添加した条件では 1 h における濃度の低下がみられた（25℃：93.8 mg/L、35℃：64.0 mg/L）。これは汚泥中の微生物が酢酸ナトリウムを取り込んだためと考えられる。しかし酢酸ナトリウムを添加していない条件の値（25℃：23.3 mg/L、35℃：36.8 mg/L）よりも高くなっており、有機物が過剰に添加されていたと分かる。一方で酢酸ナトリウムを 0.1 g/L 添加した場合（25℃：21.9 mg/L、35℃：30.6 mg/L）では、酢酸ナトリウムなしの 1 h の値と比べると、ほぼ同じ値まで低下した。よって有機物の最適な添加量は 0.1～0.5 g/L の間の値であると考えられる。図-3 の右に NH₄⁺-N の濃度の時間変化を示す。35℃の条件で濃度が大きく増加したが、図-2 に示すように元素の溶出率は低下しなかった。

一次処理水と脱水分離液に含まれる DOC は、一次処理水が約 0.02 g/L、脱水分離液が約 0.05 g/L であり、どちらも溶出実験に用いた酢酸ナトリウムの濃度よりも小さく、元素類を溶出させるための有機物源としては量的に不十分であることが分かった。

4. まとめ

機械濃縮直前での余剰汚泥中の元素類の溶解性濃度が全濃度に占める割合は小さく、送泥過程において余剰汚泥を嫌気化させることは溶出操作として有効であると考えられる。余剰汚泥に有機炭素源を添加して 35℃で嫌気培養することによって、K、P、Mg が短時間で溶出することが分かった。元素類を機械濃縮分離液として回収することで、消化工程や送泥管内における MAP の生成の抑制が可能であると考えられる。有機炭素源の濃度の適量は 0.1～0.5 g/L であると考えられるが、一次処理水と脱水分離液の DOC の値はどちらも溶出実験に用いた酢酸ナトリウムでの濃度よりも小さく、有機物源として利用するのは難しいと考えられる。

今後は溶出した元素類を回収する方法について検討する必要がある。

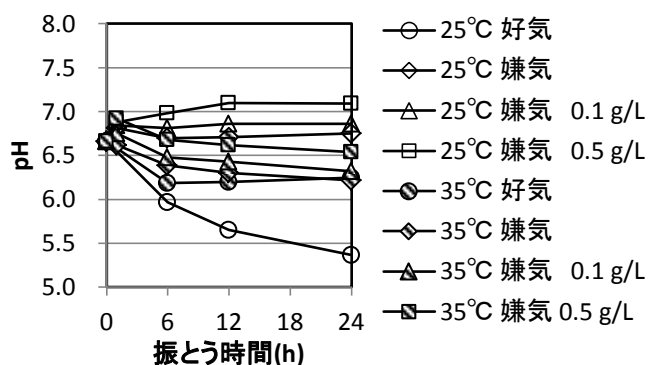


図-1 返送汚泥の pH の時間変化

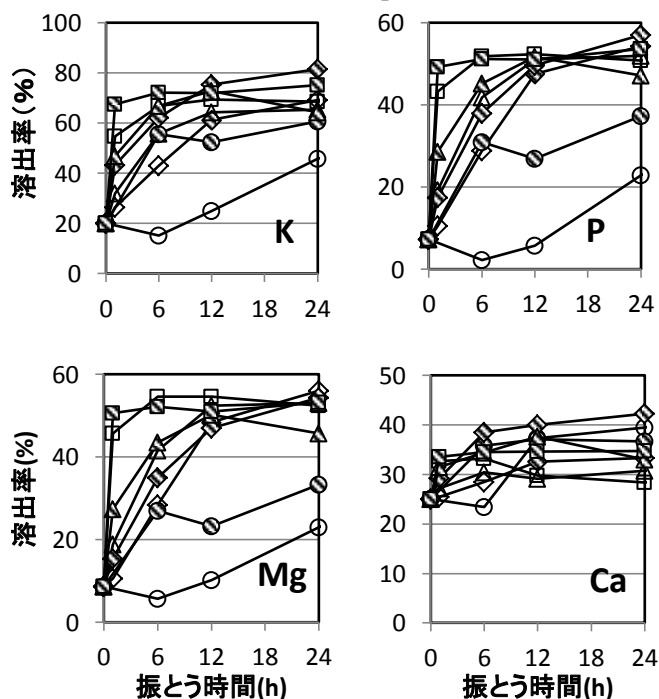


図-2 K、P、Mg、Ca の溶出率の時間変化

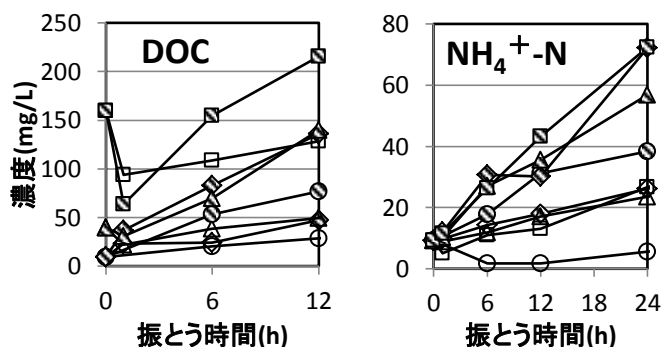


図-3 DOC と NH₄⁺-N の濃度の時間変化