

# 緩速汙過池用汚砂掻取ロボット

## Automatic Sand Scraper for Slow Sand Filter



(環)技術部 計画第1課

原 田 元

Hajime Harada

浦 本 博 文

Hirofumi Uramoto

While the slow sand filtration has great advantages, such as good quality of treated water and easy maintenance it suffers from the clogging of the surface of the filter media as filtration progresses, since it has no grit washing mechanism like rapid filtration. Whenever the filtration head loss increases as a result of clogging, the filtration must be halted for a while to scrape a surface layer, consuming fair amount of manpower, and also new sand media must be supplemented.

Although such a work is repeated normally once every month or two, the labor intensive working, for example, the extended area of the filtration basin, outdoor labor under the blazing sun and cold weather, pose several problems, giving impression of "outdated". In addition, scraping a thin and uniform layer from the filter bed requires considerable skill. With the purpose of the mechanization of sand scraping job to save labor and improve working conditions at the water filtration plants, Shinko-Pfaudler has implemented the development of the computer controlled robot.

### まえがき

近年、水道に課せられている使命は、豊富な量の安全な水を供給するだけでなく、美味しい良質の水を供給することにある。夏期における、かび臭の発生が繰り返す話題になりだしてから相当の年数が経過している。また、水域周辺の開発が進むにつれて、水道水源にあたる湖沼やダムはさまざまな有機物、無機物、場所によっては有害物質などによって汚染が増大し、保健衛生上の見地から適切な対策がとられつつある。

浄水場を都市部に新しく建設しようとする場合、敷地に制限があれば、急速汙過池を主体とする処理に頼らざるをえない。この場合、安全で美味しい良質の水を供給するためには、汙過後にオゾン酸化や活性炭吸着による高度処理を設置することとなるであろう。

一方、地方において敷地が十分に確保できる場合や都市部でも既存の浄水場の場合には、緩速汙過池を主体とする処理が見直されつつある。

緩速汙過法は一般に複雑な処理技術を必要とせず維持管理が易しいうえに、原水水質に制約はあるものの、保健衛生上安全度の高い良質な水を常に得ることができる。これは緩速汙過池の汙層に繁殖する微生物群による生物的な分解作用により、水中の懸濁物質や細菌のほかアンモニア性窒素、異臭味物質、鉄やマンガン、合成洗剤、フェノールなどが除去されるためである。したがって最近では安全だけでなく美味しい水が得られるということで、改めて高い評価を受けつつある。

緩速汙過池は、維持管理が簡単で良質の水が得られるという大きい長所を有するが、急速汙過池のような汙層の洗浄機構を持たないため、汙過を継続するにしたがって、汙層表面が閉塞し、汙過損失水頭が増大して必要な通水量が保てなくなる。この場合一旦汙過を停止し、水抜きをした

うえで、大勢の人の労力によって表層 10 mm 程度の汚砂を掻取り、補砂する作業によって汙層表面の更新を行っている。この作業は通常 1~2 カ月に 1 回程度行われるが、汙過池が広大であること、屋外の炎天下や寒冷下の過酷な作業になるばかりでなく、汙層表面の汚砂を薄く均一に掻取る作業のために、かなりの熟練度が要求されるために作業性の改善が望まれている。

このたび当社は緩速汙過池のこのような汚砂掻取作業を自動化するために、(財)神戸市水道サービス公社と共同で、緩速汙過池の水中を走行しながら、汙層表面の汚砂を掻取り、これを池外に搬出するロボットの開発を行い、某浄水場にて実証運転の機会を得たので、その結果を紹介する。

### 1. 概要

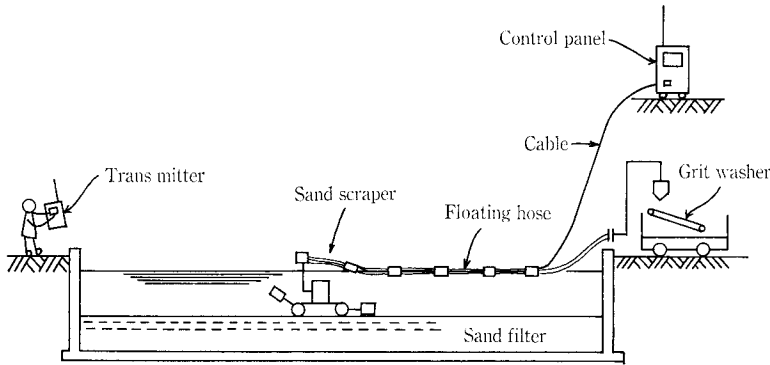
#### 1.1 装置概要

本システムは、水張状態の緩速汙過池の汙層表面上を、あらかじめ記憶している走行パターンに従って自動走行しながら、汚砂の掻取りおよび、池外への搬出を同時に行う人工頭脳付き全自動ロボットである。

水中を自動走行する汚砂掻取ロボット本体には、ロボット自身の位置を確認するための各種のセンサー、走行や汚砂の掻取りおよび、池外への搬出の動作を自己コントロールするためのマイクロコンピュータ、汚砂を均一な厚さに掻取るためのスクレーパー型掻取機および、汚砂を汙過池外に搬出するサンドポンプを搭載しており、これらがキャタピラーにて走行する台車上にコンパクトに一体化されている。

その外形を写真1に示す。

さらに汚砂掻取ロボットで掻取られた汚砂は、濁水とともに池の水面に浮かせたフロートホース内を通して、陸上に別途設置されている洗砂機に搬送され、洗砂・ふるい分け



第1図 フローシート  
Fig. 1 Flow sheet

・選別までの一連の作業を行うことができるシステムとなっている。

またロボットへの運転指令は、汚過池周辺の任意の位置から自由に操作のできるハンディ型通信機により、一旦無線電波で陸上の制御盤へ送り、制御盤からはフロートホースに締結した有線ケーブルを介して、水中のロボットへ電源とともに運転信号を送るシステムとした。

以上のフローシートを第1図に示す。

なお、自動運転中のロボットの全景を写真2に示す。

### 1. 2 ロボットの構成

水中を自動走行する汚砂掻取ロボットの構造(第2図)および機能は次のとおりである。

#### 1) 走行キャタピラー

汚層表面上を走行させるためのもので、水中の軟弱な砂面上でも沈下することなく円滑に走行できるように左

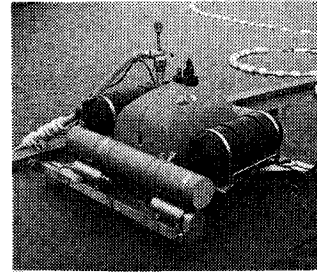


写真1 汚砂掻取ロボット  
Photo.1 Automatic sand scraper (Robot)

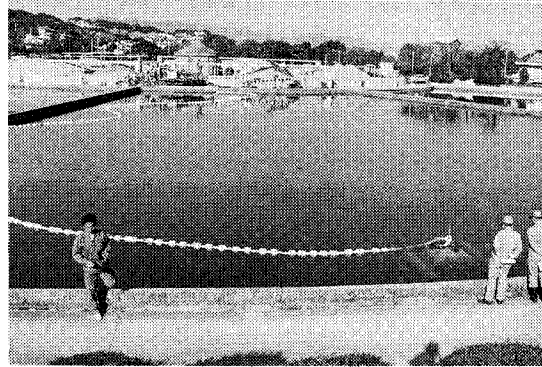
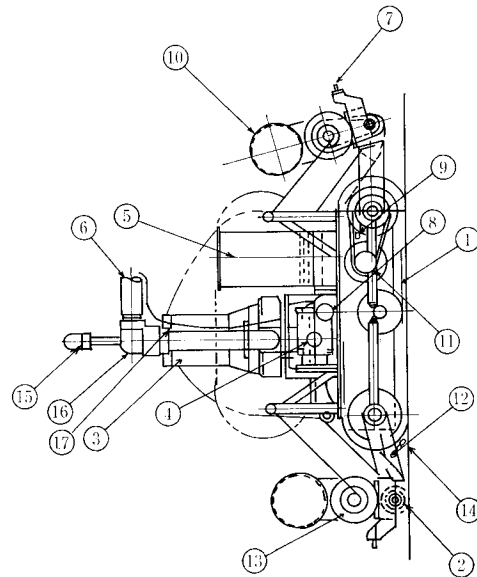
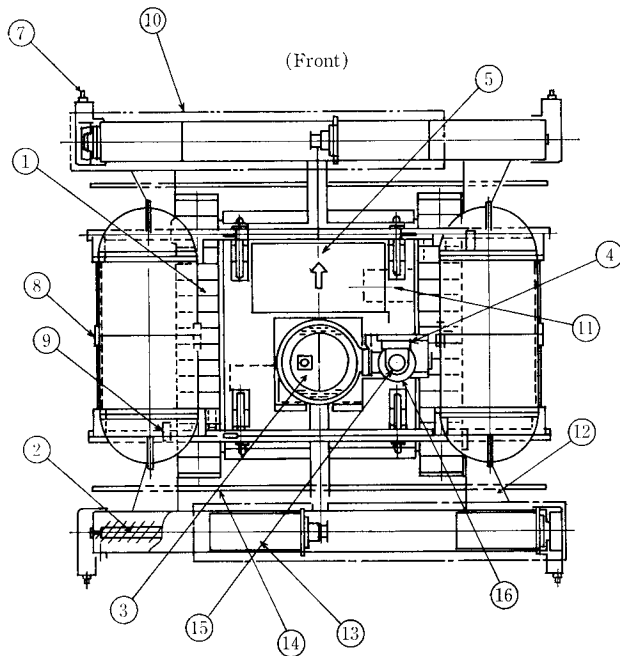


写真2 自動掻取中のロボット  
Photo.2 Robot under driving

右両側に設けた。

走行スピードは汚砂の掻取り作業をする場合は、1.5 m/min、移動のために走行のみする場合は 3.0 m/min であり、駆動装置は左右別々に独立していて、前進・後



- |                      |                              |                               |                              |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| ① Caterpillar        | ⑥ Floating hose              | ⑩ Float for control thickness | ⑭ Revolving right of scraper |
| ② Screw thpe scraper | ⑦ Sensor for turning         | ⑪ Arm of scraper              | ⑮ Rotary joint               |
| ③ Sand lift pump     | ⑧ Sensor for control driving | ⑫ Elevatoly device of scraper | ⑯ Cable                      |
| ④ Change-over valve  | ⑨ Limit-switch of scraper    | ⑬ Rut-cleaner                 | ⑰ Driving motor              |
| ⑤ Control box        |                              |                               |                              |

第2図 汚砂掻取ロボット組立図  
Fig. 2 Structure of robot

進・回転を容易にした。駆動モータ⑩の容量は 0.35 kw × 2 台である。

## 2) スクリュー型掻取機

汙層表面の汚砂を均一な厚さに掻取り、中央部のサンドポンプ吸込口まで集めるためのもので、台車の前後に各 1 台取り付けられた。スクリュー長さは 2.0 m で、削り取りの厚さは 10 ~ 30 mm の範囲で任意に調節できる。

駆動のためのモータ容量は 0.2 kw × 2 台である。

## 3) サンドポンプ

掻取機で均一に掻取った汚砂を、固液混合の汚濁水の状態でフロートホースを経て揚水し、池外に設置した洗砂機へ搬出するためのもので、粒径 50 mm 以下の砂れきを閉塞することなく搬出できるノンクログ型水中ポンプを用いた。

容量は 400 ℓ/min × 22 mAq × 5.5 kw である。

## 4) 切換弁

台車の前後の掻取機の汚砂の吸込口を、進行方向に合わせて前方または後方に切り換えることができる。

形式は口径 80 mm の電動三方口ボール弁とし、モータ容量は 0.065 kw である。

## 5) 制御ボックス

ロボットの各部位の動作を判断、指令するマイクロコンピュータを収納している。ボックス内への浸水防止のために圧力ガス (0.2 kg/cm<sup>2</sup>) を封入し、内部結露を防ぐためにボックス内をファン攪拌し温度を均一に保持するようにした。

## 6) フロートホース

サンドポンプにより吐出された汚濁水を陸上へ移送するためのもので、口径は 65 mm である。汚濁水中の砂含有比率は 7 ~ 10 % (W/V)、管内流速は 2.0 m/s で、汚砂の移送は最大 100 m まで可能である。

また、発泡スチロール製のフロートをホースに取り付け、ホースの重量でロボットが引きずられないようにした。

なお、ロボットを使用しない時は、写真 3 に示す電動式のホース巻取機にホースを収納している。

## 7) 走行路変更センサー

ロボットが汙過池の壁に達したとき、走行路を次列へ移動するタイミングを知らせるセンサーである。

センサーは掻取機ケーシング端部の左右両側に前方、後方各 2 個の計 4 個取り付けられている。

左右 2 個のセンサーが壁に接触した時点でロボットが次列に旋回を始めるようになっているが、もし片側のセンサーのみが壁に接触した後、他方のセンサーが 15 秒経過しても接触しない場合にも、ロボットは旋回を開始するようになっている。

## 8) 走行路補正センサー

ロボット走行路と平行に位置する池壁との距離を監視し、走行路のずれを補正するためのセンサーで、超音波式のものを使用している。この方式の測定誤差は ±50 mm 以内である。

## 9) 掻取機昇降センサー

スクリュー型掻取機の適正な位置を判断するセンサーである。

## 10) 掻取厚さ調節フロート

汚砂の掻取厚さを調節するためのもので、フロートの浮力を調節することによって掻取厚さを調節できる。

浮力の調節はフロート内の水量によって行う。

## 11) 掻取機アーム

スクリュー型掻取機の昇降に用いる。

## 12) 掻取機昇降装置

掻取機の垂直方向の移動を行う駆動装置で防水型減速機を内蔵している。電動機容量は 0.1 kw × 2 台

## 13) 轍消し

ロボットの走行後のキャタピラーや掻取面の轍跡を滑らかに地慣らしするためのものである。

## 14) 回転灯

自動走行運転中、ロボットが規定の走行路をはずれた際に、自己補正を行っていることを知らせる。

## 15) 回転ジョイント

ロボットの走行に合わせて、フロートホースの接続部が自由に回転し、ロボットの走行を円滑にする。

## 16) ケーブル

水中ロボットの電源および制御用信号送りに使用し、フロートホースに結束して水関上にホースと一体にして浮かせる。

なお 1.1 システム概要に述べたように、ロボットへの運転指令のために別に通信機 (写真 4) と制御盤 (写真 5) が必要である。

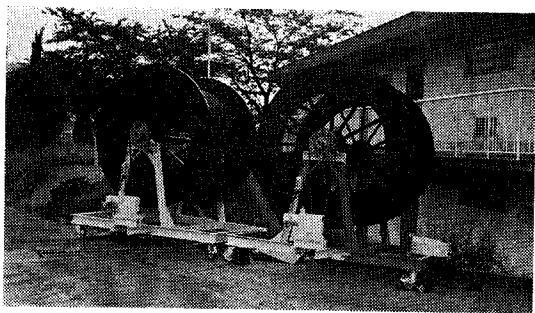


写真 3 フロートホース巻取り機  
Photo. 3 Hose and cable reel

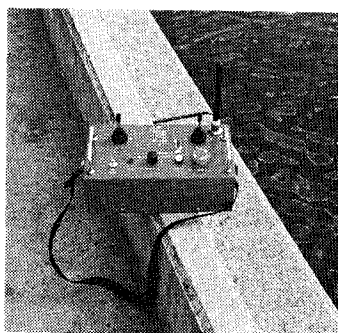


写真 4 通信機  
Photo. 4 Transmitter

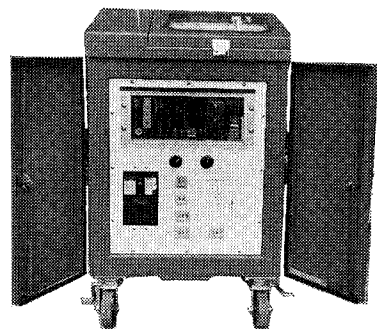


写真 5 制御盤  
Photo. 5 Control panel

通信機はオペレータが汙過池周辺の任意の場所から自由に操作ができるように、可搬式のハンディー型である。走行、搔取（手動・自動）、一時停止および停止の運転命令信号をFM波によって制御盤へ発信できる。

一方、制御盤は通信機より受けたFM波の運転命令信号を内部のマイクロコンピュータで判断し、その動作を水中のロボットに有線信号（ケーブル）により伝達する。

### 1.3 ロボットの特長

以上のような構造、機能を持たせることにより本ロボットには次のような特長を期待することができる。

#### 1) 作業時間の短縮

「湛水」状態のままで、搔取作業が行えるので、水抜き工程が省略されるだけでなく、搔取作業後の水張り行程に要する時間も省略できるので、全体の作業時間は大幅（20時間以上）に短縮できる。

#### 2) 運転作業が簡単

搔取作業中は完全な自動運転のため、特別高度な運転技術を必要としない。

さらに運転作業は天候に左右されない。

#### 3) 省力化が可能

人力搔取作業に比べ、大幅な省力化が可能。場合によっては夜間作業も可能である。

#### 4) 洗砂効率が良い

搔取汚砂は濁水のまま搬出されて、連続的に洗砂するので、洗砂効率が非常に優れている。

#### 5) 砂の取扱いが簡単

陸上に別途設置する洗砂機との組合わせで、汚砂搔

取・搬出・洗砂作業が連続して行えるので、洗砂の取扱が極めて簡単になる。

## 2. 実施例について

### 2.1 運転方法

今回、試運転を行った某浄水場内には、大正初期に建設された2600 m<sup>2</sup>/池×8池（総汙過水量60000 m<sup>3</sup>/d）の緩速汙過池があり、各汙過池は第3図のように、扇型をしている。

ロボットによる汚砂の搔取走行は、図に示すA地点よりスタートさせ、円周方向に進行し、放射状方向の隔壁に到達すると、前・後進を切り替えて、順次中心部に移行していく搔取パターンとしている。走行路のずれは、円周の外壁をロボットに搭載している走行路補正センサーで、監視・修正を繰り返しながら補正するようにした。

第4図は、放射状方向の隔壁際でのロボットの走行路変更の様態を示している。ロボットは、①の搔取機を汙層表面上に下げたままの状態を続け、④地点に達し、走行路変更センサー①および②が両側とも働けば、キャタピラーは旋回を始めると同時に①の搔取機を一旦上げ、④→③→②の順でバックしながら次列に移行する。移行後①の搔取機を再び下げ③→②の部分であらかじめ搔取した後、②地点より③の搔取機を下げ、後退走行しながら次回の搔取を開始するようにした。なお④→②の移行幅は、走行路がずれても搔き残しができないよう1.8 mに設定した。

一方、水中におけるロボットの接地圧は0.06 kg/cm<sup>2</sup>である。これは、人力搔取時作業員の接地圧0.16 kg/cm<sup>2</sup>よりもはるかに少なく、水中をロボットが走行する際に汙層表面を決して攪乱しないように設定している。

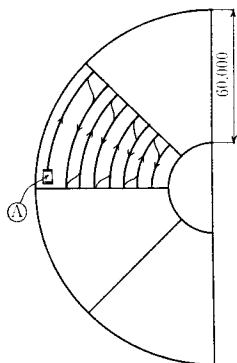
写真6および写真7はそれぞれ汚砂の搔取後の状態を示している。写真に見るとおり搔取後の汙層表面上には汚砂が全く無く、完全に搔取りが行われたことが良く示されている。

### 2.2 結果

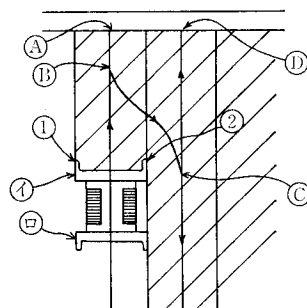
#### 1) 搔取走行軌跡について

搔取走行速度1.5 m/minにおいて、走行軌跡のずれは、±10.0 cmの範囲内に納まって非常に安定しており、当初想定した搔取幅1.8 mの10%（±18 cm）以下であった。

また前述の接地圧で走行しているため、走行時の圧密沈



第3図 走行軌跡図  
Fig. 3 Wake of robot



第4図 走行路変更時の軌跡図  
Fig. 4 Wake of robot at the road corner near wall

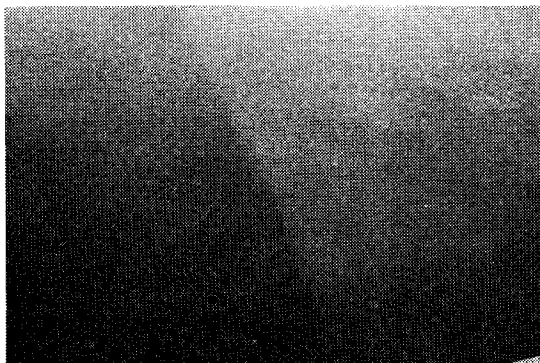


写真6 搔取後の状態（水中）（左側）搔取前（右側）搔取後  
Photo. 6 Underwater surface of filter media  
(Left: before scraping; Right: after scraping)

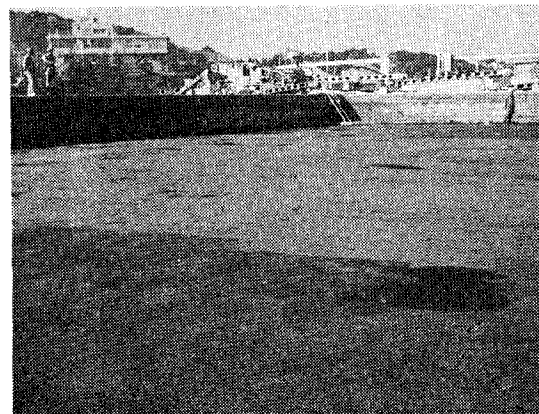


写真7 搔取後の状態（水抜後）（右側）搔取後（左側）搔取前  
Photo. 7 Dewatered surface of filter media  
(Right: after scraping; Left: before scraping)

第1表 汚砂試験結果

Table 1 Filter sand property

Sample	No. 1	JWWA standard
Date	'87. 10. 9	—
Effective size	0.42 mm	0.35~0.45 mm
60 % size	0.71 mm	—
Uniformity coefficient	1.69	less than 2.0
Turbidity of washing liquid	7.1	less than 30
Ignition loss	0.23 %	0.7 %

下は全く無く、汚層下部の支持砂利層や、集水装置に悪影響を与えた様子はない。

2) 作業時間について

最大掻取能力は約 180 m<sup>2</sup>/h で、1池 2600 m<sup>2</sup>の本緩速汚過池全体の砂を掻取るのに約 17 時間を要した。

3) 汚砂掻取量について

掻取厚み 10 mm を運転の目標としたが、前進・後進いずれの方向の場合にも、結果は 12~15 mm の掻取厚みとなった。

また、汚砂掻取り最大厚みを 30 mm にした場合においても、サンドポンプおよびフロートホースによる搬出は十分可能であり、掻取り厚みのムラ掻きもほとんど観測されなかった。

4) 洗砂後の汚砂のふるい分け試験結果

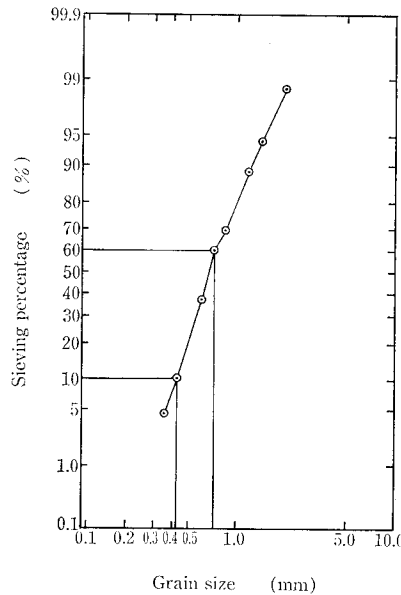
ロボットにて掻取った汚砂について、別途設置の洗砂機に接続して連続自動洗砂を行った結果を、汚材試験にて確認したところ、結果は第1表に示すごとく JWWA (日本水道協会) 汚材規格と比較しても、有効径、均等係数、洗浄濁度、および強熱減量すべての項目について十分満足するものであった。

なお、参考までに本試験の粒度加積曲線図を第5図に示した。

3. 今後の問題点

今回、某浄水場にて実施したロボットによる汚砂掻取試験の結果については、当初目的としたとおり作業の自動化という点ではおおむね満足するものであった。

しかし今後次のような点については、良質の水を供給す



第5図 粒度加積線曲図  
Fig. 5 Grain size distribution of a filter sand

るといふニーズに応えるためにも、慎重に検討し続ける必要がある。

1) 水抜きを行わない状態で掻取るため、汚層表面上に漂う藻類を汚砂と同時に揚水することとなり、洗砂機の前でスクリーニングを行わねばならなかった。季節によっては、スクリーニングされる藻類の量がさらに多くなることも予想されるので、一層効果的な除去設備が必要になる。

2) さらに、水抜きを行わない状態で掻取るため、藻類は水中に一旦浮遊し、掻取作業終了後汚層表面に再び沈降残留することとなり、汚過継続時間が最初1カ月であったのが、次の作業の後では20日、15日と徐々に短くなっていくのではと懸念される。このような現象を避けるためには、掻取作業の2~3回に1回は作業終了後水抜きを行って、汚層表面を天日に曝す必要があると考える。

むすび

本装置の開発にあたり、長期的間テストのために多くのご指導をたまわりました(財)神戸市水道サービス公社の職員の方々に感謝の意を表す。