

スポンジ担体を用いた流動床型生物膜処理法による高負荷処理

徳野 光宏* 佐久間 博司*
府中 裕一* 池田 晃啓**

High-load treatment by Moving-bed Biofilm Process using Sponge Media

by Mitsuhiro TOKUNO, Hiroshi SAKUMA, Yuichi FUCHU, & Akihiro IKEDA

Tests were done at a paper mill to study the performance of a moving-bed biofilm process, featuring the use of sponge media (Type II Ebafoam), for treating wastewater. An S-COD removal exceeding 65% was indicated under a COD volumetric load of below 4 kg/(m³·day), and a high S-BOD removal of 90% under a BOD volumetric load of below 3.5 kg/(m³·day). Based on such findings, a sponge-media-using, moving-bed biofilm treatment system was employed at the paper mill. This system is achieving an S-COD removal of 60%, the designed value, under the design S-COD volumetric load of below 2.5 kg/(m³·day). The use of this system for treating other industrial wastewater and at small-scale sewage treatment plants is being looked into.

Keywords: Sponge media, Moving bed, Biofilm process, Volumetric loading, Activated sludge process, Paper mill wastewater, Sewage, Industrial wastewater, Chemical clarification, Aluminum sulfate

1. はじめに

下水道や産業排水分野において、有機性排水を生物学的に好気条件で浄化する方法は生物膜法と活性汚泥法に大別される。生物学的反応槽において、前者は浄化微生物を担体表面に付着させたものであるのに対し、後者は微生物群として浮遊させた方法である。

今回紹介する方法は、スポンジ担体に微生物を付着させた生物膜法と微生物を浮遊させた活性汚泥法の両者を組み合わせた方式であり、浄化微生物を集積化できるので高負荷処理ができ、また生物膜法での閉塞問題や活性汚泥法での微生物流失問題が回避できる。更に、既に活性汚泥処理施設のあるところでは生物反応槽に担体を投入することで大幅な能力アップが図れる。高負荷処理が可能な本法では、具体的には通常の二次処理だけではなく、下水道放流や二次処理の前処理を目的とした高濃度排水のBOD粗取り処理への適用が可能である¹⁾。また、維持管理の容易さも評価され、ライフサイクルを通じて

経済的なプロセスが必要とされる運営委託や民営化(PFI)に向けて大いに注目を浴びている^{1~10)}。

本稿では本法の概要と産業排水における実施例を紹介し、今後の展開として小規模下水への適用について検討した。

2. 原理

2-1 担体

写真1にスポンジ担体の外観を、表1に仕様を示す。担体はスポンジ状で10 mm角の立方体であり、内部に3

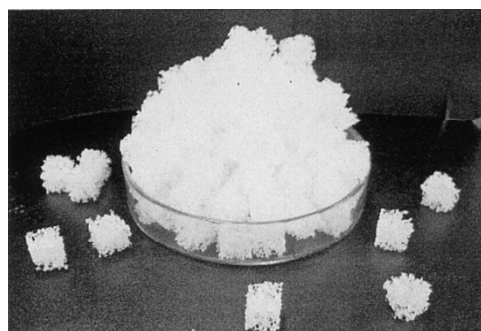


写真1 担体の外観

Photo 1 Appearance of media

* 環境エンジニアリング事業本部 水環境・開発センター
応用技術室

** 営業本部 産業水処理事業センター 技術室

表1 担体の仕様
Table 1 Specifications of media

項目 Item	仕様 Specifications
材料 Material quality	ポリエチレングリコール系 Polyethylene-Glycol-made
寸法 Size (mm)	10 × 10 × 10
密度 Density (kg/m ³)	35.5

次元網目構造を有し、担体表面だけでなく、内部にも微生物を付着することができる。材料はポリエチレングリコール系であり、親水性や耐摩耗性が高いという特長がある。過去にポリエチレングリコール系以外の材料でできた担体について耐久性能を比較したところ、ポリエステル系は加水分解による劣化を生じ、ポリエーテル系は立方体の担体が摩耗により使用途中で球体になった。そこで、加水分解性に強く、耐摩耗性を強化したポリエチレングリコール系担体を採用した。

2-2 担体を用いた装置構造

図1に本法の生物反応槽の構造を示す。槽下部には曝気装置が配置され、曝気装置からブロワによって生物反応槽内に旋回流を生じさせ、担体を流動化させるとともに酸素を供給する。また、処理水流出部にはスクリーンを設置することで担体の流出を防止している。

2-3 処理工程

図2に一般的なフローシートを示す。処理工程は調整槽、生物反応槽、凝集槽及び沈殿槽から成り立っている。調整槽は廃水の量と質を均一化するためのものであり、変動の少ない場合には省略できる。

生物反応槽では廃水中の有機物が主に担体表面に付着した微生物によって浄化されるとともに、肥大化した生物膜が旋回流によるせん断作用で担体から剥離し、余剰汚泥となる。廃水中のSSや余剰汚泥は凝集槽で無機凝集剤と高分子凝集剤添加による化学的反応により凝集フロックとなり、次工程の沈殿槽で処理水と汚泥とに固液分離される。

3. 製紙工場排水を対象にした現地実験

製紙工場排水を対象にした有機物の除去効果を実証することを目的に、A社B工場でプラント実験を実施した。また、流動床型生物膜処理法はS-BODやS-CODなど溶解性の有機物が除去できるものの、処理水にSS性の有機物が含まれているため、これらを除去するには固液分離処理が必要である。そこで、流動床型生物膜処理水の

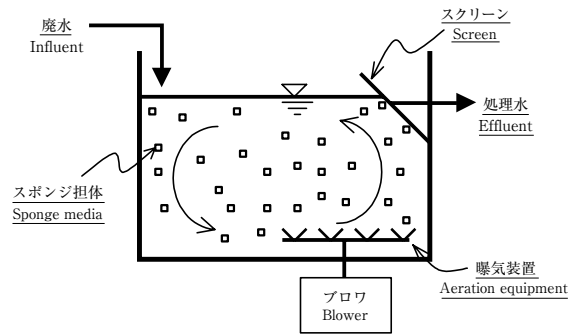


図1 生物反応槽の構造
Fig. 1 Structure of reactor

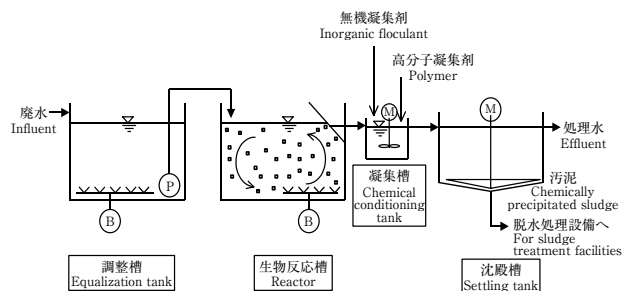


図2 フローシート
Fig. 2 Flow sheet

表2 実験装置の仕様
Table 2 Specifications of experimental equipment

項目 Item	仕様 Specifications
寸法 Size	W 1000 mm × L 500 mm × H 1320 mm
有効容量 Effective volume	575 l
担体充填率 Ratio of filled media	30%

SS性のCOD除去を目的に、凝集沈殿処理試験を行った。

3-1 実験装置

表2に実験装置の主な仕様を示す。生物反応槽の有効容積は575 lであり、スポンジ担体の充填率は槽容積に対して30%である。

3-2 実験条件

表3に処理条件を示す。実験はRun1からRun4まで行った。Run1ではCODとBOD容積負荷ともに0.9 kg/(m³・d)の条件で処理を行った。その後はRun2からRun4にかけて原水流入水量を段階的に上げて、COD容積負荷を2.0 kg/(m³・d) [BOD容積負荷1.6 kg/(m³・d)], 更にはCOD容積負荷を3 kg/(m³・d) [BOD容積負荷3

表3 現地実験の処理条件
Table 3 Experimental conditions

	Run1	Run2	Run3	Run4
COD容積負荷 [kg/(m ³ ·d)] COD volumetric loading	0.9	2.0	2.7	3.7
BOD容積負荷 [kg/(m ³ ·d)] BOD volumetric loading	0.9	1.6	2.5	3.2
原水水温 (°C) Raw water temperature	38	36	35	38
原水流入水量 (m ³ /d) Raw water flow rate	1.9	4.3	7.2	9.3
反応槽内水温 (°C) Reactor temperature	29	25	34	36
曝気槽内通気量 (l/min) Reactor air flow rate	330	230	270	280
曝気槽HRT (h) Reactor HRT	7.4	3.2	1.9	1.5

kg/(m³·d)] 以上に変化させた。

使用した担体はあらかじめ食品排水を対象とした処理に供して、生物膜を付着させたものである。

3-3 実験結果

(1) S-COD 除去性能

図3にCOD容積負荷と処理水S-COD, S-COD除去率の関係を示す。

処理水S-CODはCOD容積負荷4 kg/(m³·d)以下の条件において60 mg/l前後でほぼ一定であった。また、S-COD除去率はCOD容積負荷3 kg/(m³·d)以下の条件で70%以上、COD容積負荷約4 kg/(m³·d)の条件でも約65%の高い性能が得られた。

(2) S-BOD 除去性能

図4にBOD容積負荷と処理水S-BOD, S-BOD除去率の関係を示す。

処理水S-BODはBOD容積負荷3 kg/(m³·d)以下の条件において10 mg/l以下、BOD容積負荷3~3.5 kg/(m³·d)の条件で10 mg/l前後であった。また、S-BOD除去率はBOD容積負荷3 kg/(m³·d)以下の条件でほぼ95%以上、BOD容積負荷3.5 kg/(m³·d)付近でも90%以上であった。

以上の結果から、スポンジ担体を用いた流動床型生物膜処理法を製紙工場排水処理に適用した場合、高負荷処理でS-CODとS-BODの高い除去性能が得られることが実証された。

3-4 凝集沈殿処理試験結果

流動床型生物膜処理水 [COD容積負荷4 kg/(m³·d)の条件で流動床型生物膜処理したもの] を対象に、凝集沈殿処理試験を実施した。

図5に硫酸バンド添加量とCOD除去率の関係を示す。

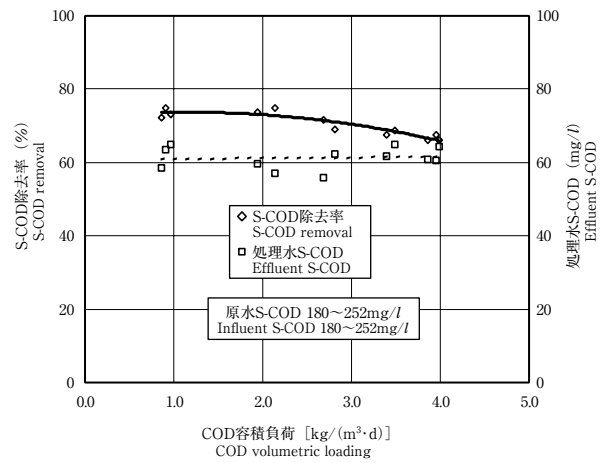


図3 COD容積負荷と処理水S-COD, S-COD除去率
Fig. 3 Relation among COD volumetric loading, effluent S-COD, and S-COD removal

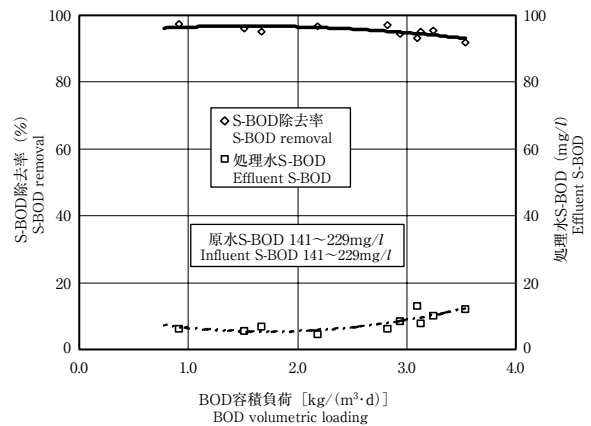


図4 BOD容積負荷と処理水S-BOD, S-BOD除去率
Fig. 4 Relation among BOD volumetric loading, effluent S-BOD, and S-BOD removal

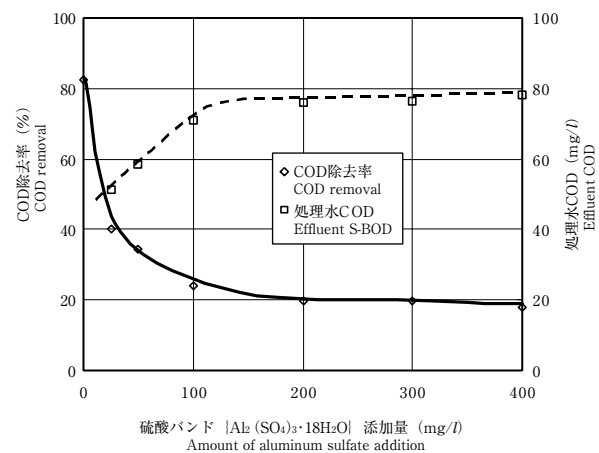


図5 硫酸バンド添加量とCOD除去率の関係
Fig. 5 Relation between amount of Aluminum Sulfate addition and COD removal

硫酸バンド添加量 200 mg/l, 凝集 pH=6.0, アニオンポリマ添加量 1 mg/l の条件で凝集沈殿処理することで, COD 成分は 83 mg/l から 20 mg/l まで低減され, 約 80% 除去されている。

この結果から, 流動床型生物膜処理と凝集沈殿処理を組み合わせることにより, SS 性の COD も含めた処理が可能となる。

4. 製紙工場排水の実設備試運転実施例

現地実験の結果を基にして納入した流動床型生物膜処理設備の試運転実施結果を以下に紹介する。

4-1 設備概要

図 6 に設備のフローシートを示す。流動床型生物膜処理設備は既設の固定床型生物反応槽 2 槽の躯体を利用して更新工事したものである。槽内には担体の流出を防止するため, 処理水出口側にスクリーンを設置し, 散気装置は槽内で担体を回転させるため, 槽内底部面積の約半分を占める範囲だけに設置してある。

処理水量は 140 m³/(h・槽), 各生物反応槽の有効容積は 280 m³, スポンジ担体の充填率は槽容積に対して 25% としてある。

4-2 設計条件

設計条件は, 原水 S-COD 210 mg/l, S-BOD 190 mg/l, S-COD 容積負荷 2.5 kg/(m³・d) 以下, S-COD 除去率 60% である。

4-3 試運転期間と運転条件

試運転期間は 2003 年 3 月 21 日～4 月 24 日である。試運転開始当初は各槽に原水 150 m³ と スポンジ担体 70 m³

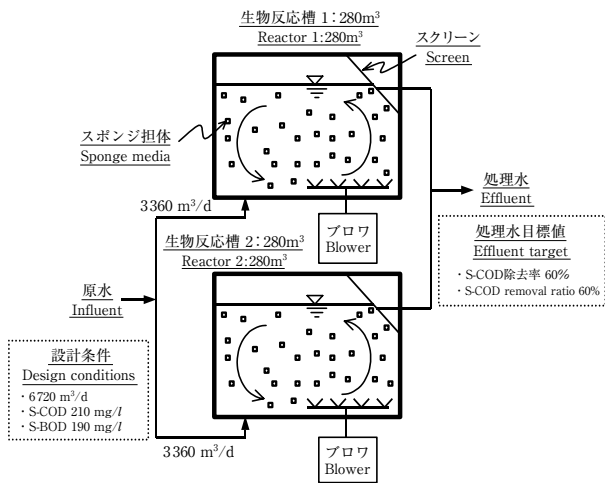


図 6 設備フローシート
Fig. 6 Flow sheet of equipment

と MLSS 約 15000 mg/l の種汚泥 50 m³ を同時に投入し, 曝気だけを行った。曝気だけの運転で担体に汚泥の付着が認められたため, 3 月 24 日以降連続処理を開始した。処理水量は 3 月 24 日～27 日が 55 m³/(h・槽), 3 月 28 日～4 月 2 日が 100 m³/(h・槽) と段階的に増加させた。4 月 3 日以降は設計水量の 140 m³/(h・槽) で運転した。

4-4 処理結果

図 7 に COD と BOD の処理経過を示し, 表 4 に設計水量における平均水質を示す。

原水 S-COD は運転開始当初 150 mg/l 前後であった。その後徐々に増加し, 4 月 9 日前後には 250 mg/l 前後となり, それ以降は 150 mg/l 程度まで減少した。試運転期間中の S-COD 容積負荷は最大で 3.2 kg/(m³・d) となった。

処理水 S-COD は運転開始直後 40 mg/l 前後 (S-COD 除去率 73～80%) であった。その後, 原水濃度の増加とともに高くなり, 4 月 9 日前後に 100 mg/l を超え (S-

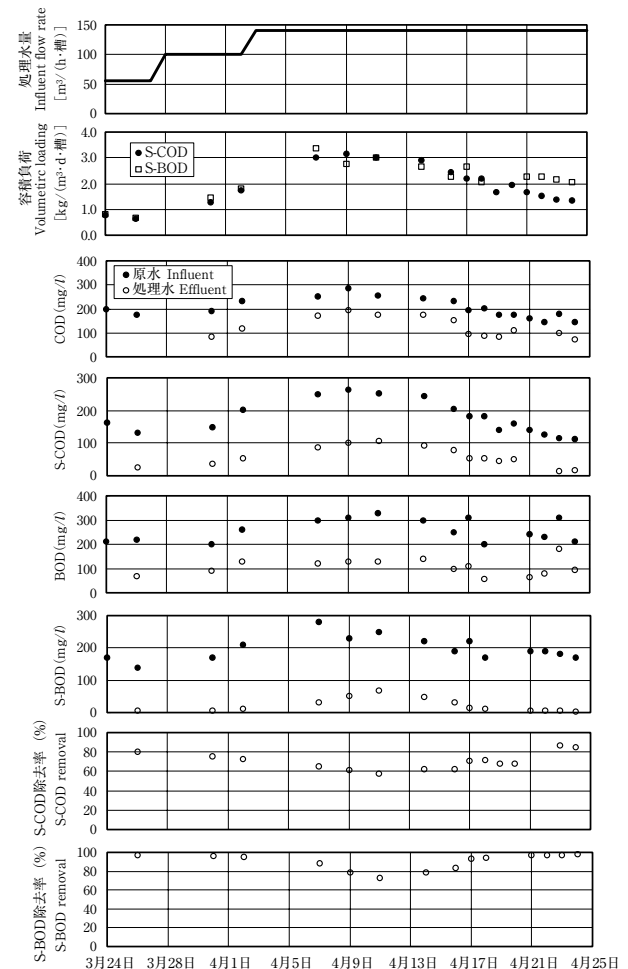


図 7 試運転期間中の処理経過
Fig. 7 Changes in water quality during the test run

表4 設計水量における平均水質

Table 4 Average water quality at design influent flow rate

項目 Item	原水 Influent	処理水 Effluent
期間 Period	2003年4月3日～4月24日 April 3, 2003 to April 24	
処理水量 [m ³ /(h・槽)] Influent flow rate	140	
S-COD容積負荷 [kg/(m ³ ・d)] S-COD volumetric loading	2.2 (1.3～3.2)	
S-BOD容積負荷 [kg/(m ³ ・d)] S-BOD volumetric loading	2.5 (2.0～3.4)	
pH	6.7 (5.8～7.7)	6.9 (6.5～7.5)
SS (mg/l)	190 (68～420)	260 (80～470)
COD (mg/l)	204 (146～287)	133 (73.2～193)
S-COD (mg/l)	183 (112～264)	66 (15.0～106)
BOD (mg/l)	270 (200～330)	110 (3.7～69)
S-BOD (mg/l)	210 (170～280)	27 (3.7～69)
S-COD除去率 (%) S-COD removal	69 (58～87)	
S-BOD除去率 (%) S-BOD removal	89 (95～96)	

() 内の数値は水質の変動範囲を示す。
The number in parentheses is the change range of water quality.

COD除去率60%前後), それ以降は4月17日で約50 mg/l (S-COD除去率71%), 試運転終了前は20 mg/l以下 (S-COD除去率85%以上) と原水濃度とともに徐々に低下した。

設計水量におけるS-COD除去率は, 平均S-COD容積負荷2.2 kg/(m³・d) に対し, 4月11日を除いて設計条件の60%を上回っていた。また, この期間の処理水平均S-CODは66 mg/lであった。

S-BODの挙動もS-CODと同様であり, 設計水量における平均の処理水S-BODは27 mg/l, S-BOD除去率は89%であった。

4-5 S-CODとS-BODの除去性能

試運転期間中の処理結果から求めたS-COD容積負荷とS-COD除去率, S-BOD除去率の関係を図8に示す。

S-COD除去率はS-COD容積負荷の増加に伴い低下する傾向にあるものの, 容積負荷2 kg/(m³・d) 以下で70%以上, 3 kg/(m³・d) 付近で約60%であり, 設計の性能を十分満足する結果が得られている。また, S-BOD除去率はS-COD容積負荷2.5 kg/(m³・d) 付近まで90%以上であり, 高い除去率を示している。

このように, 製紙工場の既設排水処理設備を本法に転用することで, 高負荷処理が可能となる。

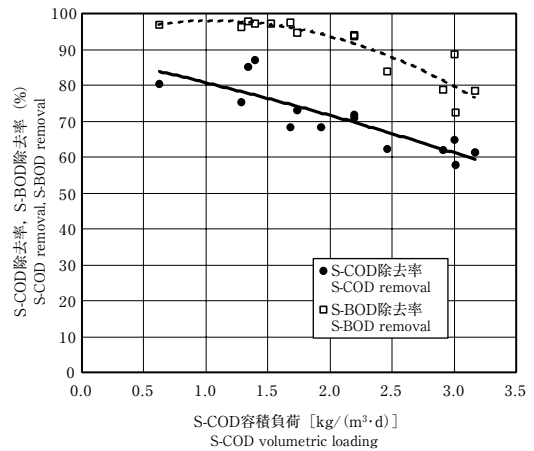


図8 S-COD容積負荷とS-COD除去率, S-BOD除去率の関係
Fig. 8 Relation among S-COD volumetric loading, S-COD removal, and S-BOD removal

5. 今後の展開

現在, 公費削減が進められる中, 下水処理施設運営の民間委託が検討されており, 今後徐々に進んでいくものと考えられる。とりわけ, 地方の自治体においては, 財政規模が小さいことや専門技術者の確保が難しいことなどから, 民間委託の進行が早いと考えられる。このような状況から, 下水処理施設の建設, 運営にかかわるコスト低減が益々重要になり, 目標水質を達成するための適切な装置をできるだけ安く提供していくことが強く求められるようになってきている。本処理法は高負荷のBOD処理が可能であり, 経済的なプロセスとして小規模下水処理への適用が考えられる。

スポンジ担体を用いた本処理法を下水処理に適用した場合, BOD容積負荷2 kg/(m³・d), 原水のBODを150 mg/lとすると, 反応槽の滞留時間は1.8時間となる。本法では2時間程度の滞留時間でS-BOD除去率90%以上得られることから, 下水処理に適用した場合の滞留時間は2時間程度で十分と考えられる。すなわち, 本法では反応槽の容積を標準活性汚泥法 (滞留時間6～8時間) の1/3程度まで低減可能である。なお, 反応槽から流出するSSは活性汚泥に担体を投入する方式とすることで, 従来と同様に最終沈殿池で除去することができる。また, 本法は固定床型生物膜法のような閉塞の問題がなく, 活性汚泥法のように汚泥流出による性能低下の問題がないことから, 運転管理が比較的容易である。したがって, BOD除去を目的とした小規模な施設では, 本法により建設コストや維持管理コストの低減につながるものと期待できる。更に, 本法は担体を投入するだけなので, 新

設だけでなく既設の能力アップや更新にも対応が比較的容易である。

このように本法を下水のBOD除去施設に適用することは有効であり、今後小規模下水処理プロセスの一つとして展開が期待できる。

6. おわりに

スポンジ担体を用いた流動床型生物膜処理法は、製紙工場排水処理に適用でき、既設の躯体設備を利用して能力増強が可能であることが実証された。本法はこれまで飲料水製造排水処理向けを中心に実績を積んでいるが、今後は製紙工場排水以外の産業排水処理や小規模下水処理への水平展開が期待できる。

参考文献

- 1) 小三田栄, 村中雄一, 立石尚広: スポンジ状担体を用いた流動床型生物膜処理法による産業排水のBOD高負荷処理, 第39回下水道研究発表会講演集, p.776~p.778 (2002)
- 2) 府中裕一, 伍賀洋, 米山豊, 津田精一: ウレタンフォームを用いた流動床型生物膜処理, 用水と廃水, Vol.32, No.5, p.391~p.398 (1990)
- 3) 近藤雅夫, 宝蔵銃一, 里中幸雄: 多孔質スポンジ様担体添加間欠曝気活性汚泥方式による高度処理, 用水と廃水, Vol.34, No.10, p.850~p.858 (1992)
- 4) 小川雄比古, 下高原博美, 佐藤洋子, 大野茂, 立本英機: ウレタンフォーム担体を用いた流動床型小規模合併処理浄化槽の開発, 用水と廃水, Vol.39, No.6, p.510~p.516 (1997)
- 5) Hallvard Odegaard: 流動床生物膜リアクター, 水環境工学国際(西原)講座, 寄稿論文No.13, (1999)
- 6) 川嶋淳, 加治正廣: 高負荷対応型流動床式生物処理装置(パビオムーバ)について, 紙パ技協誌, 第54巻, 第8号, p.1039~p.1044 (2000)
- 7) 高島正信, 池本良子: スポンジ担体による回分式活性汚泥法の処理能力及び汚泥沈降性の改善に関する基礎研究, 下水道協会誌, Vol.38, No.460, p.89~p.98 (2001)
- 8) 出口浩, 浦部幹夫, 柏谷衛: スポンジキューブ固定化担体を用いる高濃度微生物処理(3), 第30回下水道研究発表会講演集, p.509~p.511 (1993)
- 9) 小川雄比古, 下高原博美, 立本英機: ウレタンフォーム担体を用いた流動床型小規模排水処理技術の処理特性, 第2回日本水環境学会シンポジウム講演集, p.3~p.4 (1999)
- 10) 局俊明, 馬場圭: 微生物固定化担体を用いた高度下水処理技術, バイオサイエンスとインダストリー, Vol.58, No.8, p.546~p.551 (2000)

