

## 〈研究発表〉

### 汚泥処理返流水を対象とした高度処理システムの実証実験

賀藤 寛文<sup>1)</sup>, 南浦 詳仁<sup>2)</sup>, 橋本 繁典<sup>3)</sup>, 糸川 浩紀<sup>4)</sup>, 村上 孝雄<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 広島市下水道局施設部施設課 (〒730-8586 広島市中区国泰寺町 1-6-34, E-mail: katou-h@city.hiroshima.jp)

<sup>2)</sup> 広島市都市整備局都市計画課 (〒730-8586 広島市中区国泰寺町 1-6-34)

<sup>3)</sup> 広島市安佐南区役所農林建設部下水道課 (〒731-0193 広島市安佐南区古市 1-33-14)

<sup>4)</sup> 日本下水道事業団技術開発部 (〒335-0037 埼玉県戸田市下笹目 5141)

#### 概要

広島市では老朽化しているし尿処理場を廃止し、し尿等を下水処理場の汚泥処理施設で処理するに当たり、し尿等を含む汚泥処理系返流水については、既設水処理施設を改造して直接放流できるレベルまで個別に高度処理することが求められている。返流水には高濃度の窒素・りんが含まれることから、高い除去率が達成可能な「凝集剤添加担体投入バーデンフォ法」を採用した。当該処理方式の処理性能について実験プラントを運転し、高水温期及び低水温期における実証規模での性能評価、設計・運転諸元の検討を行ったので、その結果を報告する。

キーワード：返流水，窒素，りん，バーデンフォ法，担体

## 1. はじめに

広島市では、老朽化しているし尿処理場を廃止し、し尿等（し尿および浄化槽汚泥）を西部水資源再生センターの汚泥処理施設で処理する。これに伴い、短期間で当再生センターの放流水質を向上させるため、し尿等を含む汚泥処理系返流水について、既存水処理施設を改造して直接放流できるレベルまで個別に高度処理する計画である<sup>1)</sup>。分流式の当再生センターは、水処理を標準活性汚泥法、汚泥処理を分離濃縮、消化、洗浄、脱水で行っており、返流水には嫌気性消化に由来する高濃度の窒素・りんが含まれる。そのため高度処理法として高い窒素・りん除去率が達成可能な凝集剤添加バーデンフォ法と反応タンク容量縮小のための担体添加活性汚泥法<sup>2)</sup>を組合せた「凝集剤添加担体投入バーデンフォ法」を採用することとしている。返流水の個別処理において直接放流を行なう事例はほとんど無く、また我が国では原水の種類を問わずバーデンフォ法の採用事例が極めて少ないことから、当該処理方式の処理性能について実験プラントを用いた実証試験を行った。本稿ではそこで得られた結果を報告する。

## 2. 処理プロセスの概要

### 2.1 目標水質

本処理システムでは、西部水資源再生センターにおける汚泥処理系返流水（遠心濃縮分離液、脱水ろ液、

洗浄槽分離液）を処理対象とし、これを直接放流が可能な水質にまで処理することを目標とした（Table 1）。

Table 1 Design influent and effluent qualities of the return water treatment system

水質項目	流入水質 [mg/L]	目標処理水質 [mg/L]	除去率 [%]
BOD	170	10	94.1
SS	740	(9)**	98.8
T-N	215	11	94.9
T-P	60	(0.5)**	99.2

\*\* 括弧書きの数値は、後段処理(砂ろ過など)を前提としたもの。

### 2.2 凝集剤添加担体投入バーデンフォ法の概要

本処理方式は、生物学的窒素除去法としては世界的に実績のあるバーデンフォ法（循環式硝化脱窒法+後脱窒）に対して、(a)担体添加による好気槽容量の縮小、(b)同時凝集法によるりん除去の併用、の追加を行なったものである（Fig. 1）。本処理方式のポイントは以下のとおりである。

- ①循環式硝化脱窒法の後段で更に脱窒を行なうことにより、高い窒素除去率が得られる。
- ②好気槽に生物固定化担体を投入することで、槽容量を大幅に削減できる。
- ③同時凝集法により、高度なりん除去が可能である。
- ④窒素負荷に対して有機物負荷の小さい返流水を対象とするため、有機物源としてメタノールを添加する。

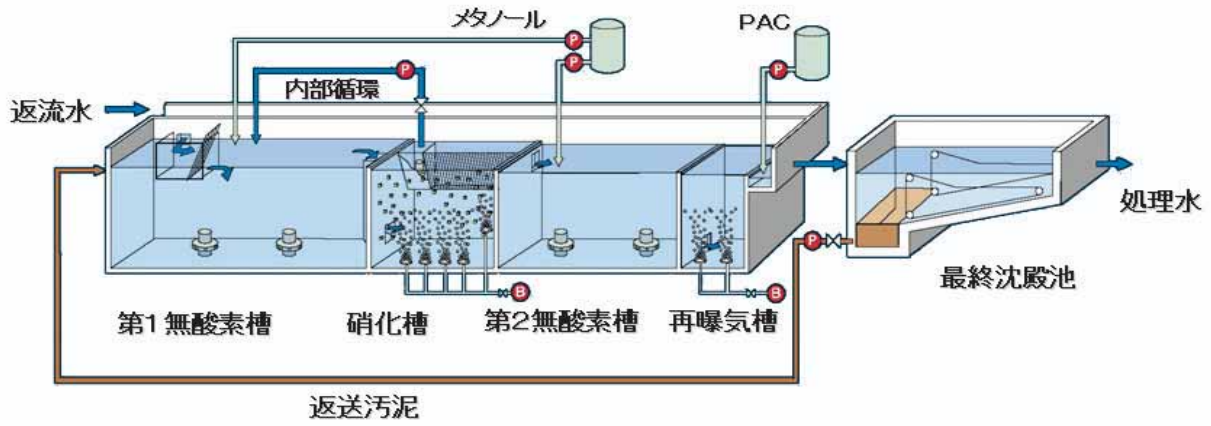


Fig. 1 Schematics of the Barrdenpho process with nitrifying biomass carriers and simultaneous precipitation

### 3. 実験方法

同再生センター内にパイロット・スケールの実験プラントを設置し、連続運転を行なった。プラント各所の水質を定期的に測定し、処理性能を評価した。

#### 3.1 実験プラントの概要

実験プラントのフローシートを Fig. 2 に、反応槽容量を Table 2 に、運転条件を Table 3 に示す。

所定の割合で混合し、流入スクリーンで夾雑物質を除去した後に、実験装置に供給した。最初沈殿池は実験に応じて使用し、実験装置には無酸素槽にはメタノール、好気槽には苛性ソーダ、再曝気槽の後段には PAC を添加できるようにした。

Table 2 Tank volumes of the pilot plant

槽名称	容量 (m <sup>3</sup> )
反応槽 (計)	18.3
第1 無酸素槽	4.5
硝化槽	6.9
第2 無酸素槽	5.4
再曝気槽	1.5
最終沈殿池	4.9

※ 設計水量は 24 m<sup>3</sup>/日

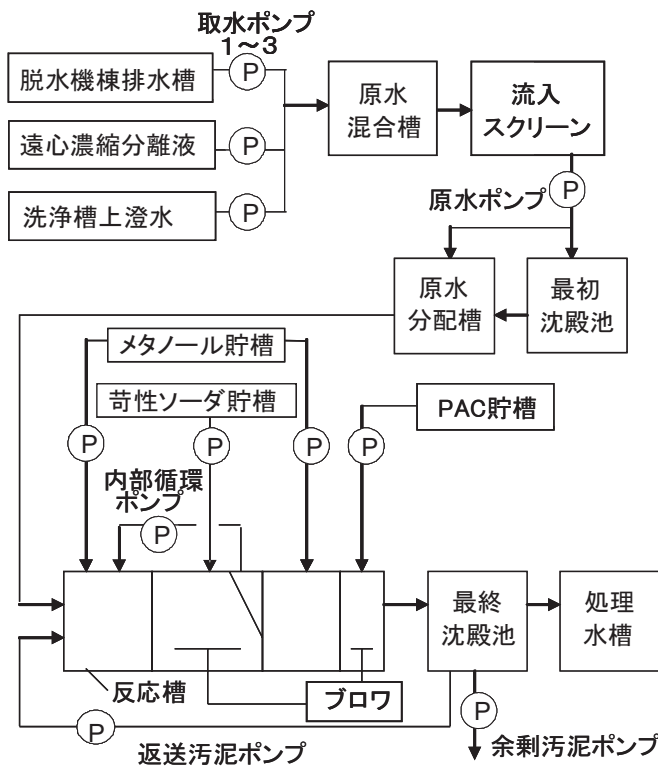


Fig. 2 Schematic flow of the pilot plant

Table 3 Designed operating condition of the pilot plant

水温	[°C]	18
担体添加率	[%]	14
反応槽 HRT	[h]	18
汚泥返送比	[-]	1.0
内部循環比	[-]	1.5
MLSS	[mg/L]	2900
好気槽 Ph	[-]	6.5~7.5

実験原水は、ポンプ吸引された脱水機棟排水槽混合液、遠心濃縮分離液、洗浄槽上澄水を原水混合槽にて

### 4. 実験プラント運転結果

#### 4.1 高水温期の流入水質・負荷

安定した運転データが採取できた期間 (9/10~

10/31) の流入水質の経日変化を Fig. 3 に示す。一時的に SS 濃度が上昇することがあり、これに付随して BOD、T-N、T-P など変動した。これは、主として洗浄槽の運転状況に起因すると考えられる。

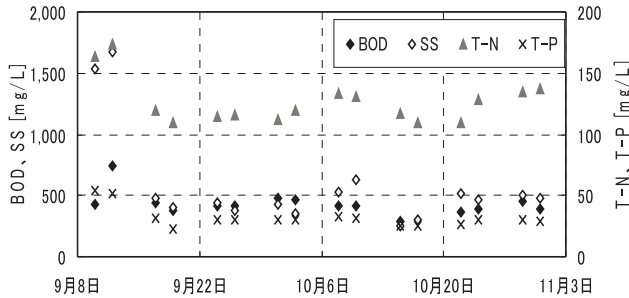


Fig. 3 Influent concentrations during the high temperature period

4.2 高水温期の運転状況

本設の返送汚泥を種汚泥としたプラント立上げ後、馴養に約1ヶ月を要した。データを取得した時期は、夏季から秋季に相当する時期で、反応タンク水温は20.8~31.5℃(平均水温26.8℃)と比較的高かった。当初、アルカリ添加を行わない運転を試みたが、硝化の進行と共に好気タンクのpHが著しく低下したため、好気タンクへ苛性ソーダを添加する措置をとった後、高水温期のデータを取得した。

なお、pHが低下した期間を中心に、硝化槽出口に設置した担体分離スクリーンの閉塞が見られたため、内部循環液出口へし渣カゴを設置して活性汚泥混合液中のし渣などを除去する措置をとった。

4.3 高水温期の処理水質

高水温期の平均水質(9/10~10/31)をTable 4に示す。

処理水のT-BOD、S-BODはそれぞれ平均で5.6、1.1mg/Lであった。T-BODの除去率は平均98.7%と極めて高く、処理水T-BODの目標値である10mg/Lも満足した。

SSは終沈処理水で後段処理を考慮した目標値9mg/L以下となり、98.7%の除去率が得られた。

処理水のT-NおよびS-T-N濃度はそれぞれ平均で3.1、3.0mg/Lと、目標値である11mg/Lを十分に満足した。総合窒素除去率は平均97.6%と極めて高く、硝化対象窒素量に対し、99%が硝化・脱窒されていた。

T-PおよびS-T-P濃度は終沈処理水で、それぞれ平均で1.3、1.1mg/Lと、T-P除去率としては95.9%と高かったが、砂ろ過を考慮した目標値を若干上回る結果となった。

Table 4 Average effluent qualities in the high temperature Period (Sep.10 - Oct.31)

	流入水質 [mg/L]	処理水質 [mg/L]	除去率 [%]	目標処理水質 [mg/L]
T-BOD	432	5.6	98.7	10
S-BOD	24	1.1	—	—
SS	587	7.9	98.7	(9)*
T-N	127	3.1	97.6	11
S-T-N	90	3.0	—	—
T-P	32	1.3	95.9	(1)*
S-T-P	19	1.1	—	—

\* 括弧書きの数値は、後段処理(砂ろ過など)を前提としたもの。

4.4 流入SS負荷対策としての前凝集と初沈の効果

実験プラントでは、夏場と冬場の両方において、原水SS濃度が高い期間が続くと処理状況が顕著に悪化する傾向がみられた。そこで、流入SS負荷対策として、最初沈殿池における前凝集処理の効果について事前検討を行った上で、Fig. 4に示す前凝集処理設備を設置し原水性状を安定化した後、生物反応槽へ流入させることとした。

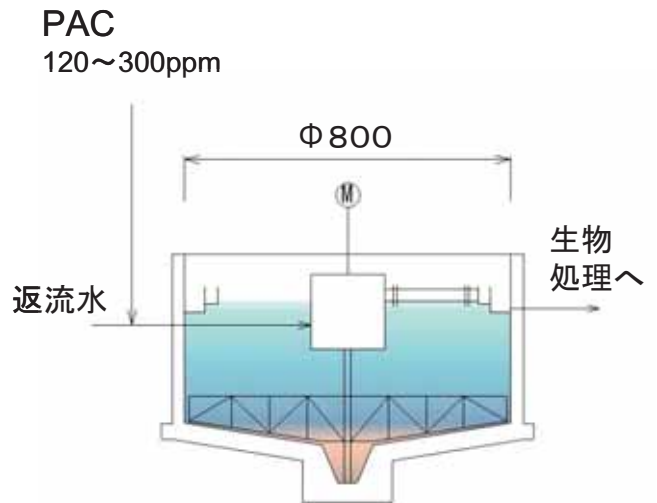


Fig. 4 Schematics of primary clarifier combined with chemical precipitation

最初沈殿池にて前凝集処理を行なうことにより、以下の効果が得られた。

- ①流入SSの内、65~76%が除去された。
- ②流入C-BODの内、46~62%が除去された。
- ③流入水のケルダール性窒素は20%前後が除去された。

- ④流入 T-P の内、43%~48%が除去された。  
 ⑤流入水中の対象物質濃度を低減させるだけでなく、  
 負荷変動の抑制にも効果があることがわかった。

#### 4.5 低水温期の流入水質・負荷

最初沈殿池における前凝集処理を実施しながら、安定した運転データが採取できた期間 (4/3~5/12) の流入水質の経日変化を Fig. 5 に示す。汚泥処理系の運転に伴い、一時的に SS 濃度が上昇することがあり、これに付随して BOD、T-N、T-P などとも変動した。

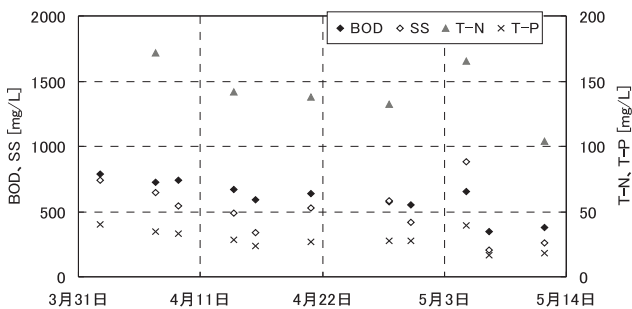


Fig. 5 Influent concentrations during the low temperature period

#### 4.6 低水温期の運転状況

反応タンクの水温が 18℃から 23℃へ上昇する時期であり、平均水温は 21.3℃であった。本期間以前には、設計水温 (18℃) を下回る水温条件にて、原水 SS 負荷の急上昇などにより、処理機能全般が悪化したため、原水性状を安定化させるため前述の最初沈殿池の使用を開始した。最初沈殿池では PAC を添加し、前凝集処理を行うことで原水性状は安定化した。その後、低水温期のデータを取得した。

#### 4.7 低水温期の処理水質

低水温期 (4/3~5/12) の平均水質を Table 5 に示す。

処理水の T-BOD、S-BOD はそれぞれ平均で 12.2、1.8mg/L であった。S-BOD は平均 1.8mg/L と低濃度で当該プロセスの有機物除去機能は良好であった。

SS は最終処理水で 25.9mg/L となり、94.5%の除去率が得られた。

処理水の T-N および S-T-N 濃度はそれぞれ平均で 3.4、2.2mg/L と、目標値である 11mg/L を十分に満足した。総合窒素除去率は平均 97.6%と極めて高く、また硝化対象窒素量に対し、概ね 100%が硝化・脱窒されていた。

処理水の T-P および S-T-P 濃度はそれぞれ平均で 1.9、0.8mg/L となり、T-P 除去率としては 93%と高かったが、砂ろ過を考慮した目標値を若干上回る結果となった。

Table 5 Average effluent qualities in the high temperature period (Apr.3 - May 12)

	流入水質 [mg/L]	処理水質 [mg/L]	除去率 [%]	目標処理水質 [mg/L]
T-BOD	587	12.2	97.9	10
S-BOD	16	1.8	—	—
SS	475	25.9	94.5	(9)*
T-N	139	3.4	97.6	11
S-T-N	111	2.2	—	—
T-P	27	1.9	93.0	(1)*
S-T-P	11	0.8	—	—

\* 括弧書きの数値は、後段処理(砂ろ過など)を前提としたもの。

## 5. まとめ

消化汚泥脱水ろ液を含む返流水を HRT18hr 程度で処理する極めて高負荷な高度処理プロセスについて、高水温期・低水温期いずれにおいても、BOD および窒素に係る目標処理水質が概ね達成できることを確認した。

当初は最初沈殿池を使用しない運転を試みたが、水温に関わらず、長期に亘って原水 SS 負荷が高くなると、処理状況が不安定となる傾向が見られた。そこで、前凝集と最初沈殿池を併用した前処理を導入し反応槽流入水の SS 負荷量などを低減することで、安定した処理が可能となった。

本調査で実施した実証実験では、原水が当該返流水処理システムで想定されるものと同一でない (し尿等が混入していない) ため、当該返流水処理システムの想定流入負荷量に対する処理性能を評価するには至っていない。また、約 1 年間という実験期間上の制約から、メタノール、PAC、苛性ソーダなどの薬品使用量を低減する検討も十分には実施していない。したがって、今後は、(a)処理性能の安定化、(b)薬品費などユーティリティの低減、の 2 点が重要な課題になると考えられる。

## 参考文献

- 1) 広島市下水道局, 日本下水道事業団: 平成20年度広島市返流水処理技術調査 I. 返流水処理システムの実証実験報告書, (2008)
- 2) 日本下水道事業団技術評価委員会: 包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ペガサス」の評価に関する報告書, (2003)