

## 余剰汚泥からの元素類の溶出と回収に関する実験的研究

岩手大学工学部 学生会員 ○舘紳也 白岩卓也

（公材）岩手県下水道公社 金郁磨

岩手大学理工学部 正会員 石川奈緒 笹本誠 伊藤歩 海田輝之

### 1. 序論

下水処理場において、嫌気性消化過程の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（MAP）が析出することにより汚泥処理の配管が閉塞する問題が生じている。そのため MAP の生成を抑制することが必要となる。また、リンは農業や工業等の分野にとって有用な元素であるが、リン鉱石は枯渇しつつあり、限られた天然資源であるため、汚泥から回収し再利用することが望まれる。本研究では、嫌気性消化における P と Mg の負荷源である余剰汚泥に着目し、有機炭素源として酢酸ナトリウムを添加して嫌気培養することで P や Mg の溶出が速まることを示したが、有機炭素源のコストがかかるというデメリットがある。

そこで、送泥管の閉塞の抑制と元素類の回収を目的とし、有機炭素源として重力濃縮汚泥を使用した場合での嫌気培養による余剰汚泥からの元素類の溶出実験を行い、さらに、溶出した元素類を濃縮するために電気透析実験を行った。

### 2. 実験方法

実験試料として都南浄化センターで採取した余剰汚泥を用いて元素類の溶出実験を行った。重力濃縮汚泥も採取し有機炭素源として使用した。また、有機炭素源の比較対照として酢酸ナトリウム溶液を余剰汚泥に加えた場合についても実験を行った。全固形物量（TS）、強熱減量（VS）、pH、ORP、TOC、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）濃度、汚泥中の元素の全濃度および溶解性濃度を測定した。本研究では、最終沈殿池から機械濃縮機までの間で余剰汚泥を嫌気化して数時間程度で元素類を溶出させることを想定している。

溶出実験は試料採取日に開始した。遠沈管に余剰汚泥と重力濃縮汚泥の比が 100 : 10、100 : 5、100 : 1 となるように加えた。また、余剰汚泥のみの場合と重力濃縮汚泥の代わりに酢酸ナトリウムを濃度が 0.5 g/L となるように加えた場合の 2 条件についても試験した。その後、恒温室内で振とう（120 rpm、25°C）を行い、遠沈管を経時的（0、0.5、1、3、6 hr）に取

り出し、pH と ORP を測定した後、遠心分離（10000 rpm、5 min）を行い、上澄み液をメンブレンフィルター（0.45  $\mu\text{m}$ ）でろ過した。ろ液（25 mL×3）をガラスビーカー（3 連）に採取し、硝酸と塩酸を加え、ホットプレートで加熱分解を繰り返し行った。分解液をメスアップし、直ちにメンブレンフィルター（0.45  $\mu\text{m}$ ）でろ過を行い、ろ液をポリ瓶に保存した。残りのろ液についても TOC と  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  の濃度を測定するために別のポリ瓶に保存した。これらのろ液について、P、Ca、K、Mg の濃度を ICP 発光分析装置（Shimadzu、ICPE-9000）で測定した。全有機体炭素濃度を全有機体炭素計（Shimadzu、TOC-V CSH）で測定し、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  濃度についてはオートアナライザー（ビーエルテック、AutoAnalyzer2）で測定した。

さらに、元素類を濃縮させるため電気透析実験を 3 時間行った。電気透析装置は陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に挟み供給槽（550 mL）、濃縮槽（110 mL×2）、外側の電極槽（550 mL）の 5 部屋を作った。

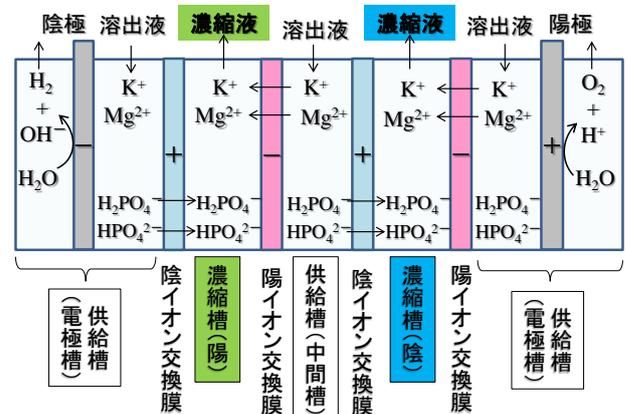


図-1 電気透析装置の概略

### 3. 実験結果

表-1 に余剰汚泥及び重力濃縮汚泥の元素類の全濃度を示す。余剰汚泥の P、K、Mg の全濃度は重力濃縮汚泥よりも若干高い値となっており、Ca は重力濃縮汚泥の方が高い値となっている。

図-2 に pH と ORP の経時変化を示す。0 hr の値は

有機炭素源を加えていない余剰汚泥の pH と ORP とし、すべての条件に共通の値とした。pH、ORP はいずれの条件のときも時間の経過とともに減少しており、ORP が負の値を示していることから、より嫌氣的になっていることがわかる。

図-3 に P、Ca、K、Mg の溶解性濃度の時間変化を示す。それぞれの元素の濃度について、有機炭素源を添加すると溶出速度は増加した。また、重力濃縮汚泥の添加量が多いほど溶出速度が大きくなっており、短時間で溶出していることが分かる。振とう時間の経過によって、溶出濃度は増加したが、P、K、Mg の最大溶出濃度は酢酸ナトリウムを添加したときが最も大きな値となっており、重力濃縮汚泥よりも多くの元素類を溶出させた。

表-1 の余剰汚泥の全濃度から酢酸ナトリウムを加えた場合の元素類の溶出率（%）（=溶解性濃度÷全濃度×100）を計算した。P の溶出率は 69.8 %、Ca は 41.7 %、K は 86.4 %、Mg は 71.7 % となった。余剰汚泥と重力濃縮汚泥の比は最大でも 100 : 10 であり、溶出する K、Mg、P は余剰汚泥由来のものであると考えられる。前述したように、Ca は重力濃縮汚泥のほうが高い値となっている。このため、Ca の溶出濃度は酢酸ナトリウムを添加した条件より重力濃縮汚泥を添加した条件の方が高くなっていると考えられる。溶出時間を見ると、酢酸ナトリウムを添加した場合 3 時間でほぼ元素類が溶出していることが分かる。重力濃縮汚泥を添加した場合は酢酸ナトリウムを添加した場合よりも溶出速度は遅くなるが、重力濃縮汚泥の添加量を増やすことで溶出速度は向上すると考えられる。

表-2 に電気透析後の供給槽、濃縮槽（陽）、濃縮槽（陰）の各元素類の濃度を示す。供給槽に溶出液を入れて、3 時間電気透析した結果、供給槽の各元素類濃度は減少しており、濃縮槽の濃度は増加している。このことから P、Ca、K、Mg は電気透析を行うことによって濃縮できることが分かった。

4. まとめ

有機炭素源として重力濃縮汚泥を使用することによって、余剰汚泥から元素類の溶出速度を向上することは可能である。しかしながら、本実験においては酢酸ナトリウムを加えた場合の方が元素類は多く溶出する結果となった。電気透析実験においては、元素類を濃縮させることが可能であることが分かった。

今後は、重力濃縮汚泥を加える量を変えて検討する必要がある。

表-1 余剰汚泥及び重力濃縮汚泥の元素濃度 (mg/L)

元素類	P	Ca	K	Mg
余剰汚泥	278	65.5	78.6	68.8
重力濃縮汚泥	247	273	65.5	58.8

○ 100:0    ▲ 100:1    □ 100:5    ◆ 100:10    × 酢酸ナトリウム

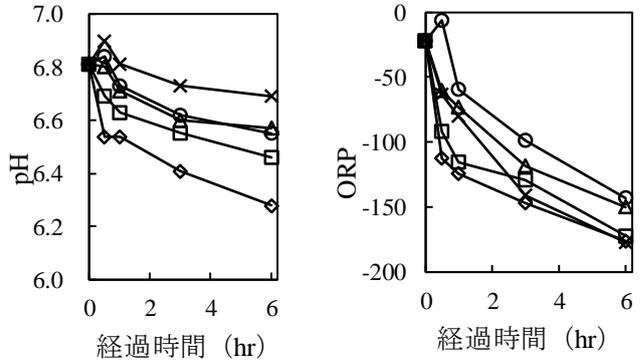


図-2 pH と ORP の経時変化

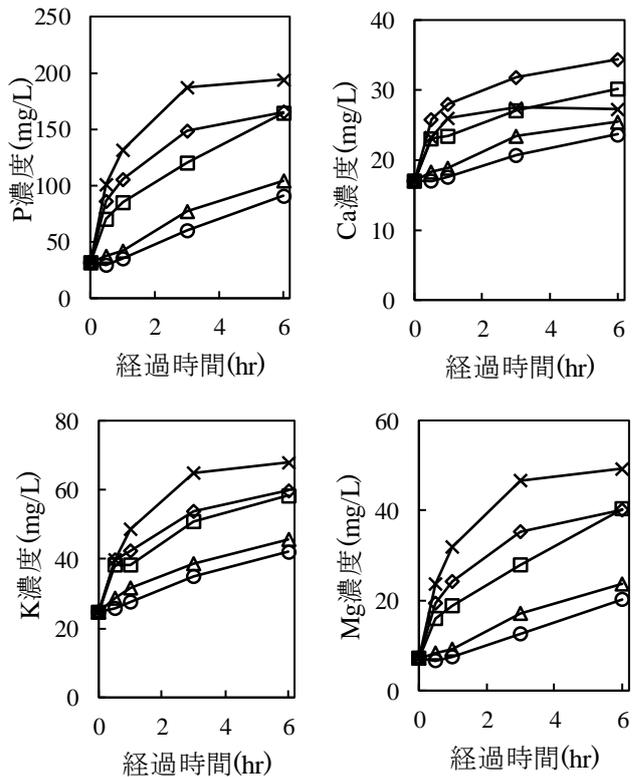


図-3 P、Ca、K、Mg の溶出濃度の時間変化

表-2 電気透析前後の各元素類の濃度 (mg/L)

	時間 (hr)	供給槽				時間 (hr)	濃縮槽		
		供給	陽	陰			供給	陽	陰
P	0	117	0	0	K	0	39.3	12.6	11.4
	3	20	307	393		3	11.1	155	111
Ca	0	32.7	4.0	4.7	Mg	0	29.3	2.5	2.8
	3	3.7	36.8	49.5		3	2.2	54.5	61.5