

# 潮江下水処理場処理水再利用 技術に関する調査研究

## 1. 研究目的

高知市にある公園の「わんぱくこうち」の中にある人工池では、汚濁が進み環境上の問題を引き起こしている。そこで高知市では、池の水質浄化に下水処理水の利用を計画し、処理水の高度処理技術の確立を目指している。この池の浄化に際しては、高知県内で開発され小規模廃水処理等に使用実績がある自然浄化機能を活用した技術の適用を検討していることから、本共同研究により平成9年度から3ヶ年にわたり高知市潮江下水処理場内に設置した実験設備による実験を中心に本処理技術の性能を把握し、実用性を確認することを目的として研究が行われてきた。

表-1にこれまでの研究スケジュールを示す。

表-1 研究スケジュール

研究項目	平成9	平成10	平成11
基本方針	——		
パイロット実験		——	
カラム実験		——	
設計諸言の検討			——
経済比較の検討			——
とりまとめ			——

本共同研究は、平成9年度に基本検討として本処理技術の概要について整理を行い、実験計画を策定した後、高知市の潮江下水処理場内においてパイロットプラントを建設してパイロット実験を開始し

た。その後、平成10年度にはパイロットプラントの槽構成や水量等を変更して実験を継続すると共に、カラム実験を開始し、充填物の基礎的特性の把握と共に安定した運転条件の把握のため、パイロット実験を継続して行った。

平成11年度は、継続して行われたパイロット実験及びカラム実験について再度の見直しを加えて継続して安定した処理性能を維持できる槽の構成について検討を行った後、本技術の処理性能の評価を行い、他の高度処理技術との経済比較等を行い、最終のとりまとめを行った。平成11年度の実験の目的について下記に示す。

### ① パイロットプラント実験

昨年度までの実験結果を踏まえて槽構成を見直し、より長期間の安定した処理が行える構造に改良し、性能評価を行うと共に実設備計画について検討を行う。

#### 1) 脱窒性能の把握

T-N除去率、脱窒速度及び負荷との関係等を確認することにより脱窒性能を把握する。

#### 2) 脱りん性能の把握

T-P除去率及び負荷との関係等を確認することにより脱りん性能を把握する。

#### 3) BOD, SS, COD等の除去性能の把握

BOD, SS, COD, 色度, 濁度, 大腸菌群数の各除去率を確認することにより性能を把握する。

#### 4) 実設備計画の策定

上記により把握される除去性能より設備の設計諸

元を確定して、実設備を計画する。

5) 実用性の評価

建設、維持管理の費用を試算し、他方式との経済比較を行い、本方式の実用性について評価する。

② カラム実験

カラム実験については昨年度に引き続き実験を継続し、りん除去や、濁度除去等に関する特性について確認を行う。

## 2. 研究内容

### 2.1 本技術の概要

本処理技術は、木炭や枯れ木、石等の天然の素材に対し、生物の定着を促す目的で表面にキトサン等のコーティング加工を施す等の処理を行ったろ材を充填した槽を用いて有機物、窒素、りん等を除去するものである。表-2において本技術において使用するろ材の概要を示す。

表-2 ろ材の概要

ろ材名称	材質	目的
接触ろ材	PP樹脂	SS, BOD除去
木質系有機物	ホダ木等	窒素除去
ニトロライト	ゼオライト系鉱物	アンモニア除去
ホスカット	石灰系鉱物	SS, BOD除去
チャコールバイオ	キトサンコーティング 木炭	COD, BOD除去
チャコールA	再燃焼木炭	脱臭, 脱色
リントール	鉄化合物, 木炭, PP樹脂	りん除去

### 2.2 パイロット実験設備の概要

本研究では、パイロットプラント実験並びにカラム実験の設備を用いて行われている。

パイロットプラント実験は、本研究において中心的な役割を担っていたものであり、延べおよそ2年間にわたり継続して実験を行った。

実験設備は高知市の潮江下水処理場内に設置され、処理場の最終沈殿池から二次処理流出水を設備内に送水し、高度処理に関する実験を行った。

槽割については、当初は本処理技術における既存の施設のものを用いて建設されたが、実験が行われたRUN1~13までの間に実験条件の変更と共に修正が加えられた。

装置の大きさは、幅10m×長さ16.2m×高さ4.15mであり、最大の流入水量は50m<sup>3</sup>/日で設計されて

いる。表-3に本設備の概要を示す。

表-3 パイロットプラントの仕様

項目	仕様	
流入水	潮江下水処理場最終沈殿池流出水	
流入水量	最大50m <sup>3</sup> /日	
施設構造	系列数	1系列
	段数	10段
	寸法	幅1.0m×長さ16.2m×高さ4.15m
HRT	15.6h (流入量50m <sup>3</sup> /日の場合)	

パイロットプラントの水質試験は平成11年5月までは日常試験(4回/週)と精密試験(2回/週)に分けて実施していたが、平成11年6月以降からは精密試験のみを行った。

表-4に分析項目(精密分析)について示す。

表-4 分析項目(精密分析)

項目	流入水	酸化槽	脱窒槽	脱窒槽	脱りん槽	BOD・COD 除去槽	SS 除去槽	放流水
		I・II	I・II	III・IV				
BOD	○	○	○	○	○	○		○
COD	○	○	○	○	○	○		○
SS	○			○	○	○	○	○
窒素	○	○	○	○	○			○
りん	○			○	○	○	○	○
アルカリ	○							○
TOC	○							○
pH	○							○
大腸菌	○							○
濁度	○				○	○	○	○
色度	○					○	○	○
S-Fe	○				○	○	○	○
DO	○	○	○	○	○	○		○
ORP		○	○					
水温	○							○

### 2.2 カラム実験装置の概要

カラム実験は、リントールによるりん除去の性能や、色度や濁度の影響や除去性能について確認を行い、パイロットプラントの運転の定常運転に結果を反映させると共に、設計諸元を得る為に行われた。

図-1に、カラム実験の概要図を示す。

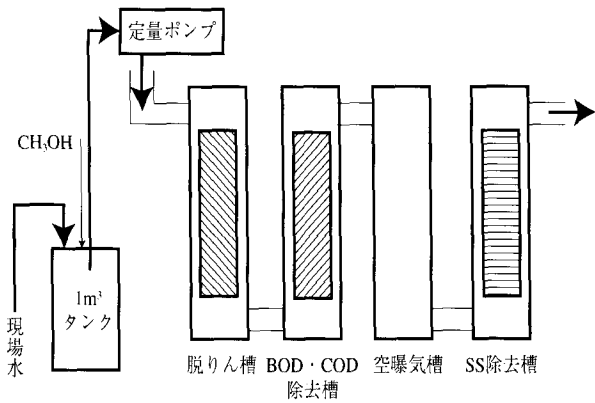


図-1 カラム実験装置

### 3. 実験結果

#### 3.1 平成9年度および10年度の結果概要

##### ① パイロットプラント実験

パイロットプラントにおける実験は平成10年4月より開始され、平成11年2月までの間にRUN1～10までの間で改良を重ねて来た。途中RUN4及び8の開始前に充填物の洗浄を行っている。この期間における実験の結果は次の通りであった。

- ・ 全て期間を通じ、各RUNにおいて窒素・りん除去効果が確認できた。
- ・ 同様、D-BOD・CODについても全RUNにおいて除去効果が確認できた。
- ・ SSについては、RUN7までは良好な結果が得られていたが、RUN8以降は除去率が急激に低下した。これはリントール充填量を増加させた際に鉄イオンの過剰な溶出が起こったことによるリン酸鉄の増加との関与が示された。
- ・ 色度について流出水の方が高い値を示した。
- ・ 濁度についてもRUN8以降に流出水の方が高い値を示したが、リントール充填量を増やしたこととの関与が示された。

##### ② カラム実験

カラム実験では、パイロットプラントの最大流入量に値する25 l/日を連続的に通水し、りん除去、色度、濁度について状況を調べた。

この結果、T-Pについては通水初期の20日間まで徐々に除去性能が低下したが、これ以降は安定した

性能を示した。また、濁度についても同様に20日目以降は安定した性能を示した。これは、通水直後はリントールから溶出する鉄イオン量が多く、りん酸鉄の生成が活発に起こり濁度の原因になったものと考えられた。

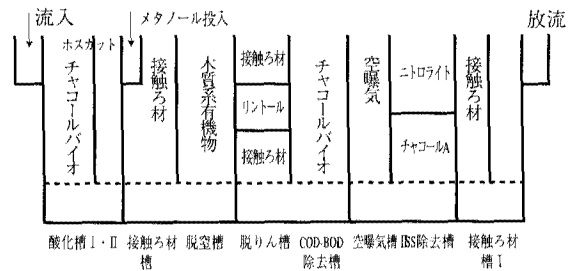
#### 3.2 平成11年度の実験結果

##### ① パイロットプラント実験

平成11年度のパイロットプラント実験は、平成10年度までの結果を考慮し、得られた知見から所定の除去性能が期待できる運転条件を設定し、長期間の定常運転を行った。これに伴い、今年度は接触ろ材と木質系有機物をろ材とした脱窒槽を2段に、脱りん槽を大きくし、逆に後段のCOD・BOD除去槽、SS除去槽を簡略にした構造に改めた。

図-2に槽割の変更を示す。

RUN10の槽割



RUN11以降の槽割

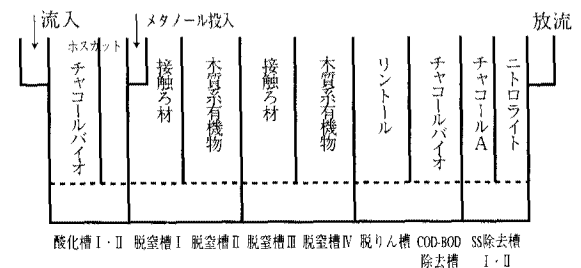


図-2 槽割の変更

また、各RUNについての実験状況の概要について以下に示す。

##### RUN11 (平成11年4月～6月)

以前の槽構成を変更し、脱窒の促進を目的として脱窒槽容量を増やした。処理水量は12.5m³/日。

##### RUN12 (平成11年7月～12月)

RUN11において好調な結果を示したため、流入負荷を28m³/日に増やして実験を継続した。

RUN12' (平成12年1月~2月)

実験の予定期間終了後も設置場所を移動して実験を継続した。この際、脱りん槽より後段部分は切り離し、脱窒槽までの部分について実験を行った。

RUN13 (平成12年3月)

実験設備の撤去前に流入負荷量を50m<sup>3</sup>/日に増やして脱窒性能の確認を行った。

1) 窒素除去の状況

RUN11以降、流入T-Nが概ね6.0~10mg/lの範囲であったのに対し放流T-Nは1.0mg/lであったことから除去性能は良好であった。ただし、窒素除去は主にNO<sub>3</sub>-Nに関して有効であるが有機性窒素に関しては除去が有効ではない。このため放流水質は流入水中の有機性窒素量に依存しているといえる。

図-3に平成11年度におけるNO<sub>x</sub>-N除去率と脱窒速度を示す。

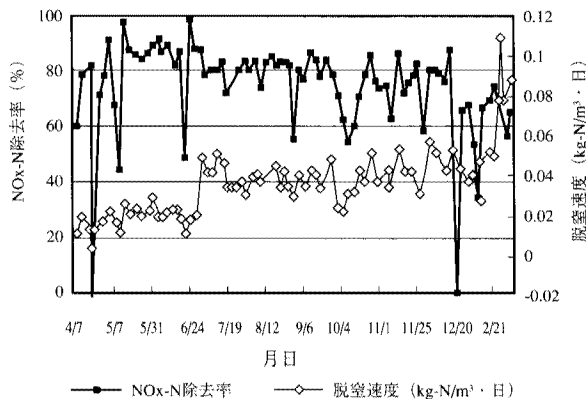


図-3 NO<sub>x</sub>-N除去率と脱窒速度

2) りん除去の状況

RUN11以降における流入T-Pは概ね0.8~1.5mg/lの範囲であった。放流T-PはRUN11では平均で0.23 mg/lと好調であったが、RUN12以降から徐々に除去性能の悪化が見られた。このため11月後半に脱りん槽の洗浄と汚泥の引抜きを行った結果、一旦は除去性能が好転したが再び悪化を見せた。

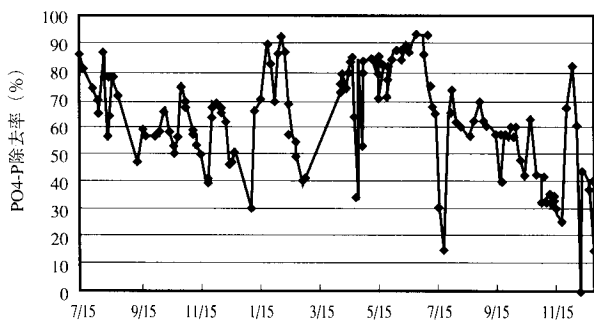


図-4 PO<sub>4</sub>-P除去率と脱窒速度

脱りん槽におけるりん除去の原理は、処理水中のPO<sub>4</sub>-Pとリントールから溶出する鉄イオンとの結合でリン酸鉄を生成する事であるが、この除去性能の悪化はリントール表面に汚泥等による被膜形成が起こり、鉄イオンの溶出が起こりにくくなっている事が考えられるので、実際の使用には定期的なメンテナンスを行う必要性が示される。

図-4に平成11年度におけるPO<sub>4</sub>-P除去率を示す。

3) その他の分析項目の状況

BOD, CODは前年と同様の状況を示し、放流水の濃度はほぼ流入水質を下回った。SSについては放流水濃度と同程度である事が多かったが、前年と比較すると流入水濃度が低めであった。

一方、色度については流入水より放流水の方が高い値を示した。これは、槽内の余剰の鉄イオンによる影響が示唆された。放流水の色度濃度と脱窒槽内でのORPの実測値に相関性が見られることから脱窒槽でFeの溶出が起こっている可能性がわかり、本プラントが鋼製であることから表面からの溶出が関与しているものと考えられた。

大腸菌群数は流入量の多少に関わらず、放流では検出下限以下を示しており、良好な結果を示した。

② カラム実験の結果

平成11年度のカラム実験は前年度の内容を引き続き継続して行ったが、途中2回にわたり水量を増やして高負荷の条件で実験を行った。

この中で、りんの除去性能が低下するとBOD・COD除去槽並びに放流水において色度が上昇することがわかり、りんと結合しない残留した鉄イオンが色度の上昇に関与している可能性が考えられる。また、色度の除去についてはBOD・COD除去槽の寄与が少ないことがわかった。

3.3 性能検討

① 窒素除去

窒素除去の評価は、脱窒槽の無酸素状態を維持できるように考慮したRUN11以降のデータにより行うことにした。

窒素除去について有効となるNO<sub>x</sub>-Nについて着目すると、流入時のNO<sub>x</sub>-Nは脱窒槽Iにおいて大部分が除去されており、脱窒槽IIで残りが除去される事がわかる。また、脱窒槽IIIでは若干除去がされるものの脱窒槽IVは殆ど除去に用いられていない。また、流出部の濃度は濃度変動に関わらず概ね一定となることからNO<sub>x</sub>-N流入濃度が上昇すると除去率も上昇

する現象が見られる。除去率は概ね80%以上を確保している。

## ② りん除去

今回の実験ではパイロットプラントにおいて500kg, 700kg, 1,000kgのリントールを充填して行った実験とカラム実験による結果を元に評価を行う事にした。りん除去については、 $PO_4\text{-P}$ 除去量と $PO_4\text{-P}$ 重量負荷との関係から適切なリントール充填量を検討した結果、リントール1kgあたりの $PO_4\text{-P}$ 除去量は0.03~0.05g-P/kgがほぼ限界値であると判断した。

## ③ BOD・COD除去槽

BOD・COD除去槽におけるSSの除去は、パイロットプラントにおいては11月の脱りん槽のメンテナンスまで除去槽流入濃度のばらつきが大きい。これは脱りん槽で沈殿したりん酸鉄や汚泥分が巻き上げられているためと考えられる。メンテナンス後の12月以降のデータはSSの除去槽流入濃度が下がっている事から、実施設における脱りん槽のメンテナンスを徹底することによりSS除去の必要性は少なくなる。また、BODの除去についても流入濃度は親水用基準を満たしている事から不要と考えられる事から、実施設においてはBOD・COD除去槽を考慮しないものとする。

## ④ SS除去槽

SS除去槽による濁度の除去をみると、SS除去槽Iがあれば親水用基準を満たす事から、実施設においてSS除去槽IIは考慮しないものとする。

# 4. 実施設の検討

## 4.1 実設備における計画諸元値の設定

実設備を建設する場合の各項目について、これまでのパイロットプラントにおける流入水質や水温等を考慮し、実験結果から各項目の諸元値を設定した。実施設の各諸元値については、わんぱーくこうちへ送る処理水量を4,000 m<sup>3</sup>/日とし、この条件を満たす放流水質は窒素で3.0mg/l, りんで0.5mg/lと設定した。

処理水量：4,000 m <sup>3</sup> /日
放流水質：窒素 3.0mg/l
りん 0.5mg/l

## ① 窒素除去

実施設における計画流入水質は、潮江下水処理場の二次処理水流入水質の実績から、水質が一番悪化する冬季におけるT-N濃度である11mg/lと設定した。

## ② りん除去

パイロットプラントの実績値より計画流入水質を1.4mg/l放流水質を0.5mg/lと設定した。

## ③ その他の項目

パイロットプラント実験の結果から、濁度除去にはパイロットプラントのSS除去槽が適していると考えられるが、ろ材の諸元を設定するには更に詳細な分析が必要と考えられる事からパイロットプラントと同等の滞留時間を用いる事とした。

## 4.2 実設備計画の概要

設定した諸元値から本技術を潮江下水処理場に適用する場合の実施設の概略設計を行った。

### ① 酸化槽

窒素除去については夏季における二次処理水からのNH<sub>4</sub>-N流入を考慮し、酸化槽は必要と考えられる事から、本研究ではNH<sub>4</sub>-N硝化率95%以上を維持できる容積負荷を0.017kg-N/m<sup>3</sup>・日と設定し必要容量を算出した。

### ② 脱窒槽

パイロットプラント実験の結果から脱窒槽IVは殆ど窒素除去に寄与していない事からこれを削除し、これまでの脱窒槽I~IIIを再構成して脱窒槽I（接触ろ材）、II（木質系有機物）を使用する形をとった。除去率の設定についてはこれまでの実験データの近似曲線から全体のNO<sub>x</sub>-N除去率を80%と設定し、脱窒槽Iは65%、IIは60%とした。この結果容積負荷は脱窒槽Iで0.140kg-N/m<sup>3</sup>・日、IIで0.037kg-N/m<sup>3</sup>・日と設定し必要容量を算出した。

### ③ 脱りん槽

設計諸元より単位重量当たりのリントールによる $PO_4\text{-P}$ 除去率は0.03g-P/kgであることから、リントールの重量は120,000kgとなり、これに基づき必要容量を算出した。

### ④ SS除去槽

設計諸元よりSS除去槽の設計にはパイロットプラントと同等の滞留時間を用いる事としており、滞

留時間1.8時間に対する必要容量を算出した。

以上より、潮江下水処理場を実施設を設置する場合の諸元を設定し、各槽の必要容量を設定した。

表-5 に実施設の概要について示す。

表-5 実施設の概略設計

項目	容量	寸法
流入水量	4,000m <sup>3</sup> /日	
酸化槽	1,080m <sup>3</sup>	幅6m×長さ18m×深さ5m×2槽
脱窒槽	300m <sup>3</sup>	幅6m×長さ5m×深さ5m×2槽
脱窒槽I	420m <sup>3</sup>	幅6m×長さ7m×深さ5m×2槽
脱りん槽	420m <sup>3</sup>	幅6m×長さ7m×深さ5m×2槽
SS除去槽	180m <sup>3</sup>	幅6m×長さ10m×深さ5m×2槽
全体	2,400m <sup>3</sup>	幅16.4m×長さ62m (外寸) ×深さ5m

必要容量から各施設の寸法を算出した結果、実施設は容量：2,400 m<sup>3</sup>、寸法：幅16.4m (外寸) ×長さ62m (外寸) ×深さ5m (内寸) となった。潮江下水処理場における既存用地に収める事が可能であると判断した。

また、本技術以外の高度処理技術との経済面での比較を行った。比較対照とした技術は処理水質が同程度の窒素・リン除去を対象とした三次処理法を対象とし、主として好気性・嫌気性ろ床タイプの処理法3種について比較を行った。比較項目は建設費、年間維持費を対象とした。

この結果、本技術は他処理方式と比較して充填物の補充費等が高く、維持管理費が高額となるが、建設費に関しては電気工事費等が安価となる事が考えられ、今回検討を行った他処理法との比較では同程度であることが分かった。

## 5. まとめ

本研究における成果は以下の通りである。

- 1) パイロットプラント実験において放流水質として設定したT-N：3.0mg/l、T-P：0.5mg/lにおける運転条件や処理状況について確認を行った。
- 2) パイロットプラントにおいてBOD、濁度、大腸菌群数については除去性能、及び親水用水質基準値を満足することを確認した。
- 3) 処理水量4,000m<sup>3</sup>/日の施設の形状寸法および施設配置計画を立案し、既存の処理場内での建設の可能性を確認し、経済性について他処理方式と比較を行った。

今後の課題点としては、今回パイロットプラント実験の結果より実用化に向けた設計諸元を設定したが、下記の点について更なるデータの蓄積並びに現象の解明が必要と考えられる。

- ① 脱窒槽に充填される接触ろ材と木質系有機物について機能の解明が必要と考えられ、それぞれ個別に回分試験等により脱窒性能のデータ蓄積が必要である。
- ② 脱りん槽に充填されるリントールは、経日変化により機能が低下することが確認され、今後洗浄や補充等の頻度や方法について更なるデータの蓄積が必要である。
- ③ 放流水における色度の上昇については槽の素材の見直しや各ろ材における色度除去の効果について確認が必要である。

実用化の推進に当たっては、現象面での不明点を解明し、最適な構成や運転条件の把握による不要箇所の排除が不可欠であると共に維持管理面で各ろ材の寿命や洗浄頻度等に関して更なるデータ蓄積が必要と考えられることから、各ろ材の基礎研究、データの更なる蓄積が求められる。

●この研究に関するお問い合わせは 研究第一部長  
研究第一部総括主任研究員  
研究第一部研究員

江藤 隆  
星野 寧  
野尻 希守