

平成 22 年度

修士論文

小型合併浄化槽における水質浄化に関する研究
A study on purification of waste water tank

県立広島大学大学院 総合学術研究科 生命システム科学専攻
0923004 岩垣 隼人

目次

緒論	1
1. 目的	
2. 研究の背景	
2.1 小型合併浄化槽の意義	
2.2 小型合併浄化槽の課題	
第1章 サカマキガイと使用した小型合併浄化槽	3
1.1 サカマキガイの生態について	
1.2 浄化槽とサカマキガイ	
1.3 サカマキガイ侵入経路の検討	
1.3.1 サカマキガイと水質の関係	
1.3.2 既往のサカマキガイ駆除法	
1.4 リン除去について	
1.4.1 リン除去の現状	
1.4.2 高価な既存リン除去装置	
1.4.3 太陽光パネルを使用する意義	
1.4.4 使用した太陽光パネルの仕様	
第2章 研究方法	10
2.1 サカマキガイ駆除法の選択	
2.2 還元剤の種類	
2.3 サカマキガイの死滅実験	
2.4 活性汚泥の影響実験	
2.5 浄化槽の水質調査方法	
2.6 鉄電極について	
2.6.1 リン酸と鉄イオンの反応	
2.6.2 必要な電気量 (クーロン) の算出	
2.6.3 必要な鉄電極面積の容量について	
2.6.4 太陽光パネル使用の意義	
2.6.5 調査対象浄化槽の構造	
2.7 水質分析方法	
第3章 実験結果及び考察	25
3.1 サカマキガイ死滅実験結果	
3.1.1 還元剤による溶存酸素低下の確認	
3.1.2 還元剤によるサカマキガイの試験結果	
3.1.3 pH の影響	
3.1.4 Na_2SO_4 による影響	
3.1.5 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ による影響	
3.1.6 生物膜に与える影響	
3.1.7 これまでの結論	

3.2	リン低減実験結果及び考察	
3.2.1	鉄イオン溶解の確認試験	
3.2.2	リン等低減予備実験	
3.2.3	実装置での実験結果及び考察	
第4章	結論	59
4.1	サカマキガイの駆除について	
4.2	太陽光パネルを用いたリン低減について	
参考文献		60
謝辞		61

緒論

1. 目的

第一の目的は、小型合併浄化槽では、サカマキガイが浄化槽内に異常に発生することがあり、処理水質の悪化の原因と考えられているため、これを環境に影響を与えないように除去することである。

第二の目的は、富栄養化の原因物質の一つである処理水中のリンの除去について、リン酸鉄として太陽光パネルを使用して安価に除去する方法を確立することである。

2 研究の背景

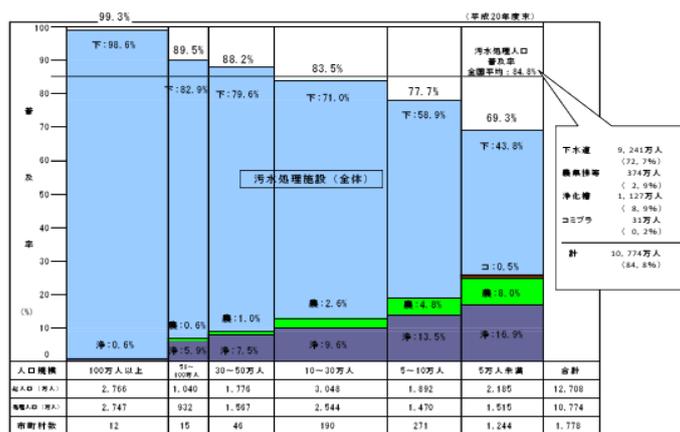
2.1 小型合併浄化槽の意義

環境省の報告によると、図1に示されているように平成21年度末における污水処理施設に係る普及人口は10,890万人で普及率は85.7%で、このうち浄化槽の普及人口は1,124万人で普及率は8.84%であった。今後、下水道の普及率は増加することが予想されているが、それは人口5万人以上の都市周辺が中心であり、人口の少ない中山間部においては、今後とも小型合併浄化槽の普及増加が予想されている。小型浄化槽の水質保全に対する役割は下水道と比較して次のような大きな特徴がある。

- 1) 下水道事業に比較して短期間に使用開始できる。したがって、地域の水環境の改善がすぐ期待できる。
- 2) 下水道が計画されていない地域について実施可能な処理施設である。
- 3) 自治体の負担が軽減できる。

したがって、今後も広島県のような中山間地域の占める割合が大きい地域では、小型合併浄化槽の意義はますます重要な環境保全施設となるものと考えら

○都市規模別污水処理人口普及率



(注) 1. 総町村数1,778の内訳は、市 784、町 802、村 192 (東京区部は市に含む)
 2. 総人口・処理人口は1万人未満を四捨五入した。
 3. 都市規模別の各污水処理施設の普及率が0.5%未満の数値は表記していないため、合計値と内訳が一致しないことがある。

れる。

図1. 都市規模別污水処理人口

2.2 小型合併浄化槽の課題

しかし、小型合併浄化槽については、次のような課題もある。

- 1) 小型合併浄化槽の保守管理を怠ると、機能が低下し汚水が十分に浄化されない恐れがある。
- 2) 小型合併浄化槽のリン除去などの高度処理は難しい。

富栄養化物質の窒素については、新設の小型合併浄化槽には、脱窒装置が設置されており、処理水中の窒素濃度は十分に低い（T-N：10mg/L以下）値であると言える。しかし、リンについて、リン除去装置は多くの場合、設置されていないのが現状である。

第1章 サカマキガイと使用した小型合併浄化槽

1.1 サカマキガイの生態について

逆巻貝（以後：サカマキガイ）（学名：*Physa acuta*）は、動物界軟体動物門腹足綱有肺目サカマキガイ科に属する動物である。（写真1,2参照）

殻は卵形、薄質、角褐色。左巻きで6階層からなる。体層は非常に大きく、螺塔は小さい。殻口は半月形で、外層は多少厚くなり湾曲している。

原産地は北米説とヨーロッパ説があり、定まっていないのが現状である。日本には、水槽の汚れ取りのために輸入したものが野生化したと考えられている。



写真 1. モノアラガイ（左）とサカマキガイ（右）の比較

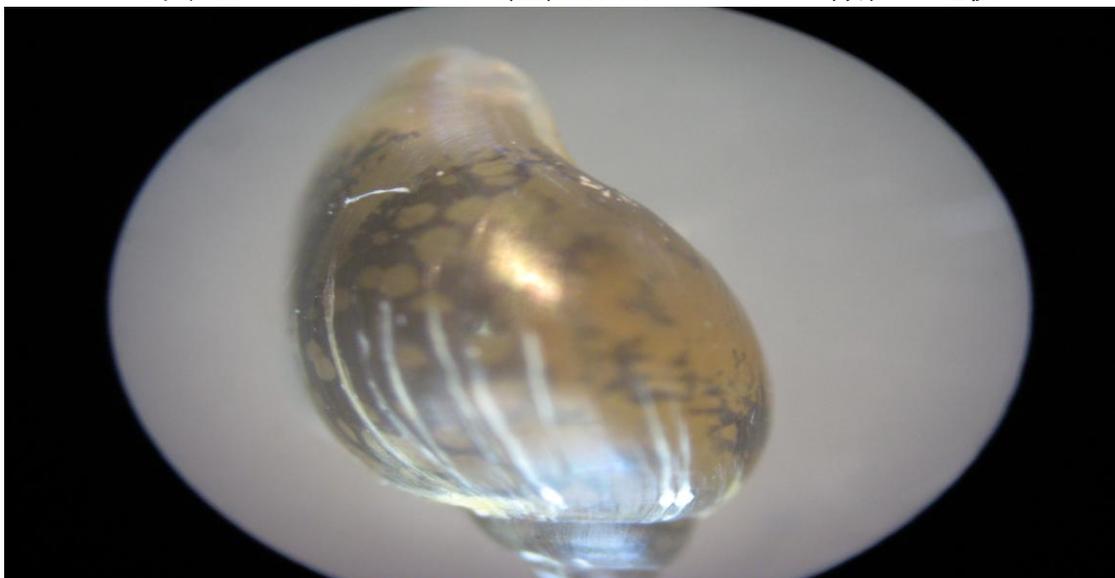


写真 2. サカマキガイを顕微鏡で撮影した写真

1.2 浄化槽とサカマキガイ

サカマキガイが小型合併浄化槽に増殖した状態を写真3に示した。冬期には水温が低いため、小型合併浄化槽に多く見られないが、水温が高くなる春から

夏にかけて写真 3 に見られように異常に増殖する。このように異常に増殖すると、処理水質だけではなく、定期的に除去する汚泥除去ポンプにも機械的トラブルを与えることがある。



写真 3. 浄化槽内で増殖したサカマキガイの様子

1.3 サカマキガイ侵入経路の検討

サカマキガイが小型合併浄化槽に侵入する経路が問題である。写真 3 に示した小型合併浄化槽は庄原市内にある民家に設置されたものであるが、小型合併浄化槽に入る上水は井戸水と水道水である。したがって、これらからサカマキガイが小型合併浄化槽に入ることは考えられない。次に考えられることは、浄化槽汚泥を抜いた後、補給する水である。通常、補給水は河川水で行うことが多い。この民家も西城川のある地点の水を取水して補給していた。写真 4,5 に西城川の水を採水する地点を示した。浄化槽を維持管理する業者によると、補給水はいつもこの地点から採水しているとのことであった。7月に河川を調査したが、サカマキガイの稚貝や成貝の生息は確認できなかった。

さらに小型合併浄化槽の排水口からさかのぼって、小型合併浄化槽に侵入することが予想される。しかし、これについても構造上、段差があるため水路を溯上することは、困難ではないかと考えられた。

以上からサカマキガイがどこから小型合併浄化槽に侵入するか現在不明である。なお、このことについて広島県浄化槽協会に問い合わせたところ、侵入経路については不明とのことであった。



写真 4. 浄化槽の補給水採水場所



写真 5. 浄化槽内の補給水採水場所（その 2）

1.3.1 サカマキガイと水質の関係

サカマキガイが小型合併浄化槽の水質に与える影響を定量的に調査した報告は見当たらない。サカマキガイは小型合併浄化槽の好気槽にのみ存在している（写真 3 参照）。この好気槽は生物膜装置であるが、サカマキガイは排水中の有機物を分解する生物膜を餌として摂取していることから水質に悪影響を与えていることは明らかである。サカマキガイは雑食であり、キャベツやニンジンなどの野菜くずも旺盛に餌とすることを実験室で確認している。したがって、サカマキガイは生物膜だけでなく、生物分解できなかった固形有機物なども餌（写真 6,7 参照）にするものと考えられる。



写真 6. 浄化槽内の固形有機物に群がるサカマキガイ



写真 7. 浄化槽内の固定有機物を食べるサカマキガイ (その 2)

1.3.2 既往のサカマキガイ駆除法

サカマキガイの駆除に硫酸を使用しているところがある (写真 8 参照)。硫酸 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) は水によく溶け、溶解するとアンモニウムイオンが生成する。アンモニウムイオンは一般に生物に対して毒性が強く、魚類に対しては数 mg/L 以上で死亡する。サカマキガイの駆除はこの毒性を利用したものであるが、実際の使用例をカタログで見ると、129mg/L 程度となる (理論計算上、pH4.7 程度に相当する。)。したがって、このような高濃度のアンモニウムイオンを環境中に排出することは、生態系に悪影響を与える恐れがある。



写真 8. 浄化槽内のサカマキガイを硫酸で除去する様子

1.4 リン除去について

1.4.1 リン除去の現状

小型合併浄化槽から排出される処理水中のリン濃度は、2~3mg/L 程度である。これに対し下水処理水中のリン濃度は、リン対策が行われている場合、1mg/L 以下である。このような現状から小型合併浄化槽の処理水からリン濃度を低減することは水環境保全の観点から重要であるが、とりわけ中山間地域に多い小型合併浄化槽は上流域に位置するのでその意義は大きいことになる。

排水中からリンの除去には、化学的方法や生物的方法など多くの方法が存在する。しかし、小型合併浄化槽では下水処理場で多く適用されている生物的方法の適用は、困難なことが多い。最大の理由は、小型合併浄化槽の処理法が活性汚泥法ではないことにある。活性汚泥法におけるリン除去法は、嫌気・好気法の適用が一般的であるが、これは浄化槽を嫌気槽と好気槽の 2 つに分け、嫌気槽で活性汚泥がリンを放出し、次に好気槽で通常よりより多くのリンを吸収する性質を利用したものである。小型合併浄化槽では、多くの場合、活性汚泥法ではなく生物膜法が多い。その理由は、生物膜法は維持管理について活性汚泥法より格段に簡単だからである。

以上の理由から現在では、小型合併浄化槽のリン除去においては、化学的方法の採用が多い。中でも鉄を溶解させてリン酸鉄としてリンを除去する方法の適用が中心となっている。この方法は比較的簡単に実施できるからである。

1.4.2 高価な既存リン除去装置

既存のリン除去装置は、外部電源から微弱電流を取り込み鉄を電気分解して鉄イオンとして溶解させる方法である。この装置の価格は、15万円前後であり、中山間地域で高齢者の多い小型合併浄化槽に設置することは、事実上困難となっている。このような現状から安価な装置が必要となっている。以上のような現状から本研究において、電源を安価な太陽光パネルを使用した方法を試験し実用化実験を行うこととした。

1.4.3 太陽光パネルを使用の留意点

パネルを使用することに次のような問題点が指摘される。

1) 必要な電気量が得られるか

太陽光パネルは、昼間のみ発電するが夜間には発電しない。したがって、リンを除去するための必要な電気量が得られない可能性がある。

2) 他に影響を与えないか

鉄を電気分解して溶解する鉄イオンは 2 価鉄である。これは還元性を示すので 2 価鉄のまま流出すると、滅菌用の塩素と反応して滅菌しなくなる可能性がある。

3) 排水が着色しないか

3 価鉄は褐色の色をしているが、リン酸と反応しない過剰の水酸化鉄が生じれば、排水が着色する可能性がある。

1.4.4 使用した太陽光パネルの仕様

本研究で用いた太陽光パネルは株式会社ケー・アイ・エス社の GTS シリーズを採用した。用意した太陽光パネルは公称最大出力 13W, 23W, 及び 53W の 3 種類であるが、小型合併浄化槽では 13W と 50W のみ使用した。3 種類の仕様は表 1 に示した。

表 1.各太陽光パネルの仕様

	GT434S	GT230S	GT133S
公称最大出力 (W)	13	23	50
公称最大出力動作電流 ^{※1} (A)	0.79	1.57	3.05
公称最大出力動作電圧 ^{※2} (V)	16.4	14.4	16.4
公称短絡電流 ^{※3} (A)	0.86	1.71	3.35
公称開放電圧 ^{※4} (V)	20.5	18.1	20.5

公称最大出力動作電流^{※1}…最大電力を出力する時の出力端子の電流

公称最大出力動作電圧^{※2}…最大電力を出力する時の出力端子の電圧

公称短絡電流^{※3}…出力端子を短絡した時に流れる電流

公称開放電圧^{※4}…出力端子を開放した時にかかる電圧

第2章 研究方法

2.1 サカマキガイ駆除法の選択

サカマキガイの駆除法には、物理的方法も考えられる。これは手作業で除去するものであるが、現実には時間がかかり現実的ではない。また、浄化槽のバキュームによる除去方法も考えられるが、バキュームは年に何回も行えるものではなく、また前述したようにポンプに影響を与えるので採用は困難である。

以上から化学的方法を検討した。この方法にもサカマキガイを毒物で死滅する方法と窒息死させる方法が考えられる。前者は生物膜に悪影響を与える可能性があり、また周辺環境に与える影響からできるだけ避けることが望ましい。したがって、後者の方法を採用することとした。

サカマキガイは動物であるから少なくとも30分程度呼吸させなければ、窒素死するであろうと考えたことによる。したがって、水中の酸素濃度を還元剤によってゼロにすればよい。この場合、還元剤が生物膜に影響を与えないことが不可欠である。また、還元剤が環境に放出されてもできるだけ影響を与えないことが望まれる。

2.2 還元剤の種類

還元剤には、 NaHSO_3 及び Na_2SO_3 がある。 NaHSO_3 は、メッキ排水処理において還元剤として多く使用されている。水によく溶解し、水溶液はやや酸性となる。また、 Na_2SO_3 も還元剤としてよく使用されている。特に BOD 測定において、試料に塩素などの酸化剤が入っている場合、その還元には Na_2SO_3 を使用することが規定されている。また、 Na_2SO_3 は食品添加剤にも使用されている。

これらの還元剤の使用で重要なことは、生物膜に影響を与えないことである。

2.3 サカマキガイの死滅実験

サカマキガイの死滅実験を実施するために、以下に述べる方法で実験を行った。なお、試験には NaHSO_3 や Na_2SO_3 だけでなく、 Na_2SO_4 や $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ についても、サカマキガイに与える影響を試験した。

これらの薬品の濃度について、 NaHSO_3 溶液、 Na_2SO_3 溶液、 Na_2SO_4 溶液、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液において、0~50mM まで、段階的に (0、1、2、5、10、20、50mM) 溶液を作成して使用した (表 2 参照)。

試験に用いたサカマキガイは各薬品濃度において 10 匹を BOD 培養瓶 (写真 8,9 参照) に入れ試験した。サカマキガイを入れた各 BOD 培養瓶には、それぞれの溶液を溢れるまで注ぎ蓋をした。したがって、各 BOD 培養瓶中のそれぞれの溶液の酸素濃度は大気から遮断されているため、大気中の酸素が入り込むことはないことになる。

表 2. サカマキガイ耐性実験の条件設定

化学薬品	Na ₂ SO ₃ Na ₂ SO ₄ NaHSO ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄
使用器具	BOD 培養瓶 (密栓容器として用いた。)
濃度	50mM、20mM、10mM、5mM、2mM、 0mM (BG)
サカマキガイ	10 匹
密栓時間	30 分

その後、30 分間静置し、サカマキガイの生死を判定した。30 分間で死亡の確認を行う理由は、サカマキガイは大型の動物であるから少なくとも 30 間、酸素呼吸できなければ死滅するであろうと考えたことによる。さらに実用化の立場から長時間にわたり作業時間がかかることは、現場作業に採用されないことによる。

生死の判定の基準は、サカマキガイの挙動で確認した。当初は、「生存」「衰弱」「死亡」の 3 段階で判定していたが、「衰弱」の定義は曖昧であると判断し、「生存」「死亡」の 2 段階とした。なお、「衰弱」判定は、「生存」に組み込むことにした。

この実験と同時に、各種薬剤混入時に、DO 及び pH を測定した。また、NaHSO₃ 溶液の場合のみ、蒸留水に塩酸 (HCl) 及び硫酸 (H₂SO₄) を用いて、NaHSO₃ 溶液 50mM に相当する pH を調整し、pH による影響の有無も調べた。

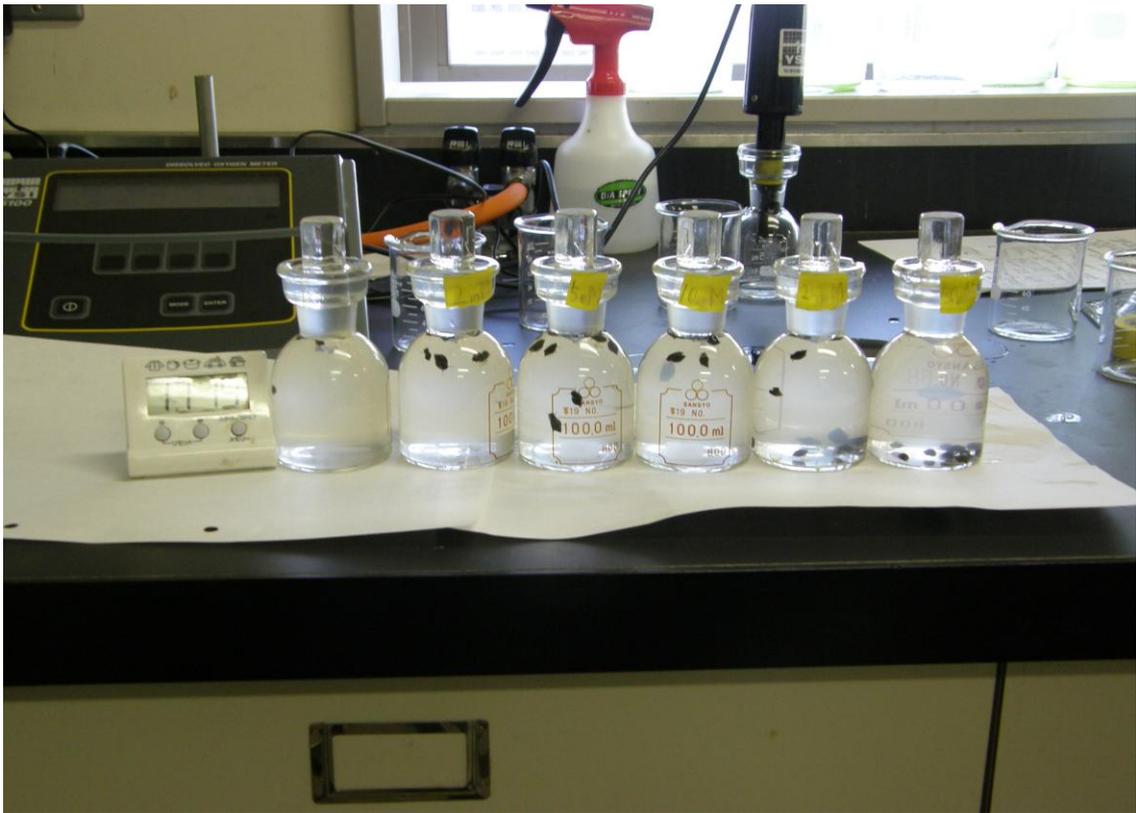


写真 9. サカマキガイの毒性実験の様子

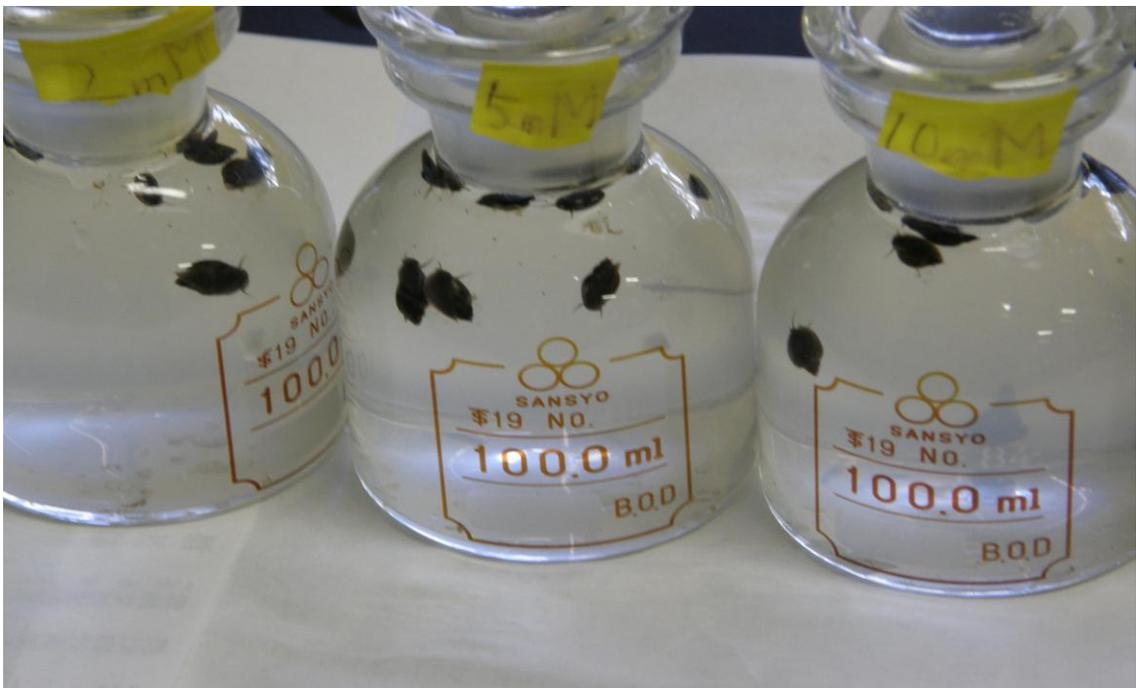


写真 10. 実験中、BOD 培養瓶から逃げ出そうとするサカマキガイ

2.4 活性汚泥の影響実験

上記の薬剤について、活性汚泥に対する影響を次のような方法で試験した。

20℃に保たれた水浴と活性汚泥を 200ml 用意し、メタノールを 2ml 混入させた（これは、活性汚泥中の微生物が餓死しないためである。）。そして、NaHSO₃ 溶液、Na₂SO₃ 溶液、Na₂SO₄ 溶液、(NH₄)₂SO₄ 溶液 50mM に相当する量を、活性汚泥に混入し、混入直後を 0 分として、累計時間が 330 分になるまで、30 分ごとに DO を測定した。これを 120 分まで続けた。その後、120 分間（累計 240 分まで）エアレーションを行った。累計 240 分経過後は、エアレーション等の操作は行わず、溶存酸素を測定する以外は完全に放置した。活性汚泥が生存していれば、溶存酸素が減少するはずである。なお、NaHSO₃ 溶液については、繰り返し実験を行った。実験の様子を写真 11,12 に示す。



写真 11. 活性汚泥に薬剤を入れている様子

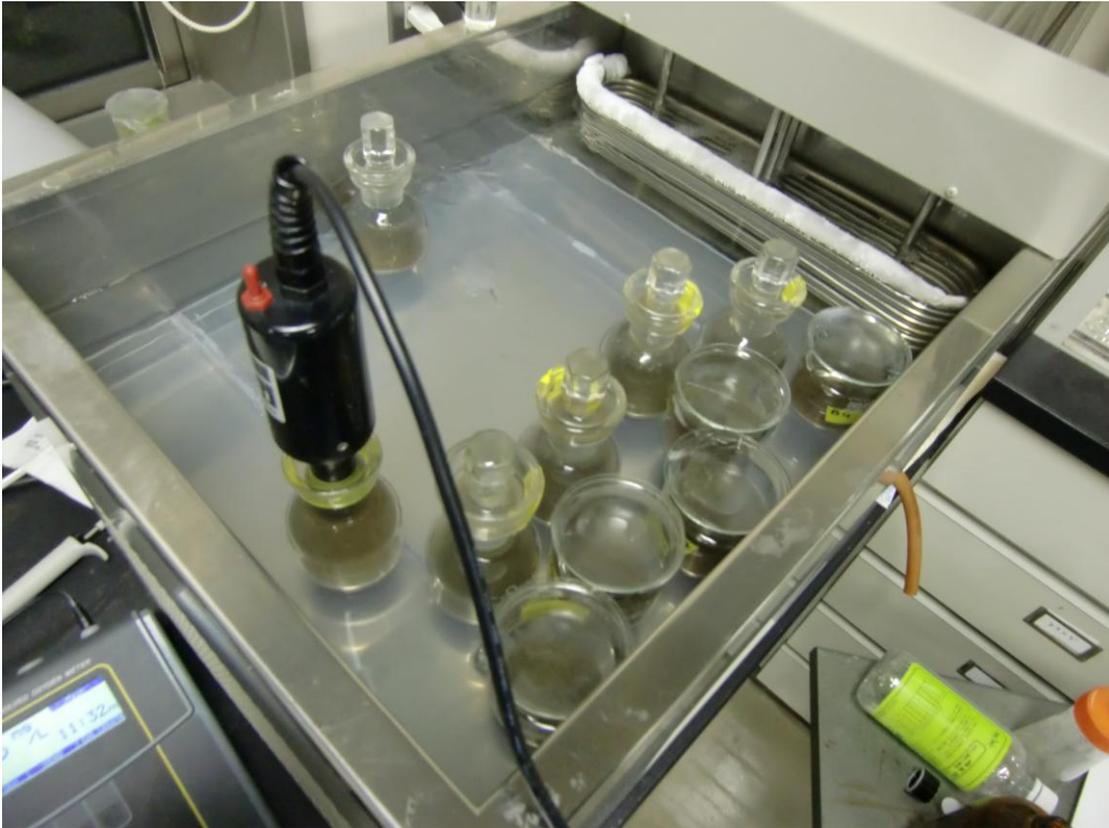


写真 12. 水浴槽で DO を計測している様子

2.5 浄化槽の水質調査方法

処理水の水質分析試料は、小型合併浄化槽の滅菌前の沈殿槽から採水した。

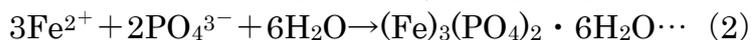
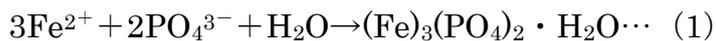
測定項目はリン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) であるが、リン酸態リン以外にも水質変化を調べるため、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、BOD、COD、鉄イオン (Fe) 濃度である。なお、BOD と COD については必要に応じて分析した。

2.6 鉄電極について

2.6.1 リン酸と鉄イオンの反応

電極の鉄板は 3 種類作成した。必要な鉄の量は次のようにして求めた。

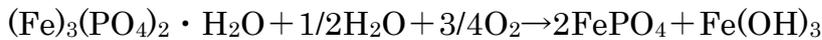
まず、鉄とリン酸イオンの反応は次のとおりである。鉄は 2 価で電気分解され、エアレーションで酸化され 3 価となる。しかし、リン濃度が極めて高く、十分 2 価鉄に対して存在するときは、次のような反応をする。



(1) の 1 水和物は暗緑色の沈殿で、(2) の 6 水和物は白色の沈殿物である。浄化槽の場合はリン濃度が極めて低いので、次の反応が進行する。



時間をかけて Fe^{2+} が Fe^{3+} に酸化されるために次のような反応が進行し、安定なリン酸鉄 (III) となる。



となる。

2.6.2 必要な電気量 (クーロン) の算出

次に、必要な鉄の溶出量を算出した。算出方法はクーロンの法則を利用した。これは、電気分解により溶出する金属の物質量は、電流及び時間 (秒) に比例し、金属イオンの価数に反比例する法則である。先述したように、クーロンの法則による電気量は電流発生量に依存するので、各電極での電流値を算出することが必要となる。

小型合併浄化槽の処理水中のリン濃度は 2.5mg/l とする。本研究に使用した小型合併浄化槽を設置している家庭は 4 人家族であるので、約 1000l /日の水を使用する計算となる。したがって、一日のリンの量は、 2.5g ($=2.5 \times 1000\text{mg}/1000\text{l}$) である。リン酸イオンと鉄イオンのモル比率は 1:1 なのでリンの物質量が、そのまま必要とされる鉄の物質量となる。

リンのモル数はリンの原子量が 31 なので $(2.5/31) \div 0.08\text{mol}$ であり、クーロンに換算すると、 $96500 \times 0.080 \times 2$ (価) $\div 15500$ クーロンとなる。

したがって、以下に述べる各電極が 15500 クーロンの電気量を太陽パネルで生成できることが必要となる。

2.6.3 必要な鉄電極面積の必要量について

使用した鉄電極の面積が必要量を上回っていることを次のように算出して確認した。

鉄電解量の算出方法を以下に示す。まずは第一段階として、1 組における電極間の抵抗値を算出する。電極間の抵抗値は以下の式によって算出される。

$$\Omega_1 = L / (S \times \mu)$$

ただし、 Ω_1 : 1 組当たりの電極間の抵抗、 L : 電極の間隔 (m)、 S : 電極の面積 (m^2)、 μ : 溶液 (接触ばっ気槽) の抵抗 (電気伝導度の逆数) である。

次に、 Ω_1 を算出後、電極の組数 n で割った値が、各電極の合成抵抗値 Ω_T となる。 Ω_T 算出後、 V (電圧) は既知であるので、オームの法則により、電流値 I (アンペア) を算出する。算出された電流値 I より、クーロンの法則を用いて、溶解すべき鉄の物質量を算出する。

電流が流れる時間 (秒) は 8 時間に想定しているため、 28800 ($60 \times 60 \times 8$) 秒と設定した。

電極 A~C の仕様を表 3 に記した。

2.6.4 太陽光パネル使用の意義

鉄電極の溶解電源に太陽光パネルを使用する。家庭電源を使用しない理由は次のとおりである。

- 1) 電源が安易に得られること。
- 2) 家庭の 100V から電源を得ると、直流変換や変圧器などの装置が必要で高価

(10万円以上)であること。太陽光パネルの費用はそれに比較すると数千円から数万円であり、今後さらに低価格になることが予想されること。

なお、夜間では発電しないため1日で必要な鉄イオン量を溶解することができるかの問題点がある。

2.6.5 調査対象浄化槽の構造

調査のために用いた浄化槽はいずれも株式会社クボタ社製の浄化槽であり、HY(5)型とHS-P(5)型である。一般的な家庭用浄化槽では、5人槽・7人槽・10人槽の3種類があるのであるが、今回研究のために利用した浄化槽はいずれも5人槽である。

(1) HY(5)型

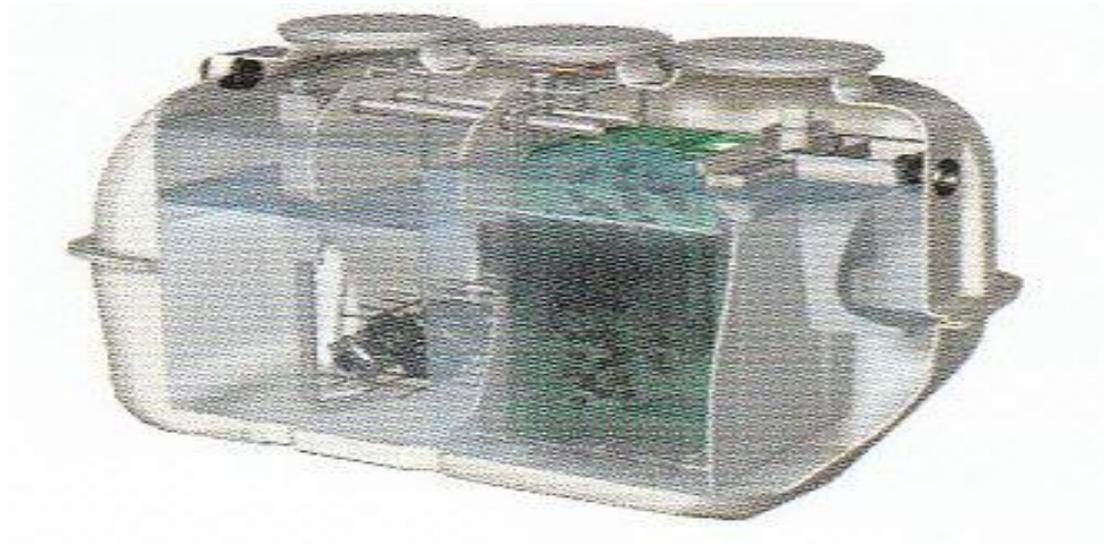


図2. クボタ社製浄化槽 HY型 断面図

表 3. 電極 A～C の仕様

実施期間	2010年5月5日～同年5月8日 (期間 A)	2010年6月9日～同年7月12日 (期間 B)	2010年7月13日～同年10月18日 (期間 C)
電極の種類	電極 A	電極 B	電極 C
太陽光パネル	50W	50W	50W,13W
クーロン (C)	26208 (>15500)	79780 (>15500)	77760 (>15500)
備考	予備実験 (時間の都合上、詳細は割愛。)	電極間が塞がってしまい、継続は困難と判断。	9月25日以降、50W より安価な13W の太陽光パネルを使用。

● 構造図

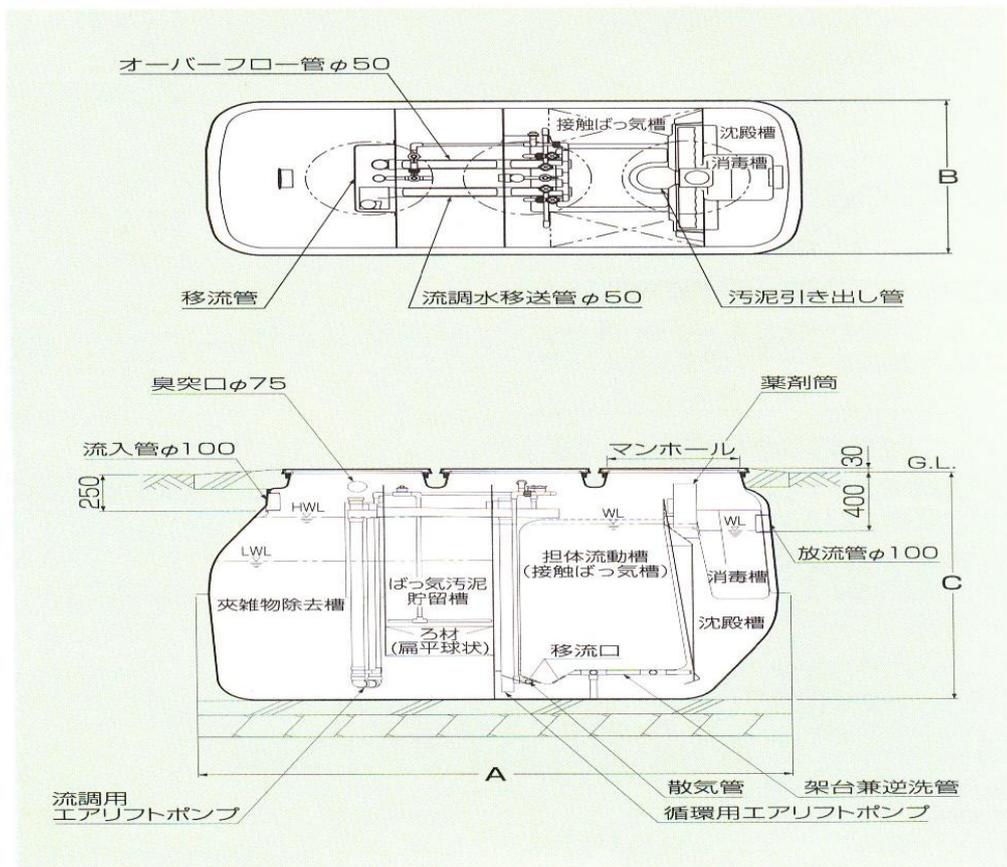


図 3. クボタ社製浄化槽 HY型 構造図

1) 浄化槽の概要

装置の模式図（断面図及び構造図）を図 2,3 に記した。

安定処理を実現する担体流動方式+接触ばっ気方式の 2 段処理を採用。一次処理槽内にもばっ気部を設けることで、従来コンパクト型に比べて好気性処理部の容量を約 4 倍にアップし、槽内の浄化バランスを最適化した。さらに、二次処理槽の容量も従来型の約 3 倍に増加。より安定した処理を実現しているという特徴がある。

この浄化槽の流れを説明する。流入してきた汚水は流量調整部に送られ（風呂や洗濯などの急激な流入を抑える役割がある。）、まずは夾雑物除去槽で、夾雑物を除去する。

ここの汚水はエアリフトポンプで、一定量が担体流動槽に送られ、接触ばっ気槽で好気処理が行われる。ここで生じた汚泥の一部は循環用エアリフトで、ばっ気汚泥貯留槽に送られる。また、好気処理された汚水の一部は夾雑物除去槽に送られ、脱窒等の嫌気性処理が行われる。接触ばっ気槽を経た汚水は沈殿槽を経てトリクロロイソシアヌール酸で消毒され、浄化槽外に排出される。

2) 処理方式：流量調整型担体流動ばっ気方式

3) 計画処理対象人員：5 人

4) 計画汚水量：1.0 m³/日

1 日 1 人当たり汚水量：200L/（人・日）

5) 流入汚水水質及び処理目標

	流入水 (mg/L)	放流水 (mg/L)	除去率 (%)
BOD	200	20	90

6)

各槽容量 (5 人槽)

① 流量調整部

a) 設計基準：日平均汚水量の 6 時間分に相当する容量以上とする。

b) 必要容量：1.0 m³/日 × 6/24
= 0.250 m³

c) 実有効容量：0.268 m³

② 一次処理槽（夾雑物除去槽+ばっ気汚泥貯留槽）

a) 設計基準：下記算定式の容量以上とする。

$$V = 1.0 + 0.2 \times (n - 5)$$

n：人槽（人）

b) 必要容量：1.000 m³

c) 実有効容量：1.051 m³

（有効容量は流量調整部の水位変動幅の中間水位とする。）

③ 夾雑物除去槽

a) 設計基準：日平均汚水量の 12 時間分に相当する容量以上とする。

b) 必要容量： $1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 12/24$
 $=0.5000 \text{ m}^3$

c) 実有効容量： 0.631 m^3

④ ばっ気汚泥貯留槽

i) ばっ気部

a) 設計基準：二次処理槽からの循環水 BOD を基準とした BOD 容積負荷が $0.2\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以下となるような容量以上とする。

(循環水 BOD を $30\text{mg}/\text{L}$ 、循環比を 2 とする。)

b) 必要容量： $1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 0.003 \times 2/0.2$
 $=0.300 \text{ m}^3$

c) 実有効容量： $V_1=0.315 \text{ m}^3$

ii) 汚泥貯留部

a) 設計基準：有効容量は、一次処理槽の必要容量から、夾雑物除去槽およびばっ気汚泥貯留槽「ばっ気部」の有効容量を差し引いた容量以上とする。

b) 必要容量： 0.054 m^3

c) 実有効容量： $V_2=0.105 \text{ m}^3$

iii) ばっ気汚泥貯留槽

a) 実有効容量： $V_1+V_2=0.420 \text{ m}^3$

b) ろ材充填量： 0.077 m^3

c) 18.4%

⑤ 担体流動槽

a) 設計基準：BOD 容積負荷が $1.0\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{日})$ 以下となるような容量以上にする。

b) 必要容量： $1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 0.2\text{kg}/\text{m}^3/1.0\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{日})$
 $=0.200 \text{ m}^3$

c) 実有効容量： 0.251 m^3

d) 担体充填量： 0.076 m^3

e) 担体充填率：30.3%

⑥ 接触ばっ気槽

a) 設定基準：担体流動槽を含めた二次処理槽（好気性微生物処理）の BOD 容積負荷が $0.3\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{日})$ 以下となるような容量以上とする。

b) 必要容量： $1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 0.2\text{kg}/\text{m}^3/0.3\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{日}) - 0.200 \text{ m}^3$
 $=0.667 \text{ m}^3 - 0.200 \text{ m}^3$
 $=0.467 \text{ m}^3$

c) 実有効容量： 0.595 m^3

d) 接触材充填率 41.1%

f) 吐出風量： $80\text{L}/\text{分}$

g) 二次処理槽のばっ気強度： $80\text{L}/\text{分} \times 60 \text{ 分}/\text{時} \times 10^{-3}/0.846 \text{ m}^3$

$$=5.7 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$$

h) 二次処理槽の BOD 容積負荷：

$$\begin{aligned} \text{流入 BOD 量} &: 1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 200\text{mg/L} \times 10^{-3} \\ &= 0.2\text{kg}/\text{日} \end{aligned}$$

ゆえに

$$\begin{aligned} \text{BOD 容積負荷} &= 0.2\text{kg}/\text{日} \div 0.846 \text{ m}^3 \\ &= 0.236\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日} \end{aligned}$$

⑦ 沈殿槽

a) 設計基準：日平均汚水量の 4.5 時間分に相当する容量以上

$$\begin{aligned} \text{b) 必要容量} &: 1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 4.5/24 \\ &= 0.188 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{c) 実有効容量} : 0.234 \text{ m}^3$$

⑧ 消毒槽

a) 設計基準：下記算定式の容量以上とする。

$$V = 0.2n \times 1/24 \times 1/4$$

n：人槽（人）

$$\text{b) 必要容量} : 0.010 \text{ m}^3$$

$$\text{c) 実有効容量} : 0.025 \text{ m}^3$$

⑨ 合計槽容量：2.156 m³

機器設備仕様

7) ブロワ

a) 台数：1 台

b) 型式：電磁フリーピストン式または電磁ダイヤフラム式

c) 能力：80L/分

d) 出力 86W/80W（50/60Hz）

e) 口径 φ 18mm

(2) HS - P (5) 型

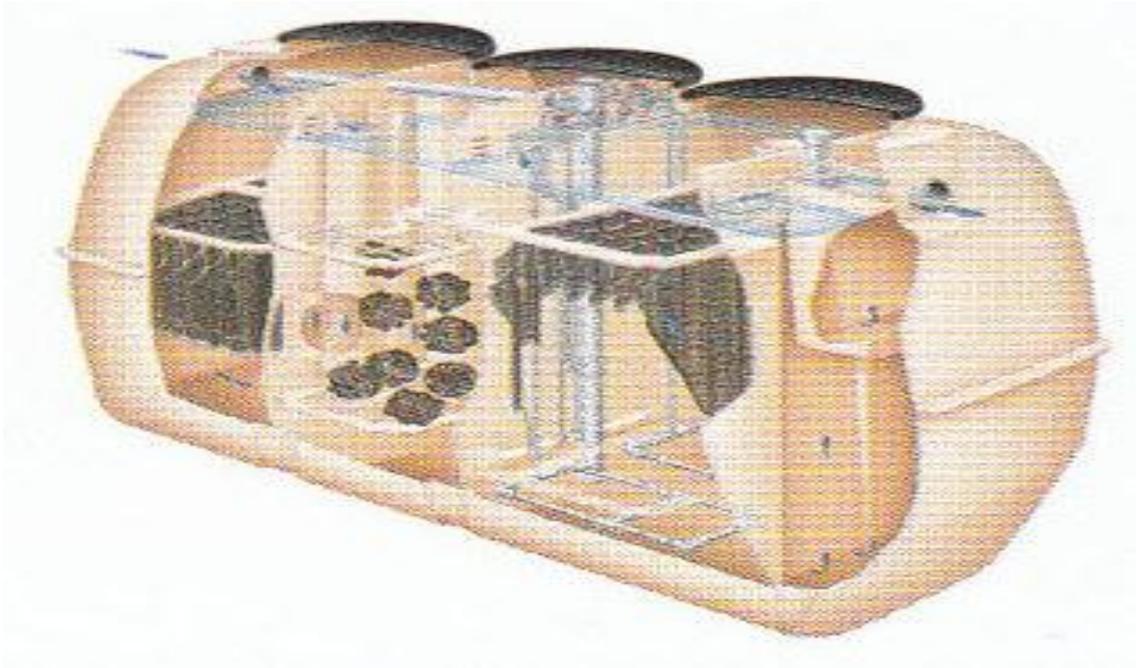


図 4. クボタ社製浄化槽 HS-P型 5人槽 断面図

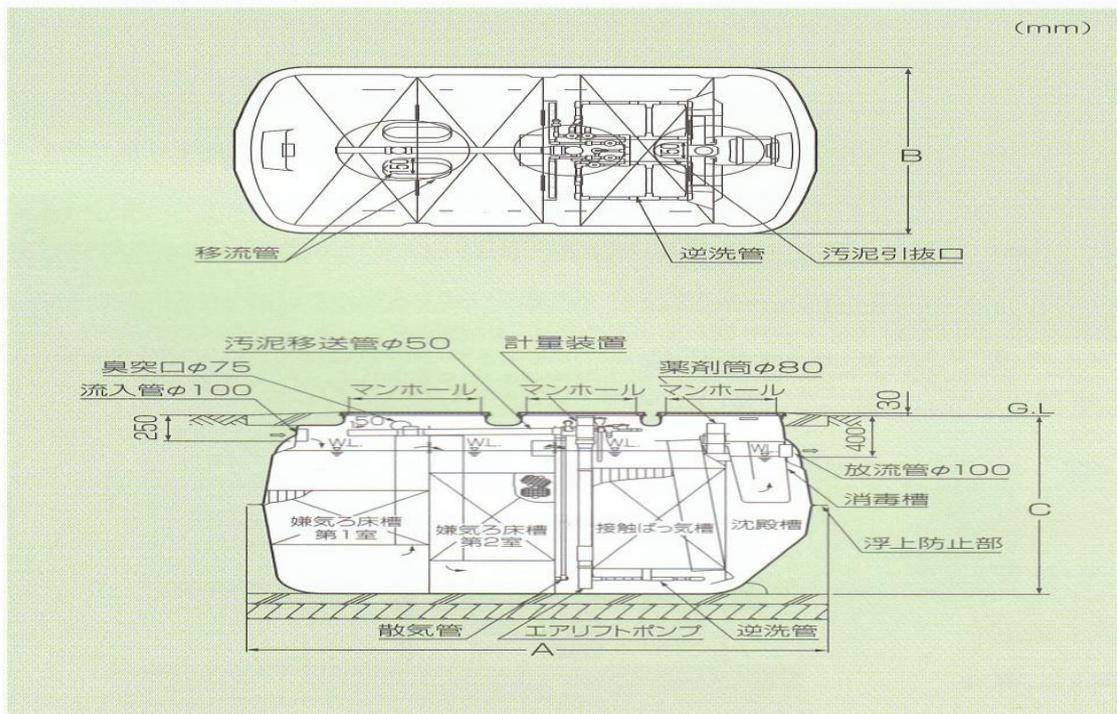


図 5. クボタ社製浄化槽 HS-P型 5人槽 構造図

1) 浄化槽の概要

装置の模式図（断面図及び構造図）を図 4,5 に記した。

処理が安定する嫌気・好気サイクリックシステムを採用しており、計量装置付エアリフトポンプで、循環水量の安定性を確保している。また、散気管、

逆洗管 2 系列バルブ操作など、維持管理が容易で確実なことが特徴である。

- 2) 処理方式：建設省告示第 1292 号の第 1 第五による
嫌気濾床接触ばっ気方式である。
- 3) 計画処理対象人員：5 人
- 4) 1 日 1 人当たり汚水量：200L/人・日
- 5) 流入汚水水質及び処理目標

	流入水 (mg/L)	放流水 (mg/L)	除去率 (%)
BOD	200	20	90

※ 本汚水処理装置には、薬品、薬剤、放射線排水及び、重金属類はすべて法規に基づいて、別途処理するものとし、一切混入させないものとする。

6) 各槽の設計計画

各槽容量 (5 人槽)

嫌気濾床槽 構造基準より

必要全容量： $V=1.5 \text{ m}^3$

① a) 第 1 室

必要容量：必要全容量の $1/2 \sim 2/3$ とする。

$$1.5 \text{ m}^3 \times 1/2 \sim 2/3 = 0.75 \sim 1.0 \text{ m}^3$$

実有効容量： 0.907 m^3

濾材充填量： 0.3674 m^3

濾材充填率： $0.3674/0.907 \times 100 = 40.5\%$

② b) 第 2 室

必要容量： $1.5 - 0.907 = 0.593 \text{ m}^3$

実有効容量： 0.610 m^3

濾材充填量： 0.3674 m^3

濾材充填率： $0.3674/0.610 \times 100 = 60.2\%$

嫌気濾床槽全有効量： 1.517 m^3

③ 接触ばっ気槽

a) 必要容量： $V=1.0 \text{ m}^3$

b) 実有効容量： 1.009 m^3

c) 接触材充填量： 0.5599 m^3

d) 接触材充填率： $0.5599/1.009 \times 100 = 55.5\%$

e) 吐出風量： $60\text{L}/\text{分}$

f) ばっ気強度： $60\text{L}/\text{分} \times 60 \text{分}/\text{時} \times 10^{-3} \times /1.009 \text{ m}^3$
 $= 3.6 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{時}$

g) BOD 容積負荷：

流入 BOD 量： $1.0 \text{ m}^3/\text{日} \times 200\text{mg}/\text{L} \times 10^{-3}$

$$=0.20\text{kg/日}$$

ゆえに

$$\begin{aligned}\text{BOD 容積負荷} &= 0.20\text{kg/日} \div 1.009 \text{ m}^3 \\ &= 0.198\text{kg/m}^3 \cdot \text{日}\end{aligned}$$

⑤ 沈殿槽

- a) 必要容量 : $V=0.3 \text{ m}^3$
- b) 実有効容量 : 0.308 m^3

7) 消毒槽

塩素との接触時間が日平均流入汚水量の 15 分以上必要であることから :

- a) 必要容量 : $V \geq 0.2n \times 1/24 \times 1/4 \text{ m}^3$ (n : 処理対象人員)
 $\geq 2.09 \times 5 \times 10^{-3}$
 $= 0.011 \text{ m}^3$
- b) 実有効容量 : 0.025 m^3

合計槽容量 : 2.862 m^3

機器設備仕様

ブロワ

- a) 台数 : 1 台
- b) 型式 : 電磁ダイヤグラム式又はフリーピストン式
- c) 能力 : 60L/分
- d) 出力 : 64W/60W (50/60Hz)
- e) $\phi 18\text{mm}$

2.7 水質分析方法

PO₄-P、NO₃-N 及び NH₄-N について、イオンクロマトグラフ法で分析を行ったが、イオンクロマトグラフ法の測定は、主に鉄電極を使用しない試料に使用した。この理由は、試料に鉄イオンが多いと、イオンクロマトグラフにトラブルが発生するからである。

鉄電極の影響のある試料は、鉄イオンも含め、携帯用多項目迅速水質分析計 (DR/2400 型) で行った。(写真 13 参照)



写真 13. 携帯用多項目水質分析計

第3章 実験結果及び考察

3.1 サカマキガイ死滅実験結果

3.1.1 還元剤による溶存酸素低下の確認

Na_2SO_3 による実験を写真9に示した。 Na_2SO_3 のモル数が10mMで溶存酸素濃度が1mg/L程度に低下した。理論的には次のような計算から大過剰の添加となっている。

BOD培養瓶の容積100ml中の溶存酸素量(mg)

$$\text{溶存酸素濃度 } 8\text{mg/L} \times 100\text{ml} = 0.8\text{mg}$$

Na_2SO_3 と溶存酸素との反応は次のとおりである。



Na_2SO_3 が10mMであれば、酸素は5mMであるから質量では $5 \times 32\text{mg} = 160\text{mg}$ となる。すなわち、容積100mlでは奪う溶存酸素量は16mgとなるから0.8mgと比較すると、20倍もの過剰な Na_2SO_3 を添加したことになる。 Na_2SO_3 が10mM以上の濃度でも溶存酸素濃度が1mg/L以下に低下していない。この理由は、溶存酸素濃度が低下すると、 Na_2SO_3 との反応速度が低下したことによるものと考えられた。

NaHSO_3 による溶存酸素低下(図7参照)についても10mMの添加で0.8mg/L程度に低下しているが、この添加量は、約理論上の30倍の大過剰となる。この濃度以上でも溶存酸素濃度はゼロになっていないが、同様に溶存酸素濃度が低下すると、 NaHSO_3 との反応速度が低下したことによるものと考えられた。

なお、 Na_2SO_4 や $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を添加してBOD培養瓶についても、溶存酸素濃度を計測したが、溶存酸素の低下は全く認められなかった。

3.1.2 還元剤によるサカマキガイの試験結果

Na_2SO_3 による結果は図6に示した。濃度20mMでは全く死亡が認められなかったが、50mMでは、90%程度の死亡が認められた。一方、 NaHSO_4 による結果(図7参照)では、5mMの濃度から死亡するサカマキガイが現れ、50mMでは100%の死亡が確認された。この結果から同じ濃度では NaHSO_4 の方が効果的であることが推測された。

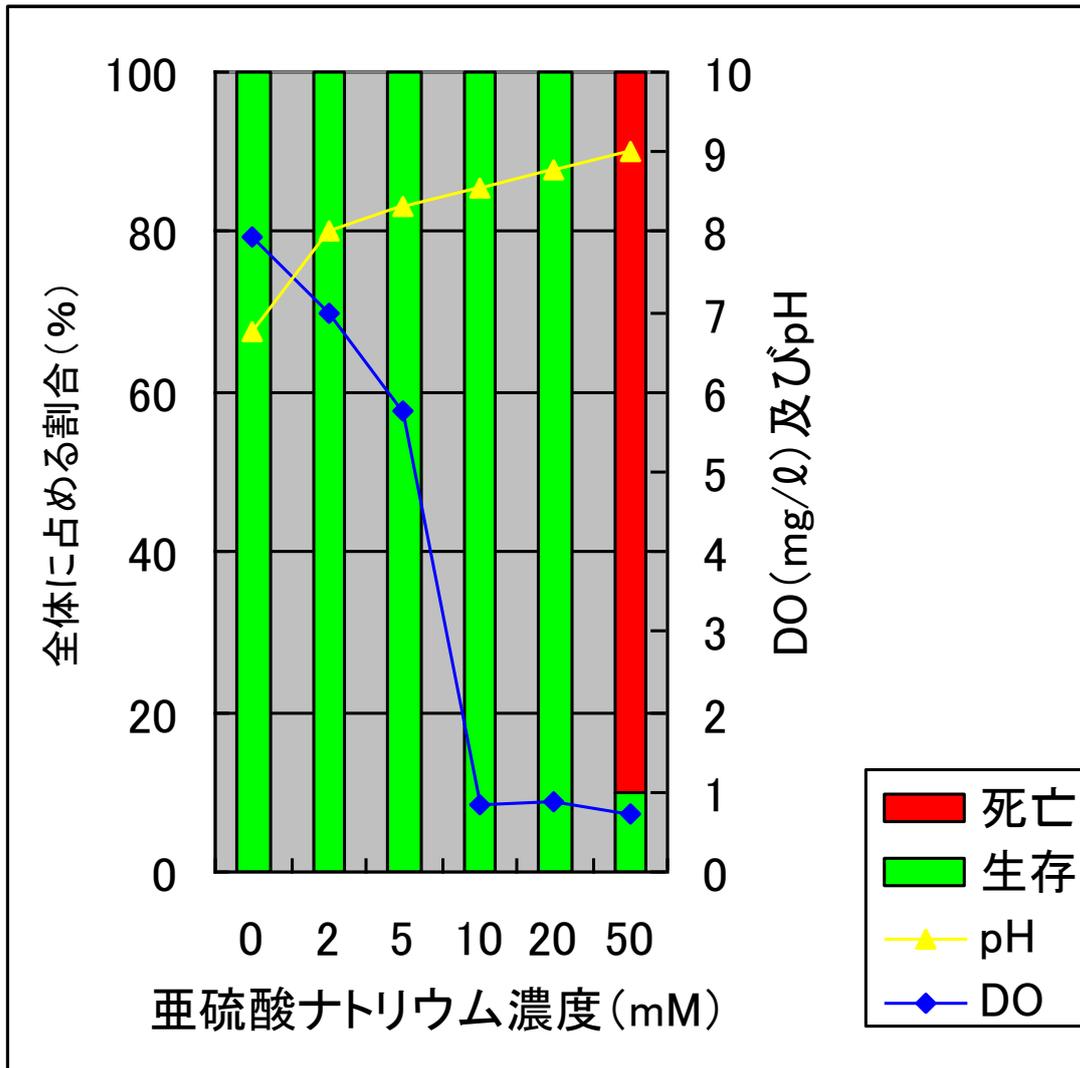


図 6. サマカキガイの死滅実験による亜硫酸ナトリウム (Na₂SO₄) の影響

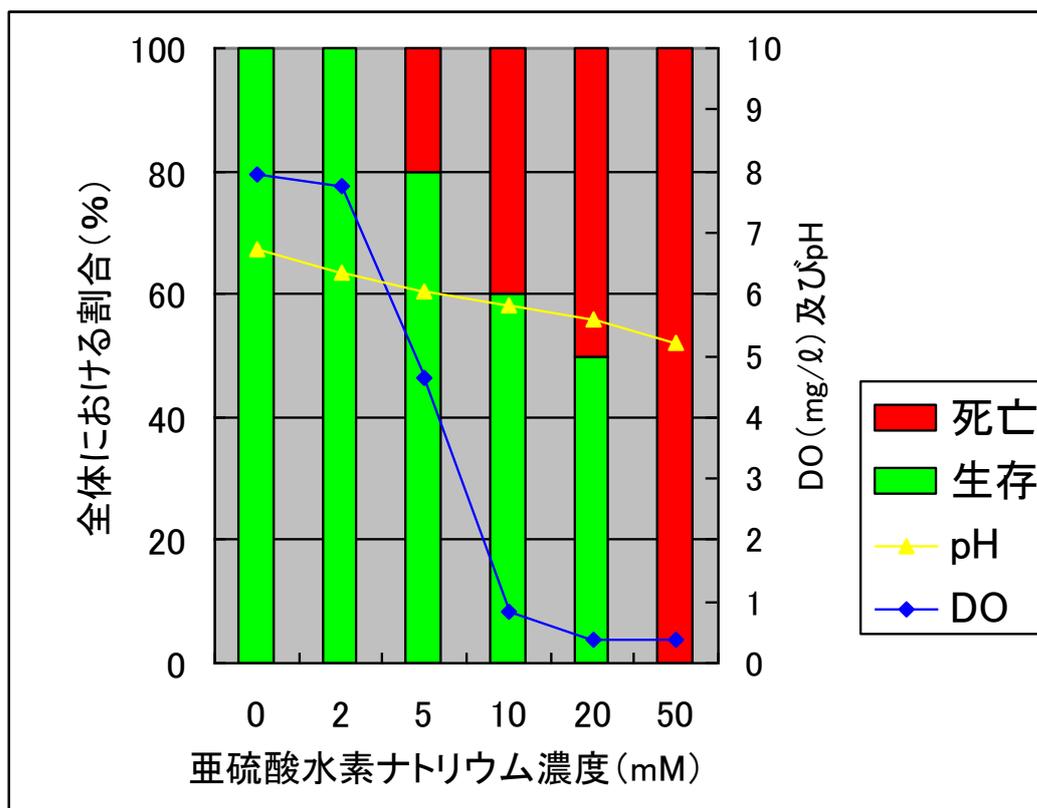


図 7. サカマキガイの死滅実験による亜硫酸水素ナトリウム (NaHSO₃) の影響

3.1.3 pH の影響

還元剤を排水処理水に添加すると、pH が変動するため、pH によるサカマキガイへの影響を検討する必要がある。Na₂SO₃ を水に溶解すると、若干アルカリ性となるが、NaHSO₃ は酸性塩であるから 50mM で pH5 程度に低下した。

H₂SO₄ で pH5 程度の溶液を作成してサカマキガイの影響を試験した様子を写真 14 に示した。また、その結果を図 8 に示した。この試験では全くサカマキガイの死亡は認められなかった。

次に HCl で pH5 程度の溶液を作成してサカマキガイの影響を試験した様子を写真 15 に示した。また、その結果を図 9 に示した。この試験でも全くサカマキガイの死亡は確認されなかった。

したがって、pH5 程度による死亡の影響は少ないと考えられた。

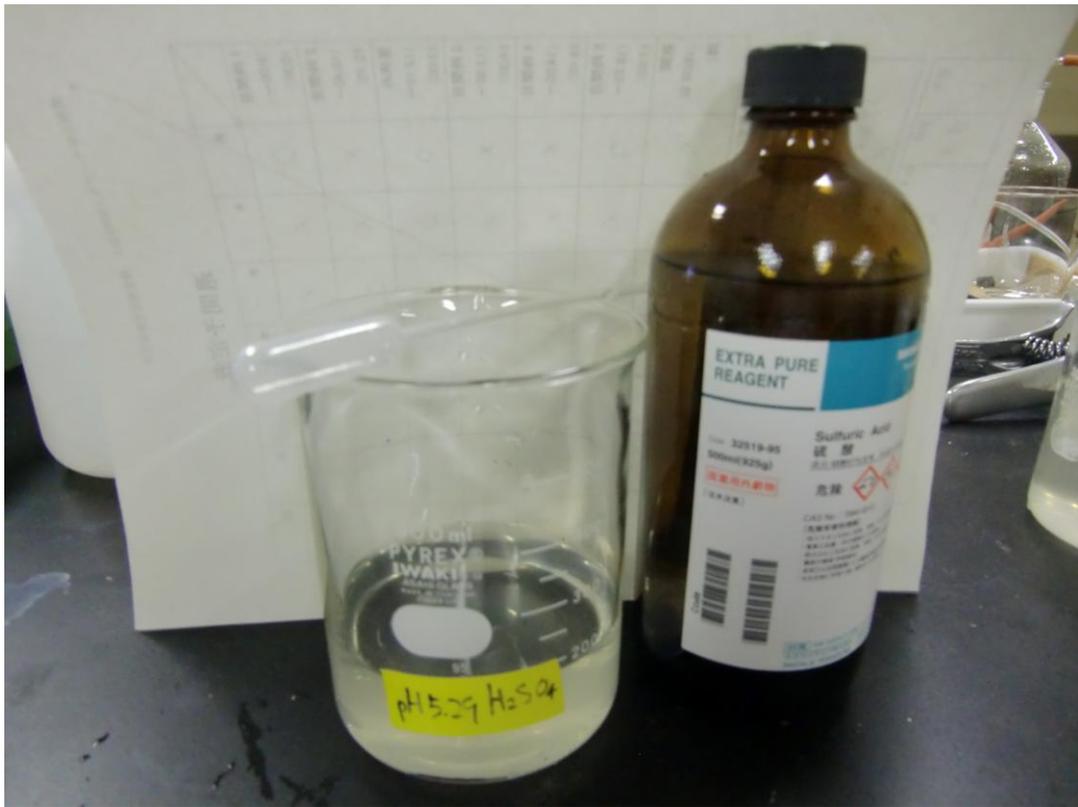
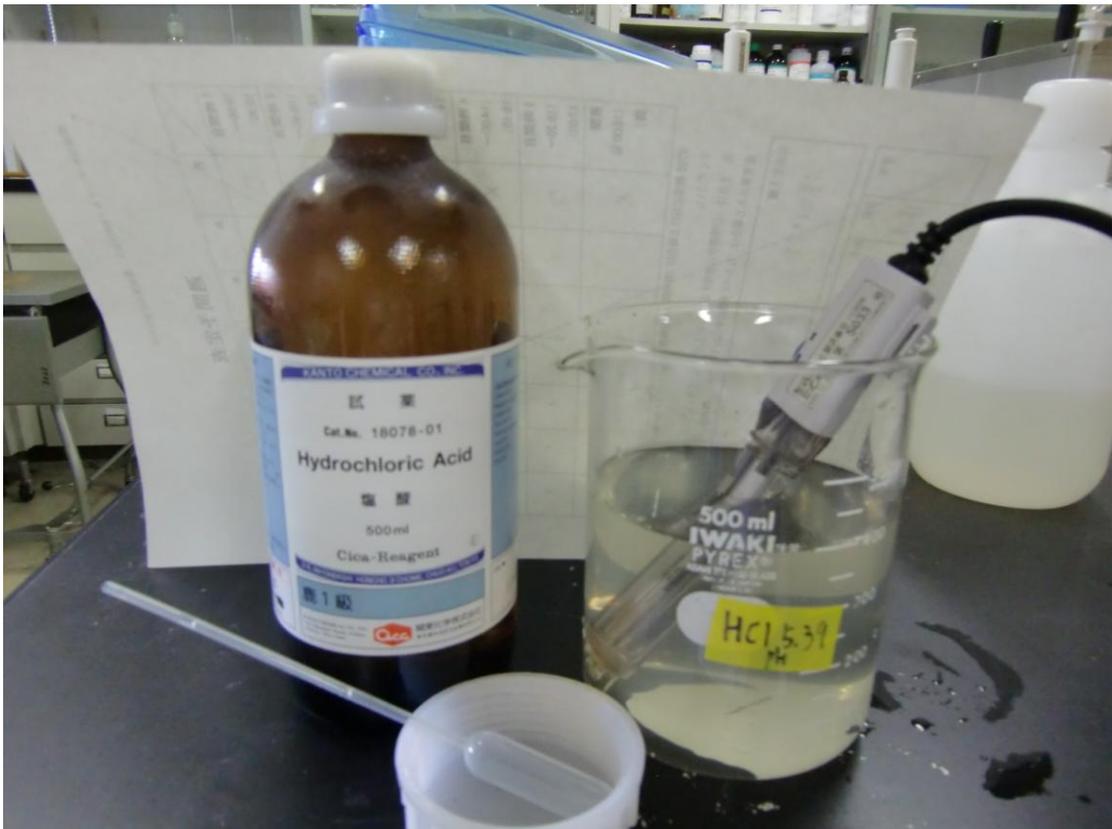


写真 14.. H_2SO_4 で pH5 程度の溶液を作成してサカマキガイの影響を試験した様子 (その 1)



写

真 15. HCl で pH5 程度の溶液を作成してサカマキガイの影響を試験した様子



写真 16. H_2SO_4 及び、 HCl を用いたサカマキガイの死滅実験

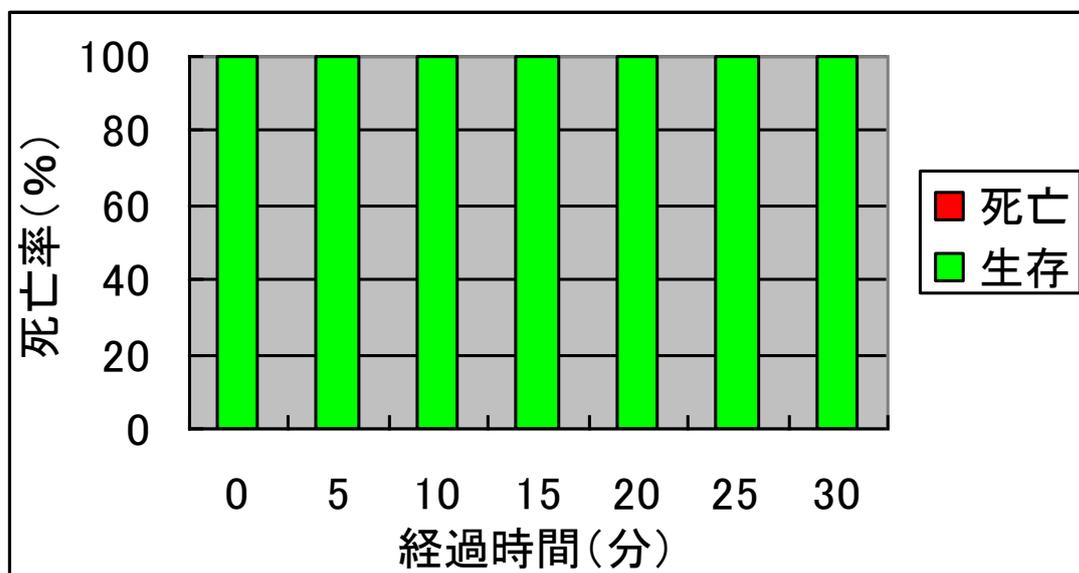


図 1. サカマキガイの死滅実験において、 H_2SO_4 で pH5 程度の溶液を調製してサカマキガイに対する影響を試験した結果 (その 1)

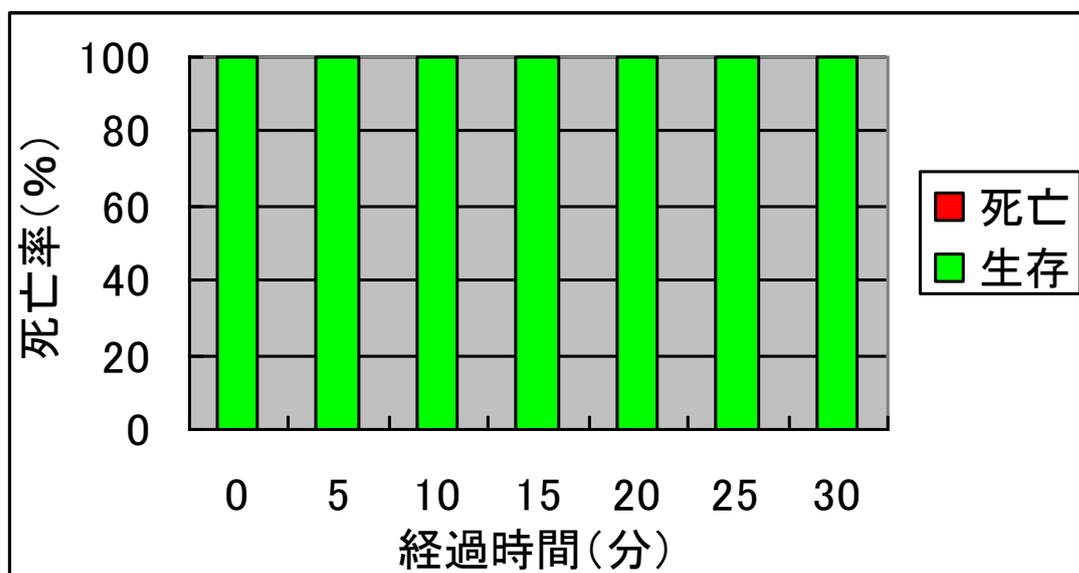


図 2. サカマキガイの死滅実験において、 HCl で pH5 程度の溶液を調製し、サカマキガイへの影響を試験した結果 (その 2)

3.1.4 Na_2SO_4 による影響

還元剤が水中の溶存酸素と反応して Na_2SO_4 が生成し、これがサカマキガイに影響を与えることが考えられたため、同様な濃度でサカマキガイに与える影響の試験をしたものを図 10 に示した。20mM では全くサカマキガイの死亡は認められなかったが、50mM では 20%程度のサカマキガイの死亡が認められた。

このことから Na_2SO_3 や NaHSO_3 によるサカマキガイの死亡は、単に酸素欠乏による死亡だけでなく、 Na_2SO_4 による死亡原因が加わったものと考えられた。

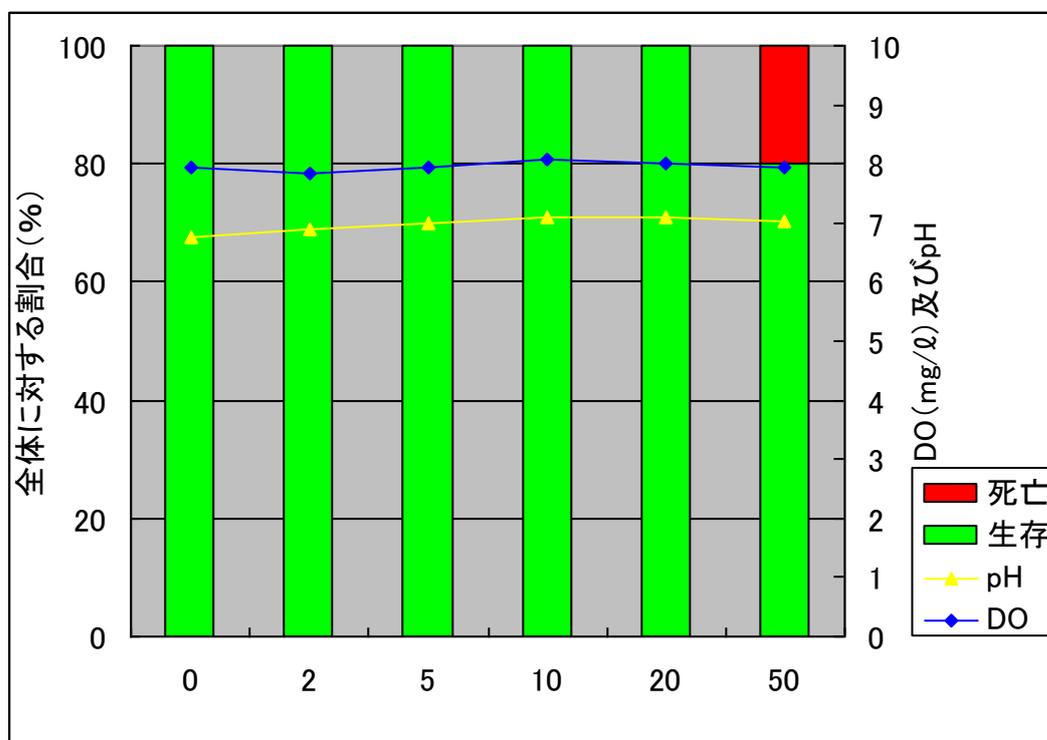


図 3. サカマキガイの死滅実験による、硫酸水素ナトリウム (Na_2SO_3) の影響

3.1.5 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ による影響

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ によるサカマキガイへの影響の試験結果を図 11~14 に示した。また、実験の様子を写真 17 に示した。実験開始後 30 分では全く死亡は認められなかった。しかし、60 分後には 20mM と 50mM で死亡が見られ始め、90 分後ではさらに死亡が拡大して 120 分後では 50mM で 100%の死亡が認められた。

しかしながら、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ は長時間経過しなければ、効果が出現しないこと、さらにアンモニウムイオンが環境中に排出されるため、環境にやさしい薬品ではないため採用は困難であると考えた。

なお、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ において、試験開始後、30 分では死亡が認められなくても、さらに長時間では死亡が認められることから、 NaHSO_3 や Na_2SO_3 の試験においても、同様ことが推察され、さらに使用薬品を減少することが可能と考えられる。

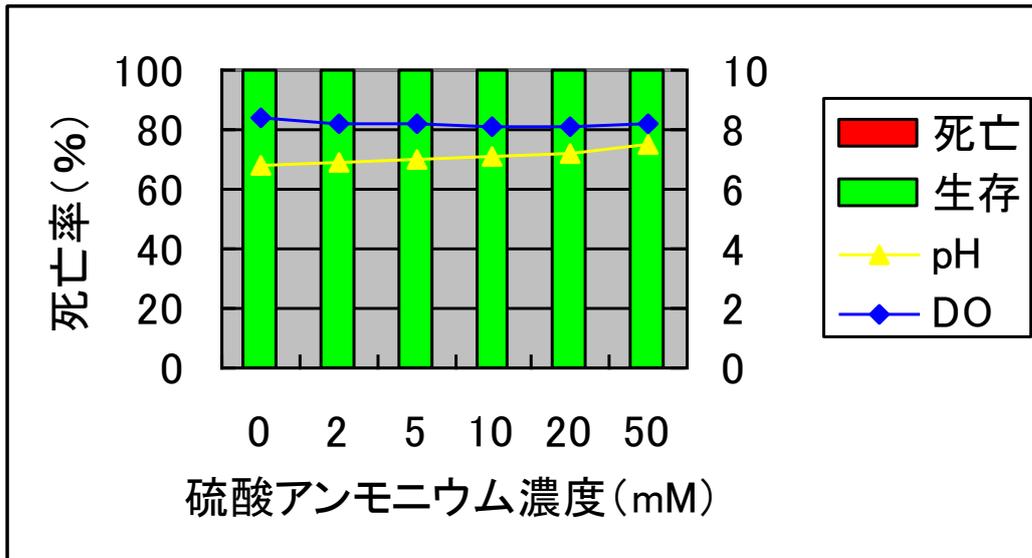


図 4. サカマキガイの死滅実験による開始 30 分における硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄) の影響

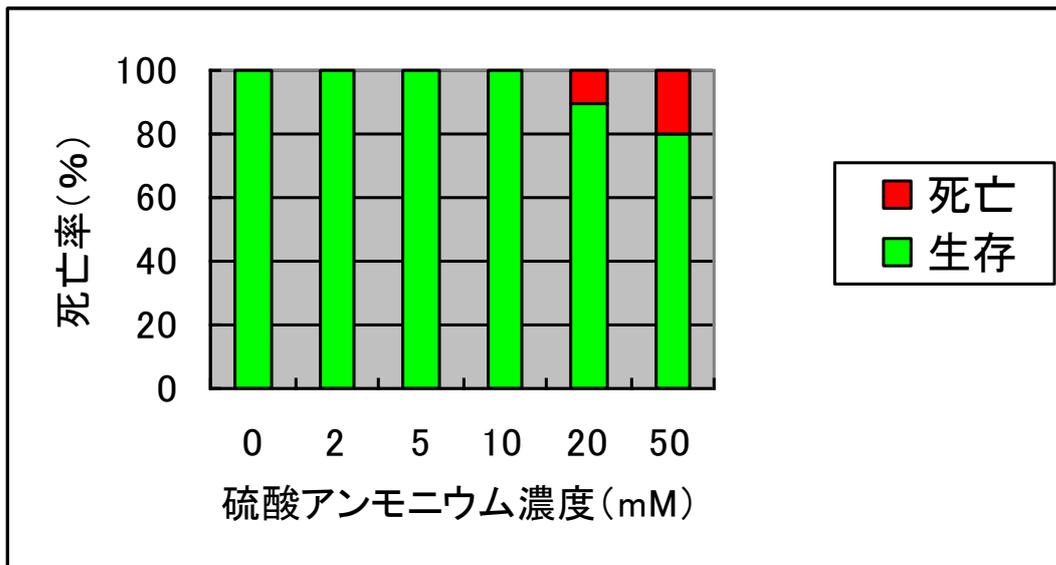


図 5. サカマキガイの死滅実験による開始 60 分における硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄) の影響

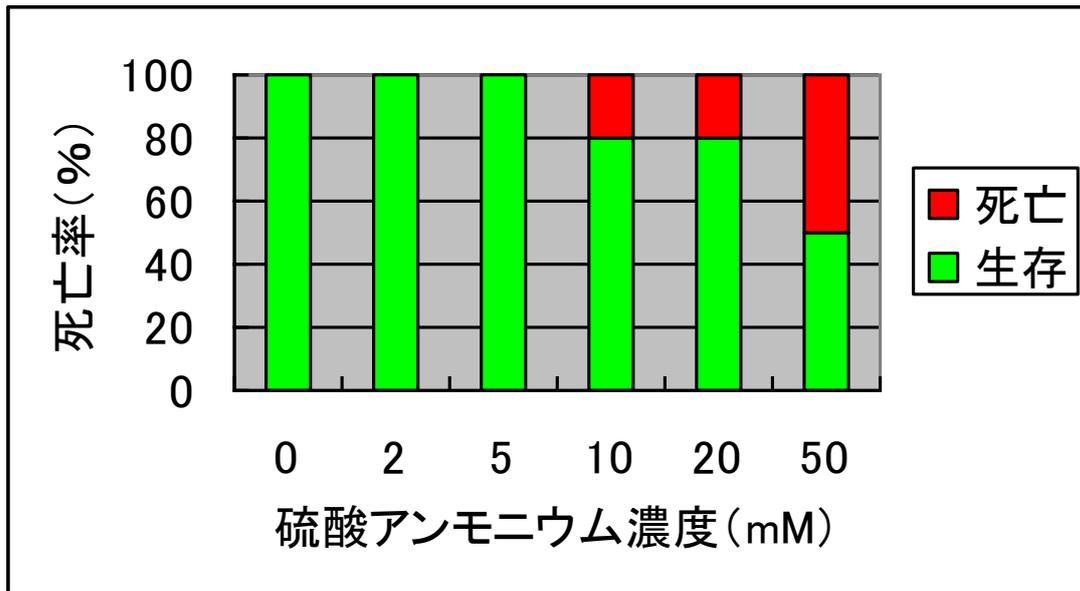


図 6. サカマキガイの死滅実験による開始 90 分における硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄) の影響

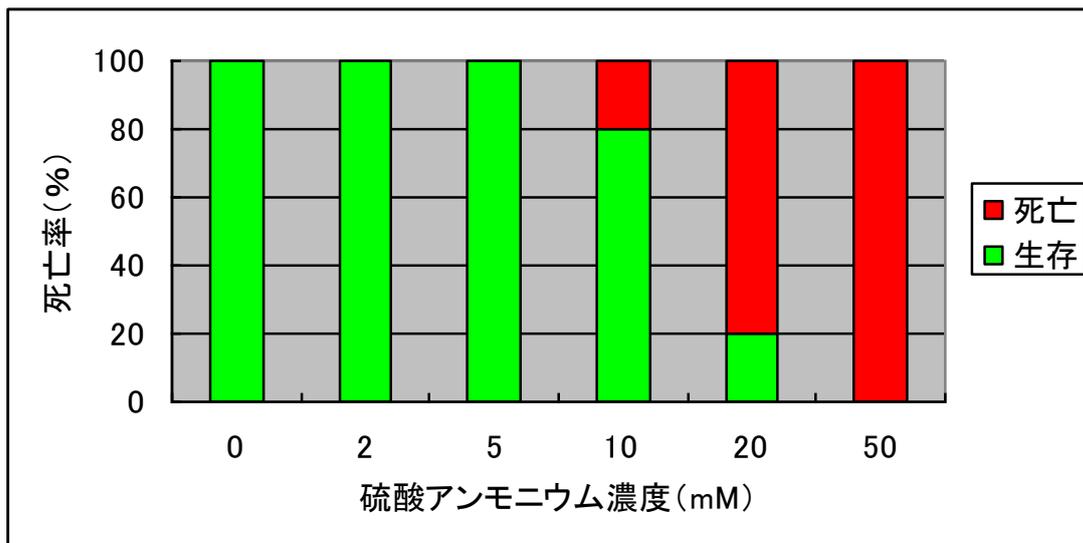


図 7. サカマキガイの死滅実験による開始 120 分における硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄) の影響



写真 17. 硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄) の実験

3.1.6 生物膜に与える影響

サカマキガイを死亡させるために 50mM の薬品 (NaHSO₃、Na₂SO₄、Na₂SO₄、(NH₄)₂SO₄) を小型合併浄化槽に添加した場合、生物膜に与える影響が懸念される。その影響を把握するため、実験が実施しやすい活性汚泥を用いて行った。

試験方法は、次のとおりである。

活性汚泥と薬品を入れた BOD 培養瓶容器密閉し 120 経過した後 (溶存酸素は低下している。)、ばっ気 (120 分間) し、溶存酸素濃度が十分高くなった時点で再び、ばっ気を停止する。続いて溶存酸素の低下を時間の経過とともに測定する。活性汚泥が薬品の影響を受けず、活性を示すならば、活性汚泥の増殖や呼吸のため溶存酸素は時間とともに低下 (60 分で約 4mg/L) するはずである。もし、死滅したならば活性汚泥は溶存酸素を必要としないため溶存酸素の低下は見られないと考えられる。

この結果を図 15 に示した。Na₂SO₄、Na₂SO₄ 及び (NH₄)₂SO₄ ではコントロール (BG) と同様な溶存酸素の低下が見られた。したがって、これらの薬品は活性汚泥に影響を与えていないことが明らかとなった。

しかし、NaHSO₄ では、急激に溶存酸素濃度の低下が見られた。この理由は、まだ溶存酸素と未反応の NaHSO₄ が存在していることを示していると考えられた。そこで、ばっ気時間を 26 時間程度行い、完全に Na₂SO₄ に酸化させて同様な実験を行ったものを図 16 に示した。この図から酸素濃度の低下は、60 分で

約 4mg/L で前述した値と同様であるから、活性汚泥に影響を与えていないことが認められたことになる。

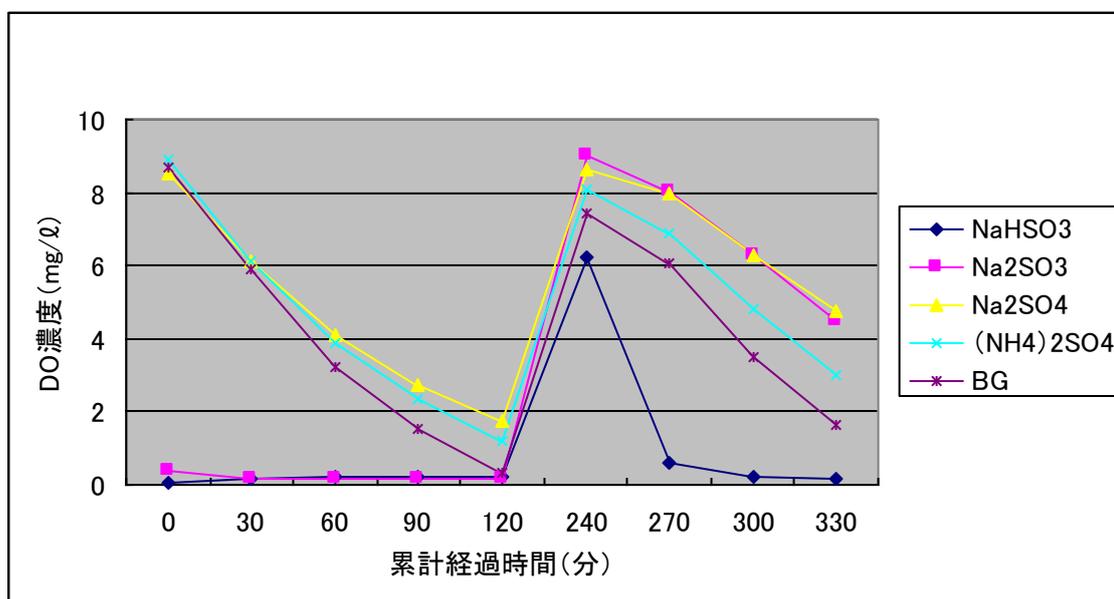


図 8. 複数の試薬を活性汚泥に 50mM 添加した場合における DO 濃度の変化

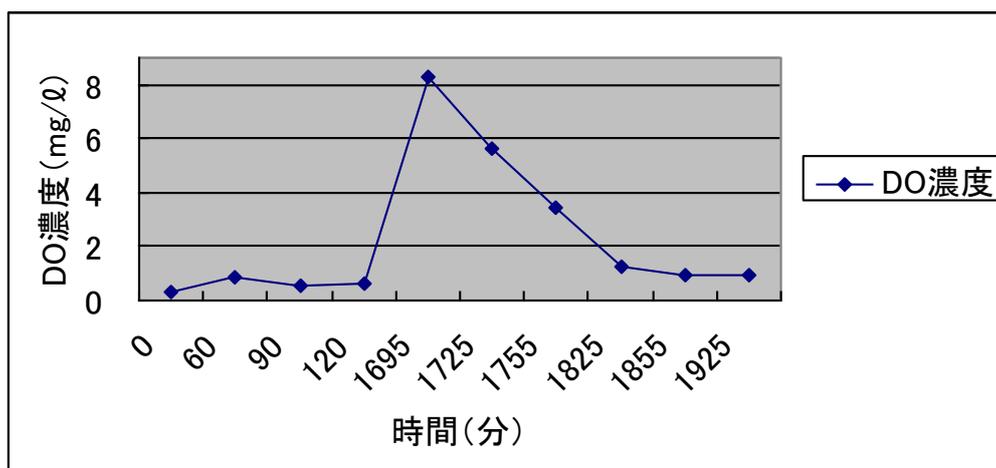


図 9. 長時間ばっ気による活性汚泥の耐性を調べる調査の調査結果

3.1.7 これまでの結論

- 1) NaHSO₃ を 50mM 程度、サカマキガイの生息する浄化槽に添加することによって、窒息死させることができる。
- 2) NaHSO₃ も 50mM 程度で窒息死させることができるが、若干生き残るサカマキガイが存在する。
- 3) これらの濃度ではいずれも活性汚泥に与える影響はない。
- 4) (NH₄)₂SO₄ では、50mM 程度で 120 分後に 100% 死滅したが、環境に与える影響が大きいと考えられ、実用化は避けるべきである。

3.2 リン低減実験結果及び考察

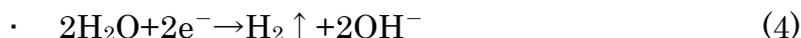
3.2.1 鉄イオン溶解の確認試験

鉄を電極にして太陽光パネルによって発電した電流を通すと、鉄イオンが流した電流に相当する電気量だけ電極から溶解するはずである。電極反応は次のとおりである。

陽極



陰極



この確認実験を写真 18 及び 19 に示すように行った。写真の容器（容量 5L）にはいずれも大学の水道水が 4 L 程度入れてあり、写真の左側の容器には、太陽光パネルの 2 つの端子に鉄の板をそれぞれ接続した。右側の容器はコントロールである。鉄電極はいずれも厚さ 0.5mm、幅 5cm、長さ 20cm である。使用した太陽パネルは、表 1 で示した GT434S を使用した。

写真 20 及び 21 から分かるように太陽光パネルを接続した左側の容器の処理水は、実験開始から 15 時間経過後に、褐色に着色したことが確認された。これは次のように水酸化第二鉄が生成したことを表し、コントロールと比較すると、その違いは明白である。なお、褐色の着色は、上式(1)において、溶出した Fe^{2+} が水中の溶存酸素と次のように反応して、不溶解性の $\text{Fe}(\text{OH})_3$ （褐色）になり析出したためである。



写真 22 には 4 日間の経過状況を示した。これはそれぞれの容器の水を見やすいように、100ml のポリエチレン容器に移し替えたものである。太陽光パネルを設置したものはさらにその褐色の程度が大きくなっている。コントロールも 3 日目には、着色していることが認められた。



写真 18. 太陽光パネルによる鉄の電気分解の実験（パネルあり・1日目）

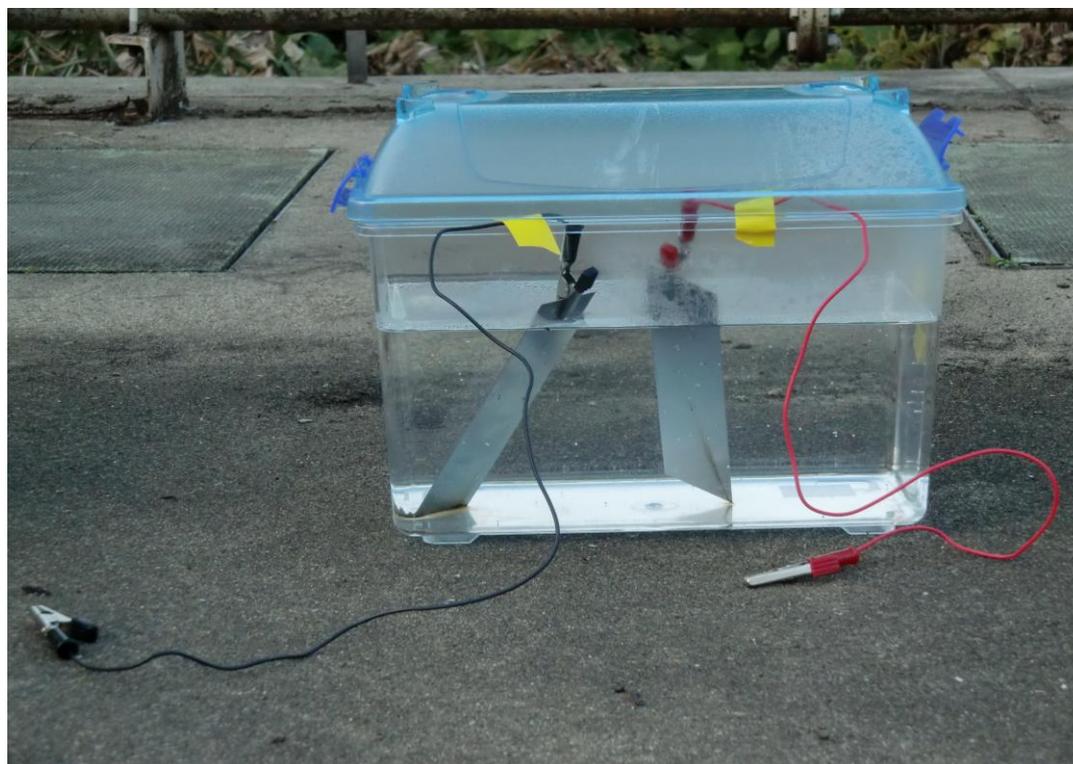


写真 19. 太陽光パネルによる鉄の電気分解の実験（パネルなし・1日目）

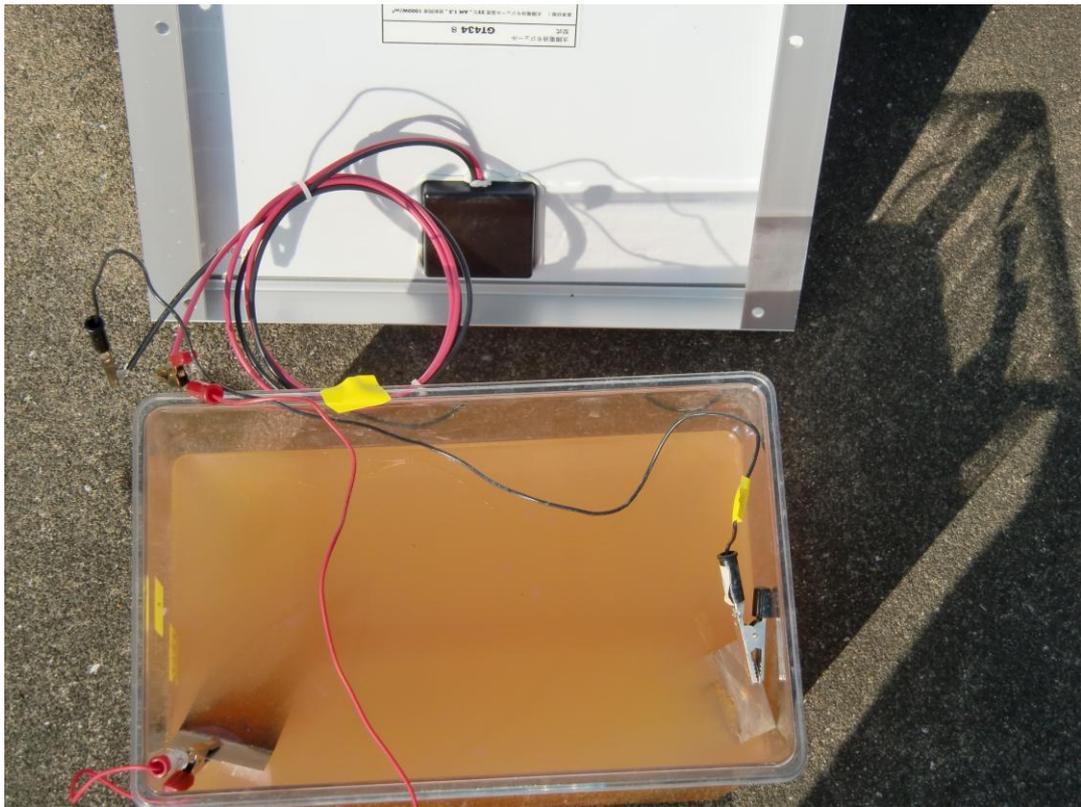


写真 20. 太陽光パネルによる鉄の電気分解の実験 (パネルあり・2日目)

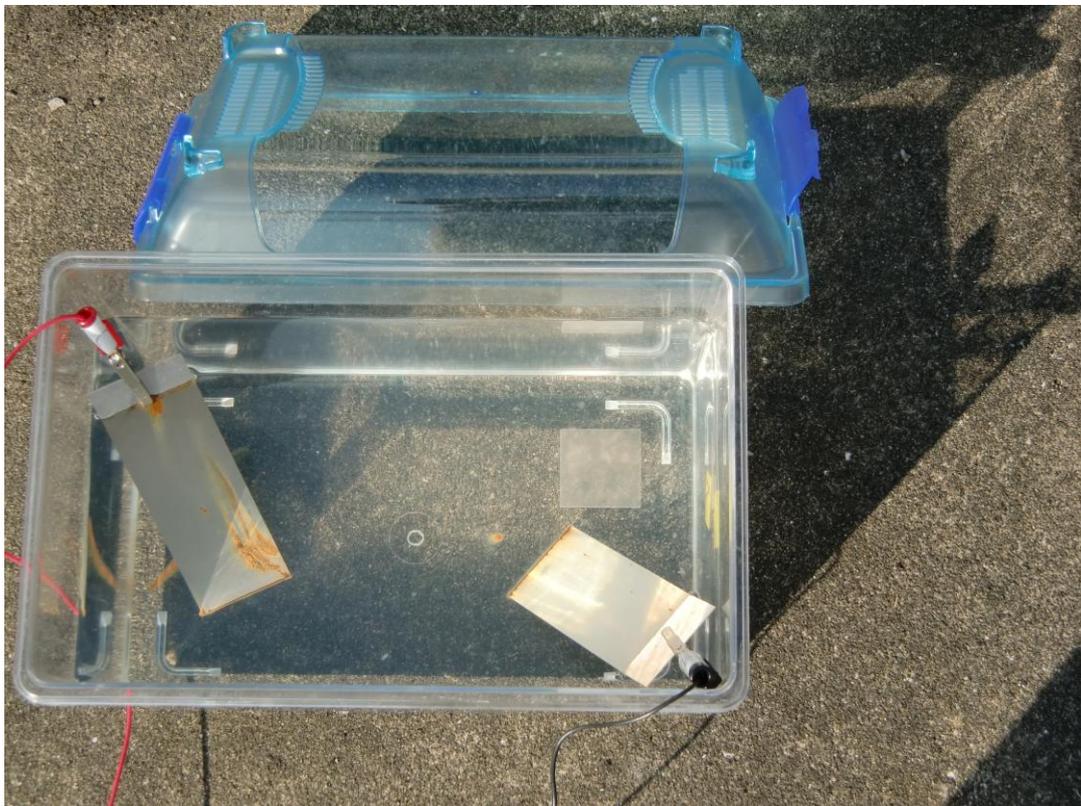


写真 21. 太陽光パネルによる鉄の電気分解の実験 (パネルあり・2日目)



写真 22. 太陽光パネルを用いた鉄板の電気分解の変化の推移

3.2.2 リン等低減予備実験

大学の処理水を使用し、上記の容器（容量 5 L）でリン等の低減予備実験を行った。その様子を写真 23 及び 24 に示した。

実験開始は 11 時 30 分であり、開始から 7 時間後の 18 : 30 分に試料を採取して、リン濃度は図 15 に示した。ろ過をしていない試料では、リン濃度の低減は認められず、むしろ増加しているが、これは誤差範囲内と考えられた。それは太陽パネルなし+鉄板（電極）ありや太陽パネルなし+鉄板なしなどでも同様にわずかに増加傾向が見られるからである。

しかし、ろ過した試料の測定値は、いずれも大幅な低下が認められた。中でも太陽光パネルを使用した場合が、極端な低下を示した。これは生成したリン酸鉄は不溶性の微粒子になっているため、これらがろ過によって分析試料から除去されたためと考えられる。

このことから太陽光パネルによって、排水中のリン濃度の低減が可能であることが推察されたことになる。

次に、硝酸態窒素についても、理論的には次のような電極反応が考えられるため、低減すると予想される。

- ・ 陰極（還元反応）
- ・ $2\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{OH}^- + 5/2\text{O}_2$

- ・ $\text{NO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{OH}^- + 2\text{O}_2$
- ・ 陽極（酸化反応）
- ・ $\text{NH}_4^+ + 2\text{OH}^- + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$

結果を図 18 に示した。実験開始後 7 時間後の濃度は全体として低減しているが、ろ過した試料の分析値では、むしろ増加している。このことから濃度の低減は分析誤差とも考えられる。したがって、現段階では明確な低減が認められなかったと言える。



写真 23 .リン低減予備実験 実験状況

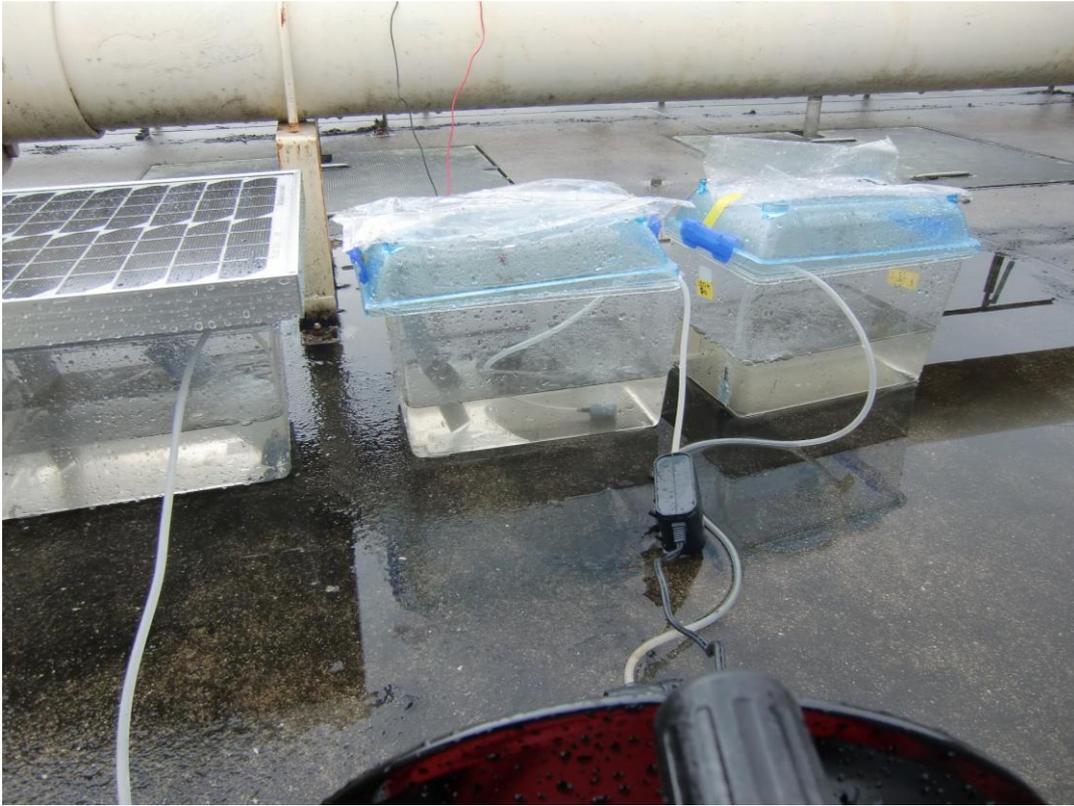


写真 24. リン低減予備実験 実験状況 (その 2)

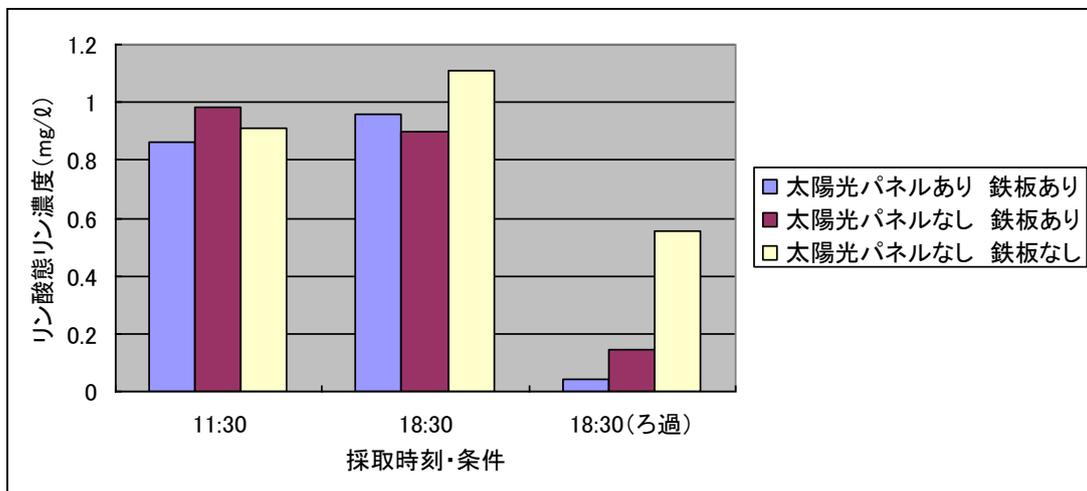


図 10. リン等低減予備実験における太陽光パネル及び、鉄板の有無によるリンの分析結果

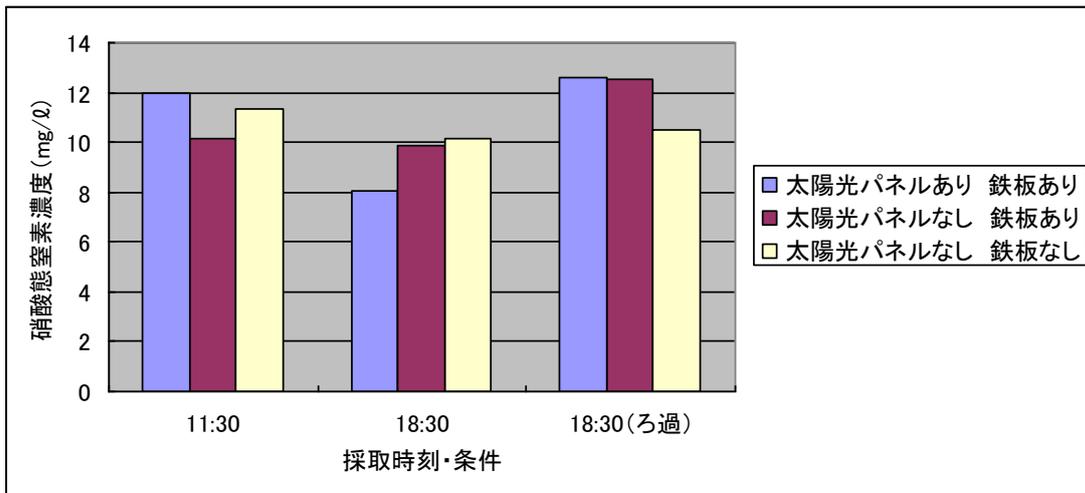


図 11. リン等低減予備実験における太陽光パネル及び、鉄板の有無による硝酸体窒素の分析結果

3.2.3 実装置での実験結果及び考察

1)電極 A を使用した予備実験及び考察

電極 A を写真 25 に示した。この電極 (表 3 参照) で示した表参照) は、7 組で鉄板の厚さ 0.2mm である。電極 A を使用した予備実験では、電流値、腐食の程度、汚泥の付着などの観察を主な目的とした。この予備実験における理論的裏付けは次のとおりである。

なお、この予備実験で使用して太陽光パネルは、GT133S (1.4.3 の表参照) である。

- ・ 溶液の電気伝導度 μ (ジーメンズ)
- ・ 溶液の抵抗 $\Omega = 1/\mu$
- ・ 溶液を流れる電流 I
- ・ 太陽パネル電圧 V
- ・ $\Omega = L/(S \times \mu)$ 、
- ・ ただし、S:電極面積、L:電極間隔

これに数値を代入する。ただし、小型合併処理水の電気伝導度は平均値で 200 μ S/cm² とする。

- ・ 電極数 7つ
- ・ 陽極と陰極の間隔 (L) 1.5cm
- ・ 電極面積 (S) $4.4\text{cm} \times 11\text{cm} = 48.4\text{cm}^2$
- ・ $= 48.4 \times 10^{-4}\text{m}^2$
- ・ 電気伝導度 $\mu = 200 \mu$ S/cm
- ・ $= 200 \times 10^{-4}\text{S/m}$
- ・ $\Omega = L/(S \times \mu)$
- ・ $= 1.5 \times 10^{-2}/(48.4 \times 10^{-4} \times 200 \times 10^{-4})$
- ・ $= 155$
- ・ $\Omega_T = \Omega/7 = 155/7 = 22$

- ・ $I=V/\Omega = 20/22=0.91$
- ・ 8時間電解したときの発生クーロン量は次のようになる。
- ・ $0.91 \text{ (A)} \times 28800 \text{ (s)} = 26208 \text{ クーロン}$
- ・ したがって、2.6.2 で示した必要クーロン量 (15500 クーロン) より十分大きいことが認められた。

2) 予備実験結果

①電流値等の測定は困難であったこと

鉄電極に流れる電流を何度も計測しようとしたが、測定するごとに電流値は大きく異なり、また測定時にも不安定であった。この理由は、電極が腐食して電池となるからと考えられた。太陽パネル設置して2日後、それを取り外して電極間の電位差や電流を測ると、数mボルトの電位があり、また数ミリアンペアの電流が計測された。今後はこれらの計測は行わず、理論計算のみで対応することとした。

②汚泥等の付着状況

一般に汚泥はマイナスに帯電しているため、陽極に汚泥が付着する。この汚泥量が大きくなると、鉄イオンの拡散が困難と予測された。このことについては電極 B 及び電極 C で観察された。

③電極の腐食について

陽極から鉄イオンが溶解するため、陽極の鉄イオンの損耗は、大きくなるが、これを写真 25 に示した。4日間の短期間の実験 (平成 22 年 5 月 5 日～5 月 8 日) であったが、陽極の鉄の損傷が大きく長期にわたる実験は困難と予測された。



写真 25 .期間 A に用いた電極 (電極 A) の写真

3)電極 B を使用した現場実験結果及び考察

電極 B は、写真 26 に示したように電極 A に比べて長く、鉄板の厚さも 3mm である。この実験の理論的基礎は次のとおりである。なお、使用した太陽光パネル

- ・ 電極数 5 つ
- ・ 陽極と陰極の間隔(L) 0.5cm
- ・ 電極面積 (S) $3\text{cm} \times 23\text{cm} = 69\text{cm}^2$
 $= 69 \times 10^{-4}\text{m}^2$
- ・ 電気伝導度 $\mu = 200 \mu \text{ S/cm}$
 $= 200 \times 10^{-4}\text{S/m}$
- ・ $\Omega = L / (S \times \mu)$
- ・ $= 0.5 \times 10^{-2} / (69 \times 10^{-4} \times 200 \times 10^{-4})$
- ・ $= 36$
- ・ $\Omega_T = \Omega / 5 = 36 / 5 = 7.2$
- ・ $I = V / \Omega = 20 / 7.2 = 2.77$
- ・ 8 時間電解したときの発生クーロン量 は次のようになる。
- ・ $2.77 \text{ (A)} \times 28800 \text{ (s)} = 79780 \text{ クーロン}$
- ・ したがって、2.6.2 で示した必要クーロン量 (15500 クーロン) より十分大きいことが認められた。

①リン濃度の低減について

電極 B の実験期間は、平成 22 年 6 月 9 日から 7 月 11 日で、リン濃度の低減状況を図 19 に示した。なお、図で使用したデータは表 3 に示した。実験開始後からリン濃度は増減を繰り返しながら低下し、当初 2.7mg/L あったものが、6 月 29 日前後には 1 mg/L 前後となった。実験終了する 7 月 11 日では、0.9mg/L であった。平均した濃度を 1mg/L とすれば、除去率は、63%となった。

②電極の状況について

実験を開始後、16 日経過した電極 B の状況を写真 26 に示した。陽極は汚泥によって過大に覆われていた。このような状態になるとリンの除去効率は低下すると考えられるので、適当な時期に付着した汚泥を除去した。7 月 11 日までの測定データにおいて、一時的に増加している測定値は、電極に汚泥が過大に付着したためと考えられた。

写真 27 は、汚泥を除去した電極である。電極の腐食が見られた。

③電極 B の問題点

電極 B は、陽極と陰極の間隔が 0.5cm と短かったので、汚泥でブリッジが生じてしまった。このようになると、両極が短絡してしまうので、電解効率が著しく低下するものと考えられた。したがって、さらに電極間隔を大きくした実験が必要と考えられた。



写真 26. 期間 B に用いた電極（電極 B）の写真



写真 27. 汚泥を除去した電極 B

4)電極 C を使用した現場実験結果及び考察

電極 C は、写真 28 に示したように電極 B に比べて電極間を 1.6cm と長くとした。鉄板の厚さは 3mm で同様である。この実験の理論的基礎は次のとおりである。なお、使用した太陽光パネルは、GT133S (50W) である。

- ・ 電極数 3 つ
- ・ 陽極と陰極の間隔 (L) 1.6cm
- ・ 電極面積(S) $4.5\text{cm} \times 80\text{cm} = 360\text{cm}^2$
 $= 360 \times 10^{-4}\text{m}^2$
- ・ 電気伝導度 $\mu = 200 \mu \text{ S/cm}$
 $= 200 \times 10^{-4}\text{S/m}$
- ・ $\Omega = L/(S \times \mu)$
- ・ $= 1.6 \times 10^{-2}/(360 \times 10^{-4} \times 200 \times 10^{-4})$
- ・ $= 22.2$
- ・ $\Omega_T = \Omega/5 = 22.2/3 = 7.4$
- ・ $I = V/\Omega = 20/7.4 = 2.7$
- ・ 8時間電解したときの発生クーロン量は次のようになる。
- ・ $2.7 \text{ (A)} \times 28800 \text{ (s)} = 77760 \text{ クーロン}$
- ・ したがって、15500 クーロンより十分あることになる。

①リン濃度の低減について

実験期間は、平成 22 年 7 月から 10 月 18 日で、結果を図 17 に示した。なお、図で使用したデータは表 3 に示した。7 月の中旬において、リン濃度約 2mg/L (7 月 18 日) で高い値は、電極 B から電極 C への切り替えによるものと考えられた。それ以後、急激にリン濃度は低下を示した。7 月 24 日からリン濃度は 1mg/L 以下に低下し、さらに 8 月になると 1 時期 (8 月 14 日の 0.92mg/L) を除くと、0.5mg/L 以下になることも多くあり、9 月 18 日までを平均すると、0.43mg/L であった。

9 月 25 日から太陽光パネルを 50W から 13W へ切り替えた。この理由は、より安価な太陽光パネルの使用が望ましいからである。結果は、同一のグラフに記載しているが、少しリン濃度の増加が見られた。平均するとリン濃度は 0.75mg/L となった。

この値は建築基準法において、浄化槽が持つべき処理性能の基準 (1~2mg/L 以下) を満足しているため、実用化に十分に応えたものと考えられる。

表 3 6/9～10/18までのリン濃度の結果 (単位: mg/l)

	6月9日	6月11日	6月13日	6月14日	6月17日	6月23日	6月26日	6月29日	7月4日	7月9日	7月14日
PO4-P	2.7	2.076	2.089	1.39	1.75	1.28	0.876	1.14	0.929	0.85	1.33

7月15日	7月18日	7月21日	7月24日	7月27日	7月30日	8月2日	8月5日	8月8日	8月11日	8月14日	8月18日
1.15	1.95	1.47	0.75	0.6	0.6	0.6	0.22	0.48	0.61	0.92	0.23

8月24日	8月29日	9月5日	9月12日	9月16日	9月18日	9月25日	9月30日	10月4日	10月7日	10月11日	10月15日	10月18日
0.084	0.59	0.078	0.56	0.17	0.47	1.08	0.72	0.74	0.59	1.14	0.78	0.54



写真 28. 期間 C に用いた電極（電極 C）の写真

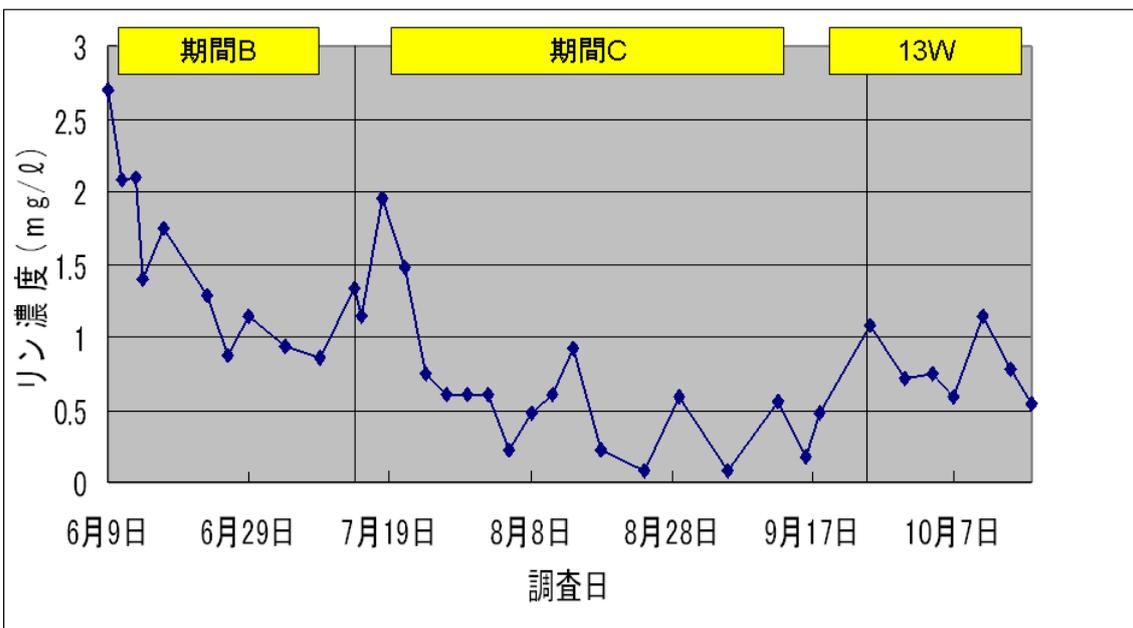


図 12. 様々な電極を用いた 6/9～10/28 までのリン濃度の濃度変化

②鉄濃度について

図 20 に Fe (II)、Fe (III) 及び T-Fe 濃度を示した。T-Fe 濃度と Fe (III)

濃度の変化は極めた大きかったが、Fe(II)濃度の変化は比較的小さかった。なお、処理水の着色は、認められなかった。II価鉄が処理水に存在することは、ばっ気槽でII価鉄が十分に酸化されていないことを示している。

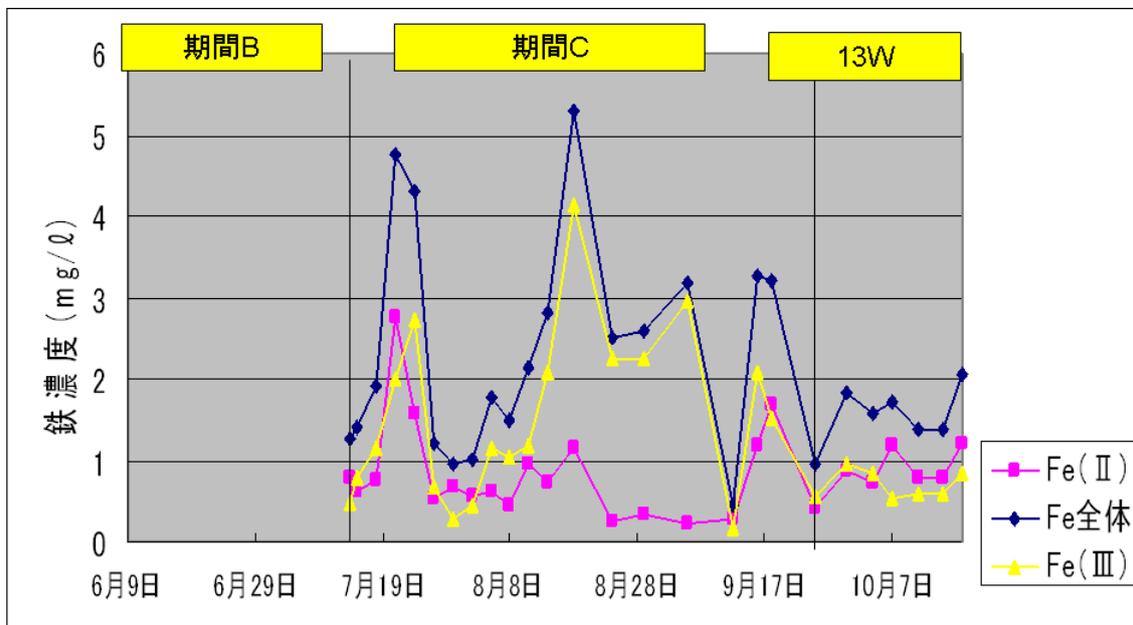


図 13. 様々な電極を用いた 6/19～10/28 までの鉄濃度の変化

③窒素濃度について

電解による窒素濃度の低減については、3.2.2 で検討したが、図 21 に示したように窒素濃度の変化が大きく、太陽光パネルによる電気分解の効果は見られなかった。

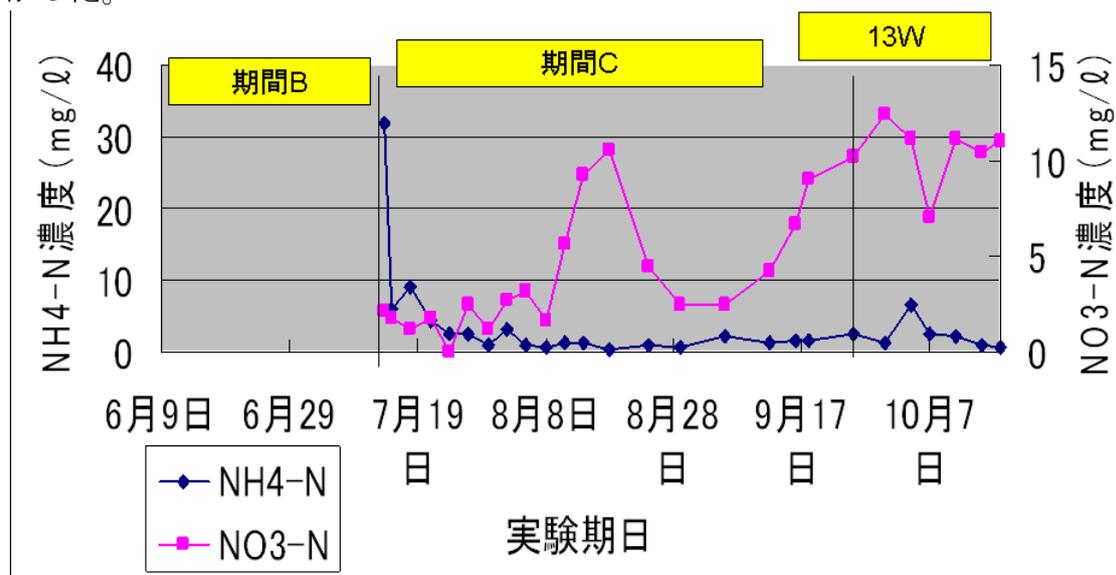


図 14. 様々な電極を用いた 6/19～10/28 までの窒素濃度の変化

④BOD 及び COD の低減について

BOD 及び COD の低減については、図 22 に示したが、同様にこれらも濃度変化が大きく、太陽光パネルによる電気分解の効果は見られなかった。

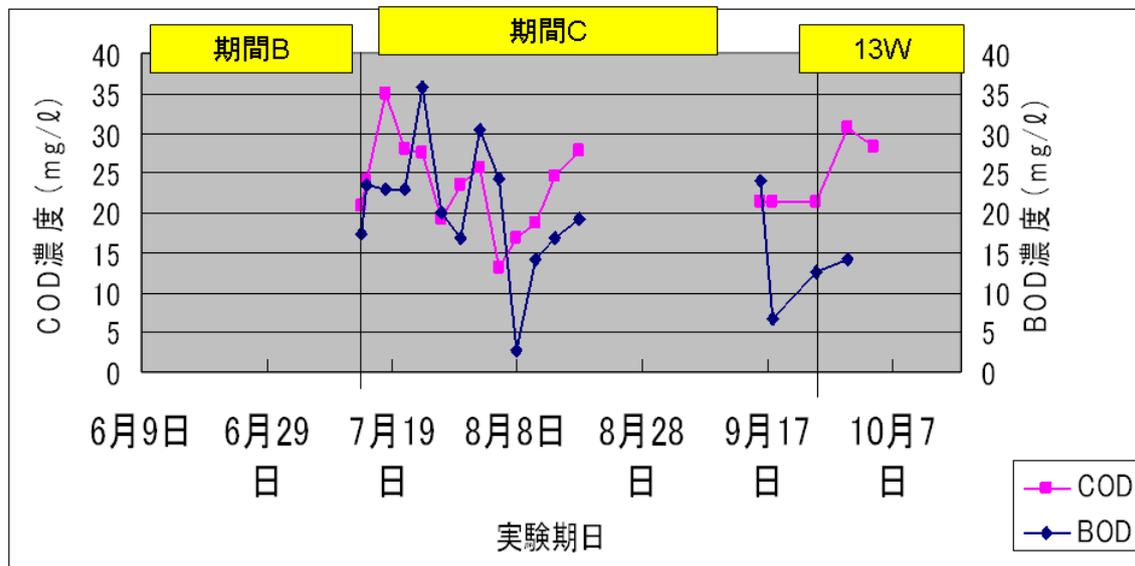


図 15. 様々な電極を用いた 6/19～10/28 までの BOD 及び COD 濃度の変化

⑤滅菌への影響について

Fe (II) が存在すると、塩素を還元するため、滅菌されないことも予想された。そこで滅菌装置後の処理水を採取して、大腸菌の有無を試験した。その結果、写真 29 及び 30 に示したように滅菌前では 8000 個/ml、滅菌後ではゼロであった。したがって、この程度の Fe (II) の存在では、滅菌機能に影響を与えないことが明らかとなった。



写真 29. 重層平板法による滅菌前の大腸菌群数の調査結果

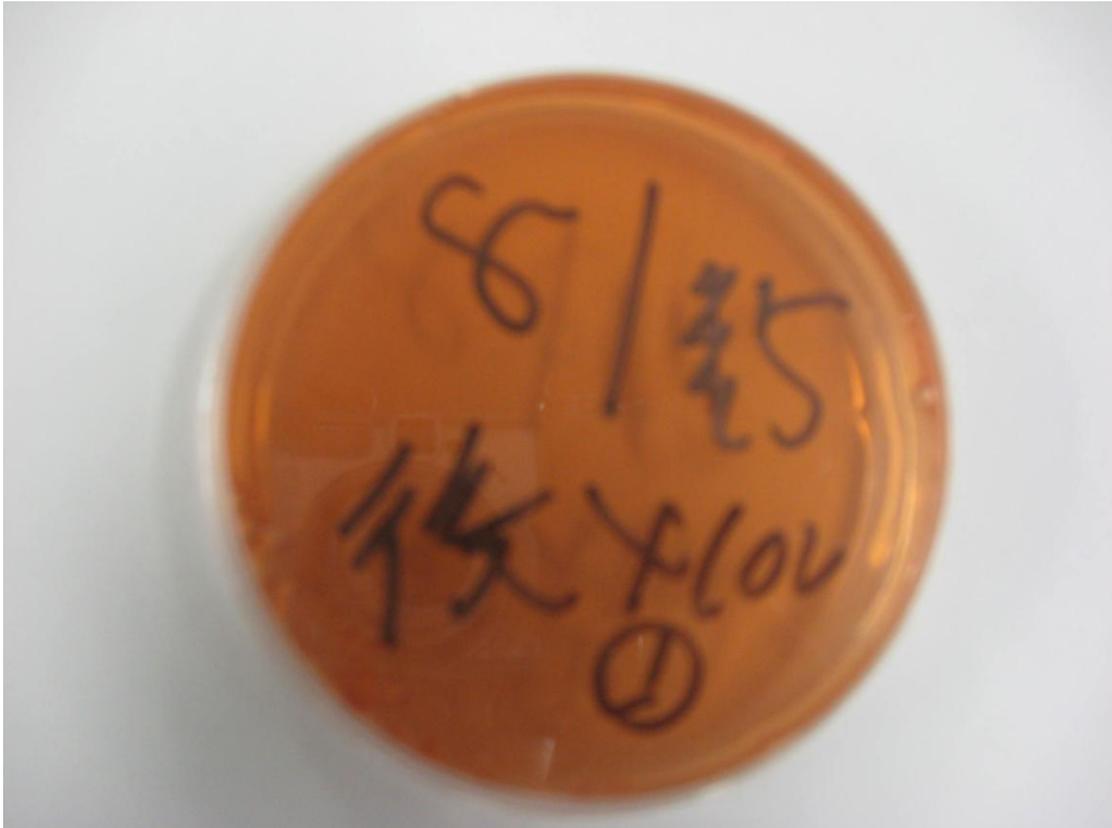


写真 30. 重層平板法による滅菌後の大腸菌群数の調査結果

⑥電極の腐食状況

電極 C の腐食の状況を写真 31 から 36 までに示した。電極の間隔が 1.5cm であったため両極間の汚泥によるブリッジは観察されなかった。なお、陽極側の鉄が電解して消耗するので、約 1 カ月おきに陽極と陰極を交換した。写真から、これまでの電極 A や電極 B と異なり、電極に汚泥の付着量が少ないことである。この理由は、鉄電極の陽極と陰極を約 1 カ月おきに交換したことや、電極間を 1.5cm とこれまでになく大きく取ったことによるものと考えられた。



写真 31. 7/18 の陽極側



写真 32. 7/18 の陰極側



写真 33. 8/14 の陽極側



写真 34. 8/14 の陰極側

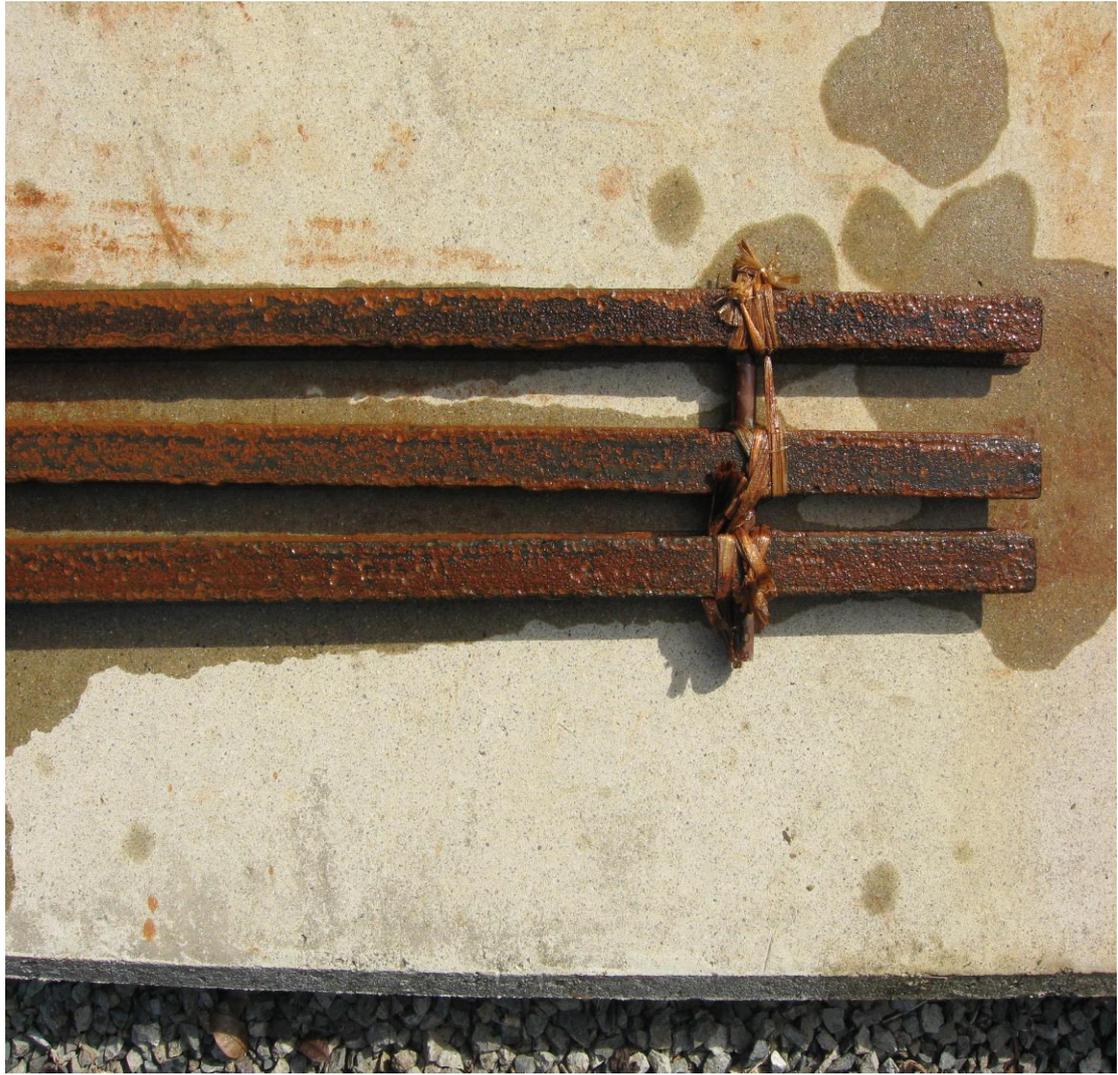


写真 35. 9/30 の陽極側

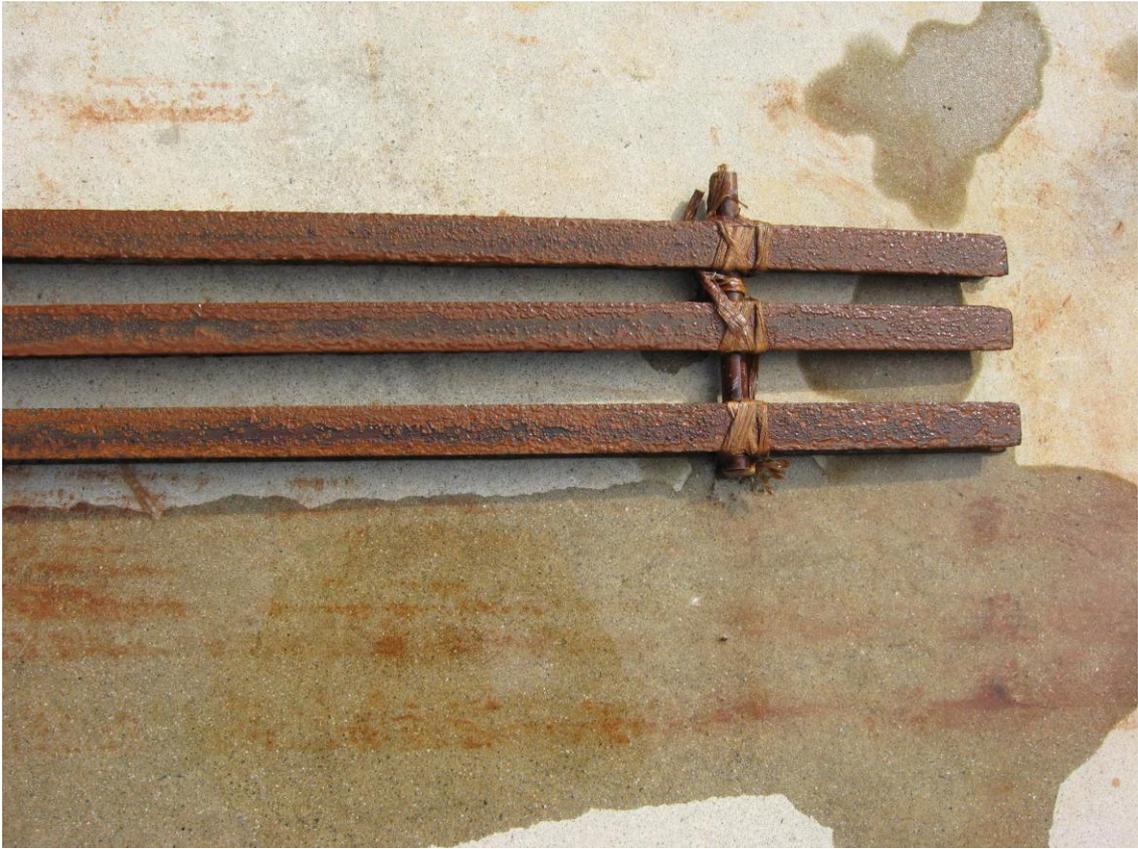


写真 36. 9/30 の陰極側

第4章 結論

4.1 サカマキガイの駆除について

1) NaHSO_3 を 50mM 程度、サカマキガイの生息する浄化槽に添加することによって、30 分間で窒息死させることができる。

2) Na_2SO_3 も 50mM 程度で窒息死させることができるが、若干生き残るサカマキガイが存在する。

3) これらの濃度ではいずれも活性汚泥に与える影響はない。

なお、以上の実験は実用の視点から 30 分後の死亡を試験したものであるが、30 分以上の経過時間であれば、50mM 以下の濃度でも可能であることが推測された。

4) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ では、50mM 程度で 120 分後に 100% 死滅したが、環境に与える影響が大きいと考えられ、実用化は避けるべきである。

4.2 太陽光パネルを用いたリン低減について

1) 鉄電極を用いて鉄イオンを生成し、処理水中のリン濃度を 1mg/L 以下に低減することが明らかになった。

2) 鉄電極間を 1.5cm 程度にすると、付着した汚泥によるブリッジ現象を防ぐことができ、安定的にリン濃度を低く維持することが可能であった。

3) 太陽光パネルの発電能力について、4 人程度の小型合併浄化槽では 50W で十分であり、13W 程度でもリン濃度に大きく影響を受けないことが分かった。

4) 窒素、BOD 及び COD については、電極による低減効果は見られなかった。

5) 鉄 (II) による塩素滅菌への影響は認められなかった。

6) 処理水の着色は特に認められなかった。

謝辞

この研究は、平成 21 年 4 月から平成 23 年 3 月まで県立広島大学大学院 総合学術研究科 生命システム科学専攻 環境保全修復学 三好康彦研究室において行われたものである。

修士論文研究に当たり、指導教官の三好康彦教授には研究活動についてご指導頂き深く感謝しております。

副主査を引き受けて頂いた中村健一教授、増田泰三准教授には、お忙しい中ご意見、ご指導して頂き大変感謝しております。

また、本研究に取り組むに当たり、貴重な情報を提供していただいた株式会社クボタ代表取締役会長兼社長益本康男様に厚く御礼申し上げます。

そして本調査実施に当たり、庄原衛生工業所の山脇様、そして、庄原市各地に在住中の浄化槽をお持ちの住民の皆様には研究への多大な貢献を頂き、水質データの確保に並々ならぬ御協力をいただいたことに深く感謝を申し上げます。

また、共に研究に取り組んだ後輩の皆様にも心より感謝しております。

最後に、当研究室のさらなる発展を期待し、謝辞とさせていただきます。

参考文献

- 1) 森泉雅貴・廣瀬 潤・奥野公信・辻 裕伸・中島 淳：鉄電解法による季節合併浄化槽のリン除去性能の向上
- 2) 藤村葉子・中島 淳：小規模合併浄化槽の処理水性状と循環運転による窒素除去
- 3) 森泉雅貴・福本明広・山本康次・奥村早代子：鉄電解溶出によるリン除去システムの基礎検討
- 4) 電解法による排水の高度処理技術—窒素・有害化学物質の除去—
- 5) 田中恒夫・荻野 学：電解法による畜産排水からのリン回収
- 6) 人尿中に含まれる窒素・リンの電解処理
- 7) M.C.M. van Loosdrecht・C.M.Hooijmans・D.Brdjanovic・J.J.Heijnen : Biological phosphate removal process
- 8) L. Mendia : ELECTROCHEMICAL PROCESS FOR WASTEWATER TREATMENT
- 9) 環境大臣指定講習期間 財団法人 日本環境整備教育センター発行：浄化槽の維持管理
- 10) 日本建築センター：浄化槽の構造基準・同解説
- 11) 財団法人 日本環境整備教育センター：月刊 浄化槽
- 12) 財団法人 浄化槽研究 vol.17 2005-vol.18 2006
- 13) 三好康彦著：汚水・排水処理の知識と技術
- 14) 株式会社クボタ 合併浄化槽 設計計算書 HY (5) 型
- 15) 株式会社クボタ 合併浄化槽 設計計算書 HS-P (5)
- 16) 製品カタログ クボタ浄化槽 [5～50 人槽]
- 17) 川をきれいにしようねット
<http://www4.ocn.ne.jp/~joso/kenkyu/sakamaki/sakamaki.html>