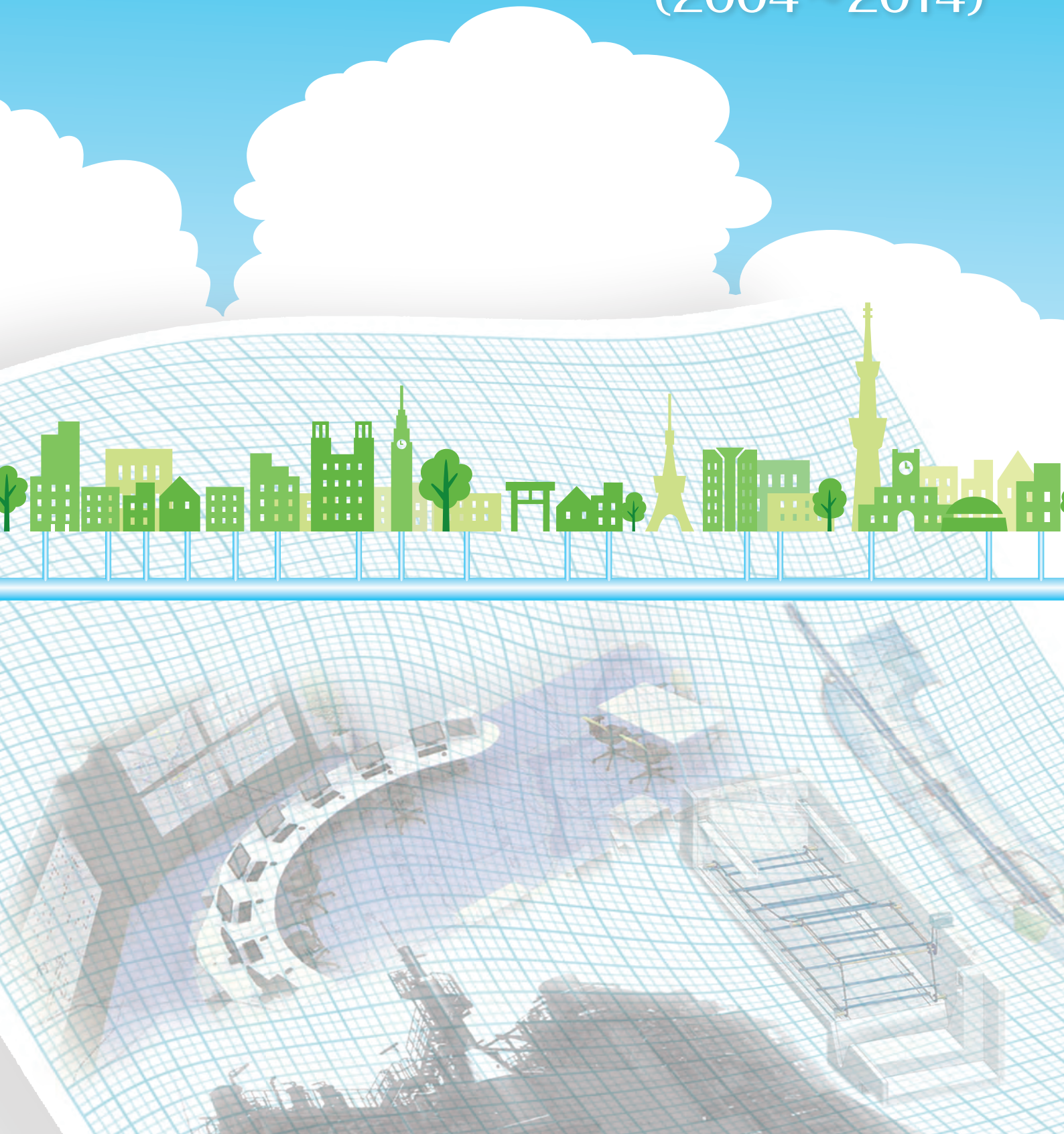


下水道設備の新しい流れ

(2004～2014)



はじめに

一般社団法人東京下水道設備協会は、平成26年に設立30周年を迎えました。今日に至りましたのも諸先輩をはじめ、会員各位の努力と精進及び東京都下水道局をはじめとする関係機関のご支援・ご指導の賜物です。今回、30周年を機に「下水道設備の新しい流れ」を取り纏め、発刊することと致しました。

10年前には設立20周年を記念して「設立20周年記念誌」（機関誌「下水道設備87号」）及び下水道技術の変遷を整理した「下水道設備の流れ」を発刊し、会員の皆様や関係機関の方々にお配りしたところ大変喜んでいただくことができました。

「下水道設備の流れ」では『この20年間に、東京都区部の下水道は平成6年度末に普及率概成100%に達しまして、生活環境の改善、浸水防除及び公共用水域の水質保全の基幹的役割を概ね確保できるようになっており、設備技術が果たした貢献度は大きなものがあります。』と記しています。

その後の10年間は、設備再構築工事の増加や職員の減少及び高齢化に伴う技術継承の必要性、そして、京都議定書の平成17年発効に先駆け都下水道局は下水処理のあらゆる過程で生じる温室効果ガスの削減を目指すことが、設備技術の大きな潮流であったと言えるでしょう。このため、機械設備においては、汚泥濃縮機、汚泥脱水機の低動力化が顕著になると共に、汚泥焼却の分野では焼却温度の高温化に始まり、汚泥焼却炉も一酸化二窒素の削減や動力削減による温室効果ガスの削減技術が大きく進展し、加えて汚泥炭化や汚泥ガス化技術の導入に至りました。

電機設備においても、機器の小型化や温暖化係数の大きい物質の使用を止めるといった工夫が進みました。加えて職員の高齢化や職員数の減少等に起因する被遠隔施設の増大、維持管理を容易にすることに主眼を置いた計装設備の標準化等も大きく進展したと言えるでしょう。

更に、この3年間は、東日本大震災、引き続き発生した原子力発電所の事故によって被った被害を教訓にした種々の検討や改善が最大のテーマになりました。施設の耐震化や耐水化、設備別には沈殿池設備の耐震化や非常用電源の増設などです。

そこで、この小冊子「下水道設備の新しい流れ」においては、これらへの取り組みに協会会員の技術がどの様に寄与・貢献してきたのかを中心に、今後の動向等を考察して記述することに努めました。

「下水道設備の新しい流れ」の編集の作業に入ってから間もなく、東京の地においてオリンピック・パラリンピックの開催が決定しました。東京湾の臨海部を中心に行われる競技も多く、良好な水質や水辺環境を合流改善や高度処理で実現することが必至です。更に、原子力発電の減少により増大した温室効果ガスの排出量抑制にも取り組み、環境先進都市東京を実現して行く事も重要でしょう。

この様な大きな技術のうねりを実現するために、最近の技術のアーカイブ資料として本誌を活用していただけたら幸いです。協会誌においても、「温故行新」（ふるきをたずねて新しきを行う）を連載しており、先人の苦労の上に更に工夫を加えることが重要です。

なお、この小冊子をご希望の方に配布すると共に、必要な内容を容易に検索し活用できるように全文をPDF化し当協会ホームページに公開しました。20周年記念で発刊した「下水道設備の流れ」も、この機に全文をホームページに掲載しました。併せて是非ご活用下さい。

本誌を取り纏めるにあたり、分担して執筆いただいた皆様はもとより、資料等掲載について許諾を戴いた会員各位及び東京都下水道局など関係機関の皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

一般社団法人 東京下水道設備協会
（協会ホームページ <http://www.setubikyo.or.jp/main/>）

| | |
|---------------------------------|----|
| は し が き | 1 |
| 第1章 沈砂池設備 | 1 |
| 1. 1 沈砂池設備の歩み | 1 |
| 1. 2 沈砂池設備 | 1 |
| 1. 3 今後の動向 | 6 |
| 第2章 ポンプ設備 | 7 |
| 2. 1 ポンプ設備の歩み | 7 |
| 2. 2 主ポンプ設備 | 7 |
| 2. 3 汚泥ポンプ設備 | 10 |
| 2. 4 今後の動向 | 10 |
| 第3章 水処理設備 | 11 |
| 3. 1 沈殿池設備 | 11 |
| 3. 1. 1 沈殿池設備の歩み | 11 |
| 3. 1. 2 沈殿池設備 | 11 |
| 3. 1. 3 合流改善設備 | 13 |
| 3. 1. 4 今後の動向 | 15 |
| 3. 2 曝気槽(反応タンク) | 15 |
| 3. 2. 1 曝気槽(反応タンク)設備の歩み | 15 |
| 3. 2. 2 散気設備 | 16 |
| 3. 2. 3 今後の動向 | 18 |
| 3. 3 高度処理設備 | 18 |
| 3. 3. 1 高度処理設備の歩み | 18 |
| 3. 3. 2 高度処理の目的 | 18 |
| 3. 3. 3 高度処理に関する基準 | 19 |
| 3. 3. 4 処理方式 | 20 |
| 3. 3. 5 水中攪拌機の概略図と納入実績 | 22 |
| 3. 3. 6 硝化液循環ポンプ | 22 |
| 3. 3. 7 今後の動向 | 23 |
| 3. 4 消毒設備 | 26 |
| 3. 4. 1 消毒設備の歩み | 26 |
| 3. 4. 2 直接放流水への消毒設備 | 26 |
| 3. 4. 3 今後の動向 | 27 |
| 第4章 送風機設備 | 29 |
| 4. 1 送風機設備の歩み | 29 |
| 4. 2 送風機設備 | 29 |
| 4. 3 低圧力損失型逆止弁 | 31 |
| 4. 4 送風量制御の改善 | 31 |
| 4. 5 今後の動向 | 32 |
| 第5章 汚泥濃縮設備 | 33 |
| 5. 1 汚泥濃縮設備の歩み | 33 |
| 5. 2 効率的な汚泥処理技術としての省エネルギー型汚泥濃縮機 | 34 |
| 5. 3 アースプラン2010に基づく省エネルギー汚泥濃縮機 | 35 |
| 5. 4 今後の動向 | 36 |
| 第6章 汚泥脱水設備 | 37 |
| 6. 1 汚泥脱水設備の歩み | 37 |
| 6. 2 ベルトプレス型脱水機 | 37 |
| 6. 3 遠心脱水機 | 38 |
| 6. 4 二重円筒加圧脱水機 | 39 |
| 6. 5 高効率型圧入式スクリュープレス脱水機 | 40 |
| 6. 6 回転加圧脱水機 | 40 |
| 6. 7 今後の動向 | 41 |

| | | |
|----------|---|----|
| 第7章 | 汚泥焼却設備 | 43 |
| 7. 1 | 汚泥焼却設備の歩み | 43 |
| 7. 2 | 焼却温度の高温化 | 44 |
| 7. 3 | カーボンマイナス東京10年プロジェクト、アースプラン2010に対応する焼却設備 | 44 |
| 7. 4 | 今後の動向 | 46 |
| 第8章 | 受変電・自家発電設備 | 47 |
| 8. 1 | 受変電・自家発電設備の歩み | 47 |
| 8. 2 | 受変電設備 | 47 |
| 8. 3 | 自家発電設備 | 49 |
| 8. 4 | NaS電池 | 51 |
| 8. 5 | 今後の動向 | 54 |
| 第9章 | 監視制御設備 | 55 |
| 9. 1 | 監視制御設備の歩み | 55 |
| 9. 2 | 監視制御設備 | 56 |
| 9. 3 | 情報ネットワーク設備 | 61 |
| 9. 4 | 降雨情報システム（東京アメッシュ） | 63 |
| 9. 5 | 今後の動向 | 65 |
| 第10章 | 計装設備 | 67 |
| 10. 1 | 計装設備の歩み | 67 |
| 10. 2 | 計装設備の標準化 | 67 |
| 10. 3 | 最新の計装・制御設備 | 69 |
| 10. 4 | 今後の動向 | 72 |
| 第11章 | 資源化設備 | 73 |
| 11. 1 | 再生水設備 | 73 |
| 11. 1. 1 | 再生水設備の歩み | 73 |
| 11. 1. 2 | オゾン耐性膜ろ過 | 74 |
| 11. 1. 3 | セラミック膜ろ過 | 75 |
| 11. 1. 4 | 高速繊維ろ過 | 76 |
| 11. 1. 5 | 今後の動向 | 76 |
| 11. 2 | 汚泥・焼却灰の資源化設備 | 77 |
| 11. 2. 1 | 汚泥・焼却灰の資源化設備の歩み | 77 |
| 11. 2. 2 | りん資源化 | 77 |
| 11. 2. 3 | 今後の動向 | 78 |
| 11. 3 | 下水熱利用設備 | 78 |
| 11. 3. 1 | 下水熱利用設備の歩み | 78 |
| 11. 3. 2 | 文京区後楽一丁目地区地域冷暖房設備 | 79 |
| 11. 3. 3 | 江東区新砂三丁目地区への熱供給 | 79 |
| 11. 3. 4 | 芝浦水再生センターによる民間ビルへの熱供給 | 80 |
| 11. 3. 5 | 今後の動向 | 80 |
| 11. 4 | 省エネ、未利用・再生可能エネルギー設備 | 81 |
| 11. 4. 1 | 省エネ、未利用・再生可能エネルギー設備の歩み | 81 |
| 11. 4. 2 | PMモーター（永久磁石電動機） | 81 |
| 11. 4. 3 | 小水力発電 | 82 |
| 11. 4. 4 | 太陽光発電 | 83 |
| 11. 4. 5 | 今後の動向 | 85 |
| | 会員企業と東京都下水道局との主な共同研究の成果 | 88 |
| | 会員企業と東京都下水道サービス（株）との主な共同特許 | 90 |
| | 参考文献一覧 | 91 |
| | 会員企業一覧 | 92 |

執筆にご協力いただいた方（氏名あいうえお順）

平成 26 年 4 月現在

飯塚 保（(株)神鋼環境ソリューション）

岡村智則（メタウォーター(株)）

梶山喜市（日立造船(株)）

小出正實（(株)明電舎）

杉田龍宣（(株)クボタ）

中尾正章（巴工業(株)）

永田邦彦（(株)石垣）

中村俊男（東京都下水道サービス(株)）

原田敏郎（(一社)日本下水道光ファイバー技術協会）

菱谷和信（前澤工業(株)）

水上 啓（三機工業(株)）

森田 茂（メタウォーター(株)）

(一社)東京下水道設備協会事務局

第1章 沈砂池設備

1.1 沈砂池設備の歩み

大正11年に三河島汚水処分場が稼働した。この時代の沈砂池機械設備は、国産ではあるが、各産業分野で利用されていたものを応用したものであった。昭和30年代以降は下水道施設の建設が盛んになり、下水道用の機械設備も国産で製造されるようになった。昭和50年代は、設備の多様化と一部自動化が進んだ。

平成時代に入ると再構築工事が多くなり、それに合わせてポンプ所の遠方制御、無人化が進み、設備の自動化、省力化が更に求められるようになった。また、地域住民への環境対策が求められ、それに対応する機械設備の設置が進んだ。

1.2 沈砂池設備

(1) 阻水扉設備

阻水扉の材質は、止水性、耐食性、剛性が求められること、緊急時自重降下が求められることから、現在でも重量のある鋳鉄製が使用されている。

駆動装置には、昭和30年以降はほとんどのポンプ所が油圧式を採用している。駆動用油圧ポンプは交流用と直流用を設置し、停電時にも沈砂池が冠水しない設備としている。

昭和50年代以降は大規模ポンプ所が増えたこと、油圧設備の技術が進歩したことから、油量が少なくてすみ設備費用も安価である14MPa（従来は7MPa）の油圧式が採用された。

平成20年代から、作動油に消防法の危険物の適用外である高引火点型油圧作動油（引火点250℃以上）を使用することが標準化され、貯蔵、取扱いなどの規制が緩和されるようになった。

(2) 沈砂処理設備

1) 集砂・揚砂機

昭和50年代後半に入ると省力化と砂による機器の埋没を防ぐため、雨水沈砂池には走行型埋没防止式バケットコレクタが採用され始めた。汚水沈砂池には固定型バケットコレクタが採用された。

昭和60年前後から、沈砂池からの臭気が問題となり始め、防臭のため沈砂池の覆蓋が必要となり、雨水沈砂池に採用されていた走行型埋没防止式バケットコレクタは固定型埋没防止式バケットコレクタに代わってきた。（図1-2-1）

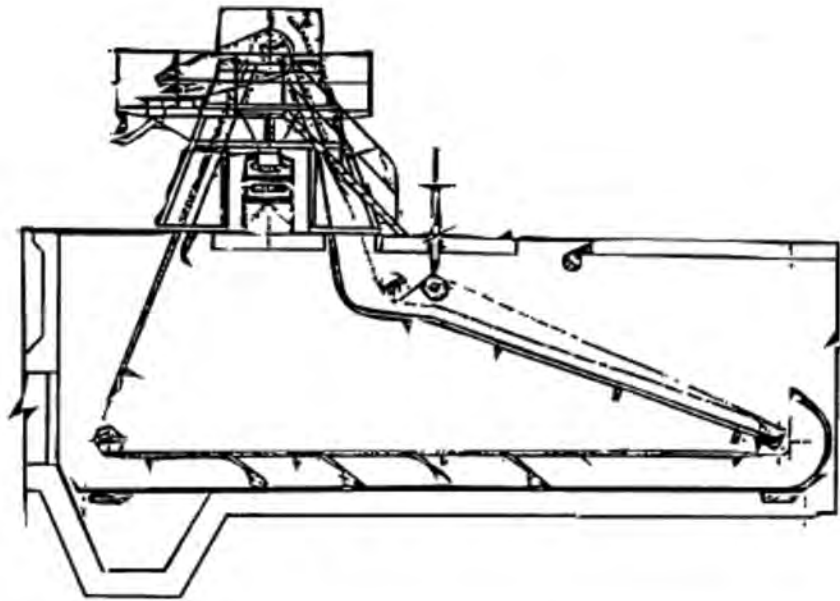


図1-2-1 埋没防止式バケットコレクタ

同時期、高圧水（0.7～1.3 MP a）を用いて集砂や揚砂を行うジェットポンプ式揚砂方式が開発され採用され始めた。（図1-2-2、図1-2-3）

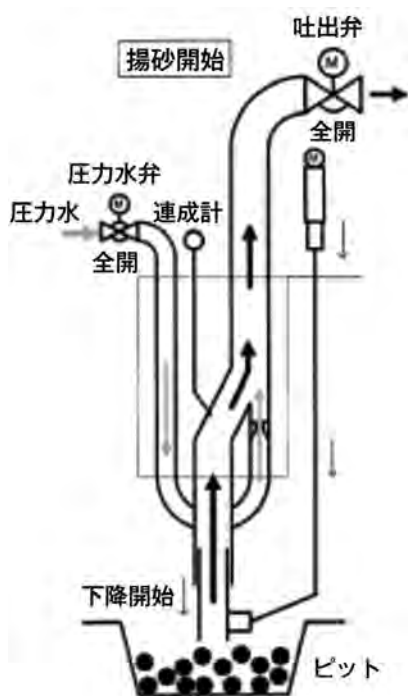


図1-2-2 ジェットポンプ原理図



図1-2-3 ジェットポンプ据付例

本方式は主として雨水沈砂池に採用される。降雨後にポンプ井排水ポンプで沈砂池の水位を下げた後、高圧ノズルで集砂し、ジェットポンプで揚砂を開始する。用水はポンプ井の雨水または汚水を使用する。最近では沈砂吸込口の閉塞を考慮した昇降式吸込口も開発され一部採用されている。本方式は沈砂池のドライ化ができるため更なる臭気対策が可能となった。

平成 10 年前後に低圧水 (0.2 ~ 0.3 MP a) を用いて集砂し、水中ポンプで揚砂する低圧ノズル集砂・水中揚砂ポンプ方式も開発された。(図 1-2-4)

雨水沈砂池の揚砂方式として、概ね、沈砂量が多く深い沈砂池には高圧集砂・ジェットポンプ式、沈砂量が少なく浅い沈砂池には低圧集砂・水中揚砂ポンプ方式という住み分けを行っている。以降現在までこの 2 方式が採用されている。

汚水沈砂池は常時通水しているため、高圧ノズル (または低圧ノズル) を用いての集砂方式では砂が舞い上がり、ポンプ井へ入ってしまうので、スクリーコレクタを用いて集砂し、ジェットポンプまたは水中ポンプで揚砂する方式が採用され、現在に至っている。(図 1-2-5)

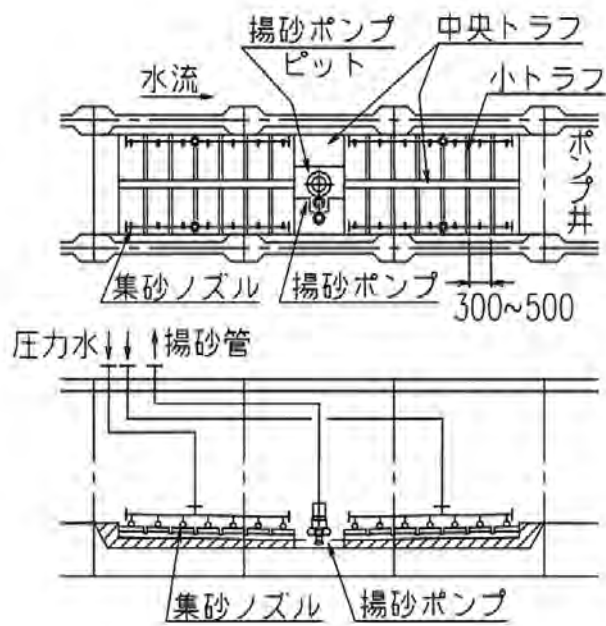


図 1-2-4 低圧集砂・水中揚砂ポンプ方式フロー

2) 沈砂洗浄設備、搬送設備

昭和 50 年代までフライトコンベア式洗砂機を使用していたが平成に入ると、スクリー式洗砂機、攪拌羽根式洗砂機など各種の洗砂機が採用されるようになった。

ジェットポンプや揚砂ポンプ方式で揚げた沈砂は、配管内で洗浄されるため特に沈砂洗浄機というものは設けていない。

搬送設備は昭和 50 年代後半からスキップホイストに代わって連続運転が可能な急傾斜コンベアが使われるようになった。

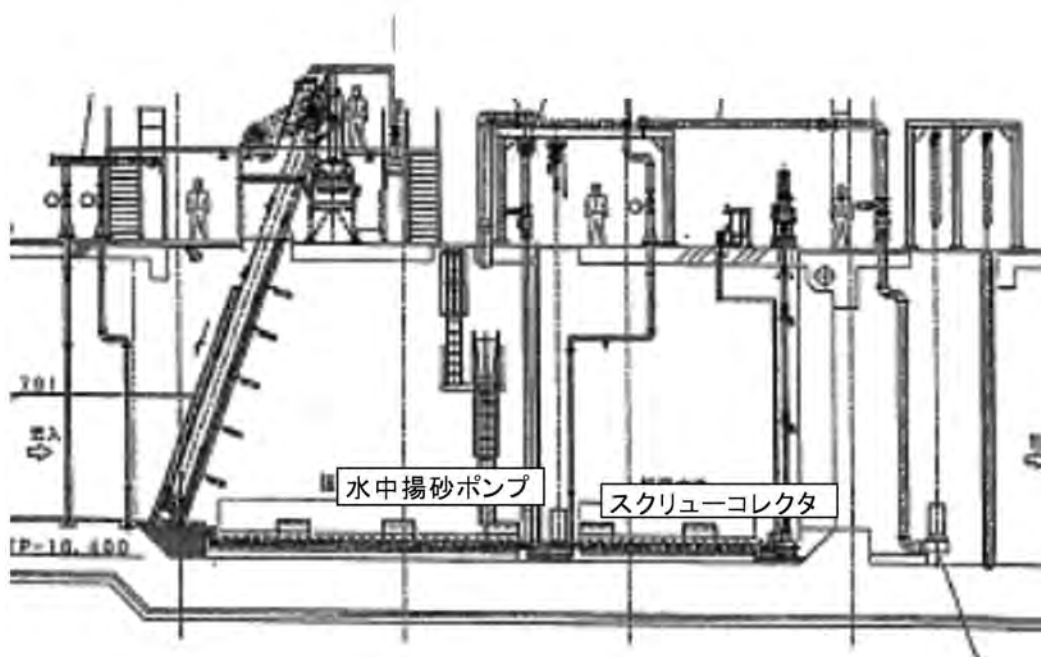


図 1-2-5 汚水沈砂池 スクリュー集砂・水中揚砂ポンプ方式

平成 10 年代になるとホッパ上部にスクリーコンベア付沈砂分離機を置き、そこまでジェットポンプまたは水中揚砂ポンプで配管移送し、固液分離した後ホッパに貯留する方式を採用し始めた。(図 1-2-4 参照) この方式は配管で沈砂を運ぶため、臭気を抑えることができるとともにベルトコンベアや急傾斜コンベア等の搬送設備がないため、維持管理が非常に容易となった。但し、ホッパ室に余裕のない場合は、急傾斜コンベアを使用している。

(3) しさ処理設備

1) 除じん機

ア) 前ろ格

前ろ格には、手かき式と機械式があるが、一部の水再生センターを除いては手かき式が多く採用されている。目幅は 150 mm が標準である。再構築ポンプ所等では、粗大物の流入実績に応じて前ろ格の必要性の有無を判断している。

イ) ろ格機

従来は沈砂池砂溜りの下流側に設置されていたが、ジェットポンプ式揚砂機や水中揚砂ポンプが採用されるに従い、これらの機器の閉塞を防止するため、沈砂池砂溜りの上流側に設置されるようになってきた。

昭和 40 年代以降、前面降下前面かき揚げ式のろ格機が主流となり、現在に至っている。(図 1-2-6) ろ格機スクリーンの目幅は、汚水は 25 mm、雨水は 50 mm が標準とされていた。

平成 12 年にお台場で白色固形物問題が発生し、その原因が雨水ポンプ所放流水や処理場の簡易放流水に含まれる油脂分であることが判明したことから、東京都下水道局設置の全ての雨水ろ格機の目幅を 50 mm から 25 mm に目幅変更を行った。

更なる合流改善の必要性から、平成 22 年に羽田ポンプ所、平成 25 年に小松川ポンプ所の雨水ろ格機に目幅 12 mm のスクリーンを試験的に設置した。(図 1-2-7)

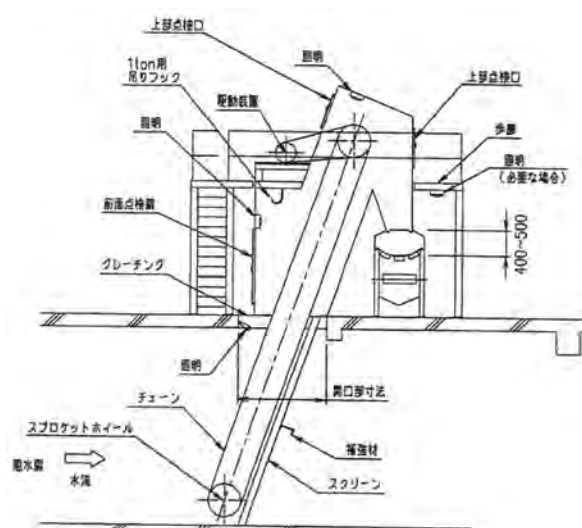


図 1-2-6 前面降下前面かき揚げろ格機

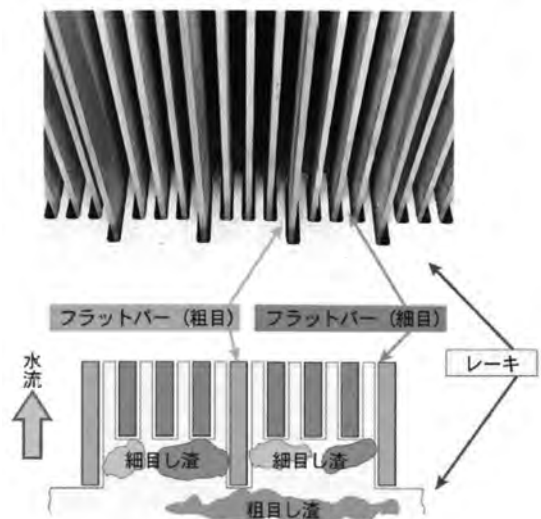


図 1-2-7 目幅 12 mm スクリーン

2) しさ洗浄設備・脱水設備・搬送設備

昭和 50 年代以降、しさ洗浄機は、回転ドラム式、横軸機械攪拌式 (スクリー式)、洗浄槽スクリー型等が採用された。

平成に入るとろ格機でかき揚げたしさをせん断破砕機、しさ洗浄分離機にかけて、ホッパに貯留する

方式が採用された。

しさは埋立て処分していたが、昭和50年代後半に中央防波堤内ミキシングプラントにしさ専用焼却炉(棚板反転式連続ストロカ炉)を建設し焼却処分を開始した。しかし、平成10年頃老朽化が進んだため、その後の処分方法の検討が行われた。そこで、清掃局と協議を行い、洗浄、水切り後のしさを清掃工場で焼却するという事で合意した。その結果、しさ洗浄機、脱水機等の設置が必須となった。

しさ洗浄機や脱水機を設置するスペースがない既設ポンプ所ではろ格機のレーキかき揚げ中にスプレー水により洗浄し、ホップで水切りを行うなどの方法で対応した。

平成10年に、貯留ホップ上部にしさ分離機、しさ脱水機(スクリュー式)を設置し、そこまでしさを配管移送して分離・脱水後ホップに貯留する方式が採用された。(図1-2-8)

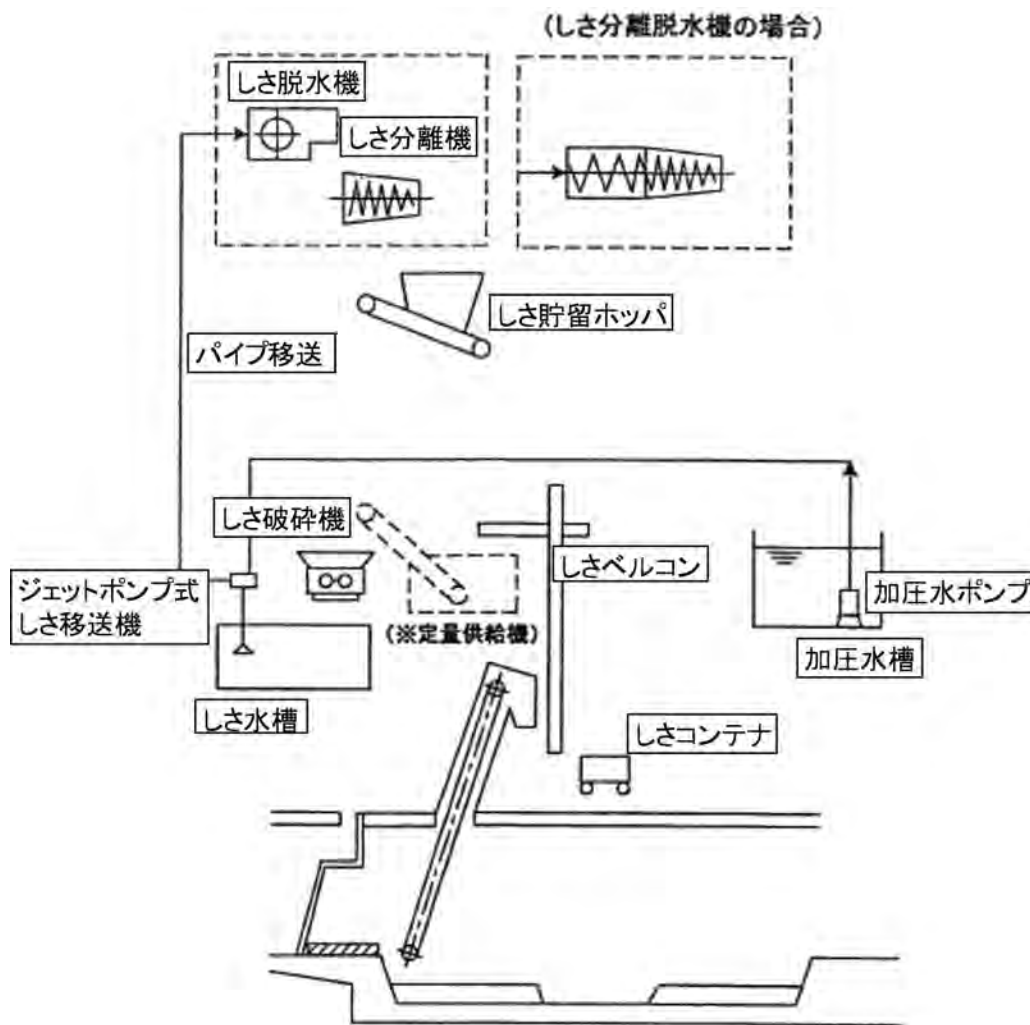


図1-2-8 しさ処理フロー

本方式は搬送にベルトコンベアや急傾斜コンベアを使わないため保守管理が非常に容易となった。

流域下水道本部の水再生センターでは、沈砂池から発生するしさを污泥焼却炉へ液体または空気移送し、污泥ケーキと一緒に焼却を行っている。

(4) その他

1) 臭気対策

昭和50年代後半からポンプ所から発生する臭気が問題になり、沈砂池の覆蓋、ポンプ井排水ポンプ

の設置、脱臭設備の設置等で対応を図ってきた。昭和60年代には高圧集砂・ジェットポンプ方式、平成10年代には低圧集砂・水中揚砂ポンプ方式を採用し、沈砂池の完全ドライ化が可能となった。

平成10年代後半、しさを沈砂貯留ホoppaから搬出トラックへ積み替え時に発生する臭気対策としてホoppa室にオゾン水を散布する方法が開発され、木場ポンプ所を初め複数のポンプ所に採用された。

また、ポンプ所内の雨水滞留水を汚水幹線等に返水するときに発生する臭気対策として消臭剤（例ステンチカット）を注入する方法が検討され、吾嬬第二ポンプ所を初め複数のポンプ所に消臭剤添加設備が設置された。

2) 後沈砂池方式ポンプ所

下水の遮集化が進んだことや地下鉄等のインフラの地下利用が多くなるに従い、新しい下水道幹線はますます深くなった。それに合わせてポンプ所を建設すると土木工事費用が高むため、主ポンプで揚水した後に沈砂池を設ける後沈砂池方式が考案された。

主ポンプの後段にろ格機を設置することとなるので、ポンプ保護が懸念される。少なくとも主ポンプ前段（上流側）に前ろ格が必須となるが、スクリーンで捕らえられた粗大夾雑物の処理等の課題がある。

平成10年に砂町処理場東陽・大島系（遮集汚水）、平成15年に板橋坂下ポンプ室（雨水）、平成24年勝島ポンプ所（雨水）に採用された。

3) 吹き上げポンプ所

流入幹線が深くなり、それに合わせてポンプ所を建設すると土木工事費用が高むので、ポンプ所自体を浅く築造する吹き上げポンプ所が考案された。ポンプ所手前の立坑下部に接続された幹線から一気に流入水が吹きあがって沈砂池に入ってくるためそう呼ばれる。

幹線が満杯になるときの下水管内のエアの処理が難しいとされ、エア抜きが設置できない場合は採用されない。

平成16年に神谷ポンプ所（雨水）、平成17年に東品川ポンプ所（雨水）に採用された。

沈砂池設備は標準仕様のものが使用できるが、流入雨水量のピーク時の雨水が一気に流入することも考えられるので、ポンプ運転には十分注意を払う必要がある。

1.3 今後の動向

沈砂池機械設備は、時代を追うに従って、より手間を要しない設備となったが、沈砂池特有の過酷な環境（腐食性ガス、乾期明けの豪雨時に流入する多量の沈砂、しさの処理等）の中で設備を稼働させる必要がある。まだまだ、完成度の高い機器類が設置されているとはいえないので今後の開発が期待される。

東京都のポンプ所、水再生センターは、放流水域が河川や運河、海である。居住環境が良くなるにつれ、それらへの放流による汚濁や臭気が問題となっている。放流される汚濁負荷を更に軽減する施設や設備の開発、設置が求められている。

東京都のポンプ所は降雨50mm/時対応で設計されている。最近のゲリラ豪雨は時間換算で100mm/時を超えることも少なくない。阻水扉設備は、ポンプ所の冠水を防ぐ大切な設備であるので、より運転のしやすい設備となるよう検討することも必要である。

機械設備の推移を見ると、省力化、自動化が進み、信頼性、安全性がある程度確保できたので、ポンプ所の無人化、集約化が可能となった。また、地域環境や内部環境を考慮した設備が設置されてきた。これからは、省エネ化、かつCO₂削減へ向けた設備の開発が望まれる。

今後は大容量、高深度のポンプ所の建設が予定されている。沈砂・しさの搬送がより難しくなるので、それに対応した施設・設備を検討する必要がある。

第2章 ポンプ設備

2.1 ポンプ設備の歩み

主ポンプの形式としては渦巻型が大正11年に登場し、昭和初期に軸流型、昭和30年代に斜流型が登場し下水道用ポンプとして採用された。

昭和60年前後に、先行待機型ポンプが開発され雨水ポンプに使用された。平成10年頃に冷却水のいらない無注水先行待機型雨水ポンプが登場し、現在に至っている。

汚泥ポンプは、当初は片吸込渦巻ポンプが使用されていた。昭和35年頃、無閉塞型のブレードレス型ポンプが、昭和45年頃、より無閉塞性であるノンクログ型ポンプが処理場の汚泥ポンプとして採用された。昭和50年代後半に無閉塞型で効率及び流量制御性の良い吸込スクリー付汚泥ポンプが開発され、中川処理場に採用し、現在に至っている。

用水ポンプは、用いられる液体の種類としては上水や処理水なので、産業用の汎用ポンプを使用している。

2.2 主ポンプ設備

(1) 汚水ポンプ

昭和40年代、オープン羽根である立軸渦巻斜流ポンプが開発され採用が始まった。(図2-2-1)

同じ頃、中揚程のポンプ所では雨水ポンプで採用していた槽内型の立軸斜流ポンプの採用を開始した。

昭和50年以降、汚水の遮集化が計画され、汚水ポンプの高揚程、大容量化が進んだことから、各ポンプメーカーが立軸斜流ポンプの高揚程化に取り組み、昭和54年に葛西処理場に揚程29m、平成7年に砂町処理場東陽・大島系に揚程40mの立軸斜流ポンプが設置された。

昭和50年代後半から平成初期にかけて、汚水ポンプの水中軸受にカットレス軸受(ゴム製)にかえて無注水軸受(セラミック等)を採用する試みがなされた。平成13年稼働の浮間水再生センターの汚水ポンプ(電動機直結立軸斜流ポンプ)7台に無注水軸受が採用された。

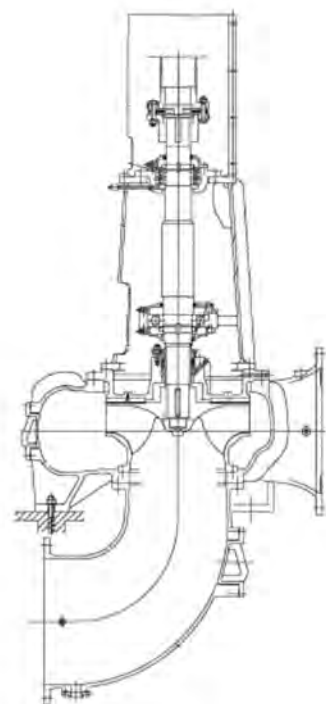


図2-2-1 立軸渦巻斜流ポンプ断面図

(2) 雨水ポンプ

雨水ポンプの形式は、昭和30年代以降、電動機直結立軸斜流ポンプが採用され、一部のポンプ所を除いて現在にいたっている。(図2-2-2)

昭和50年代中頃、羽根車の腐食磨耗やひび割れ等の問題が生じたため、羽根車材質を炭素鋼鋳鋼品(S C 450)からステンレス鋼鋳鋼品(S C S 13)に変更し現在に至っている。

昭和50年代にはいると集中豪雨が頻発するようになり、雨水ポンプの始動時間の迅速化が求められるようになったことから、昭和50年代後期、羽根車が水中になくても運転が可能な先行待機型ポンプが開発された。昭和59年から63年にかけて梅田ポンプ所、吾嬬第二ポンプ所に低速待機型ポンプが採用された。

平成2年に砂町処理場に全速で待機運転が可能な先行待機型ポンプが設置され、以降の雨水ポンプに採用され、現在に至っている。本ポンプは大量の雨水が一気に流入する吹かし上げポンプ所においても大いに威力を発揮している。

平成10年代、汚水ポンプの無注水軸受は既に開発、採用が進んでいたが、先行待機型雨水ポンプの無注水軸受は開発されていなかった。それは、先行待機型雨水ポンプは空運転(水の無い状態)時に軸受から発生する熱をどうするかという大きな課題があったからである。

これまでも主ポンプ冷却水系の故障で主ポンプの運転に支障が出ることもあり、また、地震時に冷却水配管の損傷や冷却水自体の供給が不可能な事態が考えられたことから先行待機型雨水ポンプの無注水化が求められていた。

そこで、東京都下水道局ではポンプメーカー3社と共同で研究開発を行い、平成12年に3方式(特殊セラミック方式、回転油槽方式、ポンプ内循環方式)が開発された(既に1社は特殊樹脂方式で開発済みであった)。平成12年に新川ポンプ所、千住ポンプ所、砂町処理場、桜橋ポンプ所の既設雨水ポンプを改良した先行待機型の無注水軸受ポンプが設置された。

現在は構造がシンプルな特殊セラミックや特殊樹脂製軸受を用いた無注水先行待機型雨水ポンプが多く採用されている。(図2-2-3)

ただし、無注水ポンプを採用するには、軸受にかかる負荷などを考慮する必要がある、採用可能な口径、揚程など一定の条件に適合しなければならない。

平成14年、堀切ポンプ所、平成17年、王子ポンプ所にK K D(軽量・高速・大容量)ポンプが採用された。計画雨量の見直しにより、既設ポンプ所の揚水量アップの必要性が

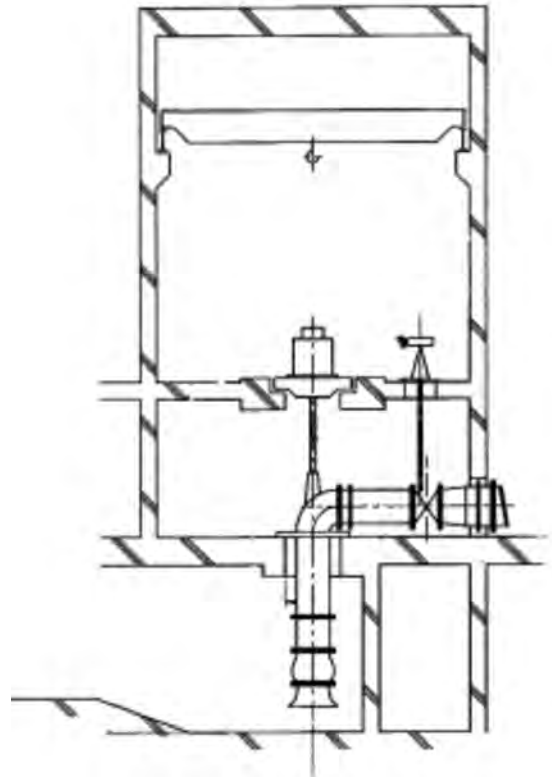


図2-2-2 電動機直結立軸斜流ポンプ

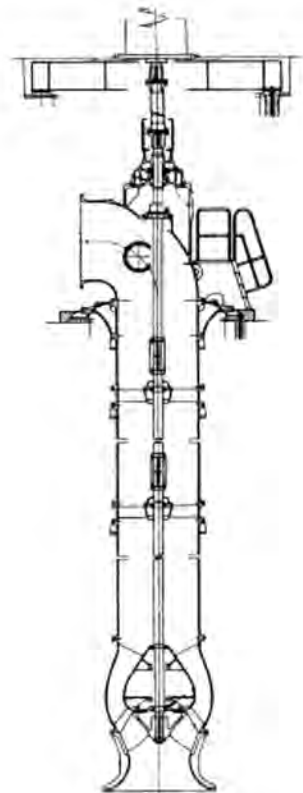


図2-2-3 無注水先行待機型雨水ポンプ

第1章

第2章

第3章

第4章

第5章

第6章

第7章

第8章

第9章

第10章

第11章

資料

生じたが、ポンプ口径が大きくなると共に重量がアップし、土木躯体に影響があることが判明した。そこで、KKDポンプの開発をメーカーに依頼し、ポンプ比速度を上げることでポンプ内流速を標準値より高速にし、ポンプ口径を変えずに吐出量を増やすことに成功した。ただし、KKDポンプはキャビテーションを起こしやすく、また、渦が発生しやすいなどの課題があるので、その採用には十分な検討が必要である。

東京都下水道局が平成22年に策定した経営計画2010の中で、雨水ポンプの地震時の信頼性の向上を図ることを目標に既設ポンプの無注水化の推進が行われているところである。既設ポンプの無注水化は多額の費用と時間を要するため、既設冷却水システムの信頼性をあげるため、冷却水配管の2系統化（高置水槽経由とポンプ直接給水）や冷却水配管の耐震化も並行して実施している。

(3) 原動機

主ポンプ用原動機には、電動機、ディーゼルエンジン、ガスタービンエンジンが採用されている。

汚水ポンプは、全台数とも電動機掛けとし、常時は買電で運転し、停電時には自家用発電機に切り替えて運転するものとしている。

雨水ポンプは電動機掛けが多く採用されている。エンジン掛けポンプとしては従来ディーゼルエンジンが多く採用されてきたが、平成3年に中川水再生センター雨水ポンプ、平成9、10年に日本堤ポンプ所雨水ポンプにガスタービンエンジン掛けポンプが採用された。(図2-2-4)



図2-2-4 ガスタービンエンジン掛け立軸斜流ポンプ

東京都下水道局で現在稼働中のポンプの原動機で最大のものとして、電動機は3,730 kW（平成13年 両国ポンプ所雨水ポンプ）、ディーゼルエンジンは5,000 PS（平成元年 浜町ポンプ所雨水ポンプ）、ガスタービンエンジンは3,200 PS（平成3年 中川水再生センター雨水ポンプ）が採用されている。

(4) その他

1) 吐出弁

昭和50年代後半にメタルシートのバタフライ弁が開発され、外ねじ式仕切弁に代わって採用が始まった。(図2-2-5)

開閉時間が最長でも90秒であり、流量制御性が良く、軽量で操作力が小さいなどの利点があり、その採用によりポンプの始動性能がかなりアップした。ただし、全開状態でも弁体が流路に残るため小口径には仕切弁を採用している。

2) 流量制御

汚水ポンプについては、流量制御

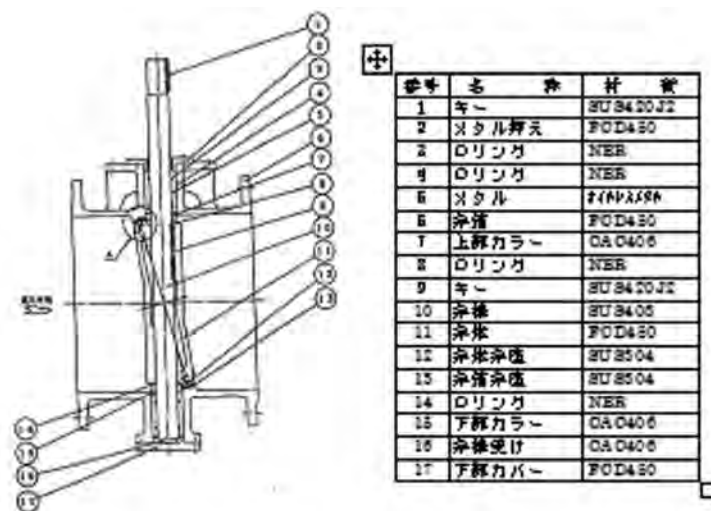


図2-2-5 メタルシートバタフライ弁

の必要性が高い一部の施設で液体抵抗器が使われており、昭和51年には、小菅処理場にエネルギー回生式のサイリスタセルビウス装置を設置し、回転数制御方式による流量制御を行い、水処理の安定運転に寄与すると共に省エネルギー運転が可能となった。

平成10年代、VVVF装置が開発され、小容量の汚水ポンプに採用し、回転数制御方式による流量制御を行った。その後大容量のVVVF装置も開発され、サイリスタセルビウスよりも安価になったこともあり、水再生センターの汚水ポンプに採用されている。

雨水ポンプについては、平成初期まで液体抵抗器による回転数制御が採用された。雨水ポンプの流量制御の目的は汚水ポンプと異なり、ポンプの起動・停止の頻度を少なくするためのものである。

雨水ポンプは運転時間が短いためトータルコストの面から液体抵抗器による流量制御方法を採用したが、先行待機型ポンプが採用されると、ポンプ井に水がなくてもポンプの連続運転が可能となったため、流量制御の必要性もなくなった。

2.3 汚泥ポンプ設備

昭和50年代前半まではブレードレスポンプ、ノンクログポンプが使用されていた。昭和50年代後半、高クロム鋳鉄（又は鋳鋼）を用いた耐摩耗性、無閉塞性でかつポンプ効率の良い吸込みスクリー付汚泥ポンプが開発され、昭和58年稼働の中川処理場の全ての汚泥ポンプ（第一沈殿池汚泥引抜ポンプ、返送汚泥ポンプ、余剰汚泥ポンプ、送泥ポンプ）に採用された。吸込みスクリー付汚泥ポンプはノンクログポンプに比べてポンプ効率が良く、揚程変化に強く流量制御性にも優れているため、その後多用されている。（図2-2-6）

2.4 今後の動向

現在、無注水先行待機型ポンプは、採用に一定の条件がある。今後、建設されるポンプ所はますます深くなり、計画雨水量が多くなる傾向にあるので、厳しい条件でも運転可能な無注水ポンプの開発が求められる。

現在計画中のポンプ所の中には、現在設置されているポンプの最大出力のものより大きな出力の雨水ポンプが計画されているものもある。

高揚程、大容量のポンプの原動機は出力も大きくなり、基本料金、騒音、振動等、維持管理の問題も生じてくるので、その検討を進めておく必要がある。

耐震性に優れたポンプとして無注水先行待機型雨水ポンプが開発されたが、直下型の大地震が発生した場合、建築構造物の歪による芯ずれやポンプの傾き等が発生することも予想される。現在のポンプはこのようことは想定されておらず、注水型のポンプに比べて芯ずれやポンプの傾き等による影響の大小も十分には検討されていない。今後はあらゆる事態を想定し、被害が最小限で済むようさまざまな対応を図る必要がある。

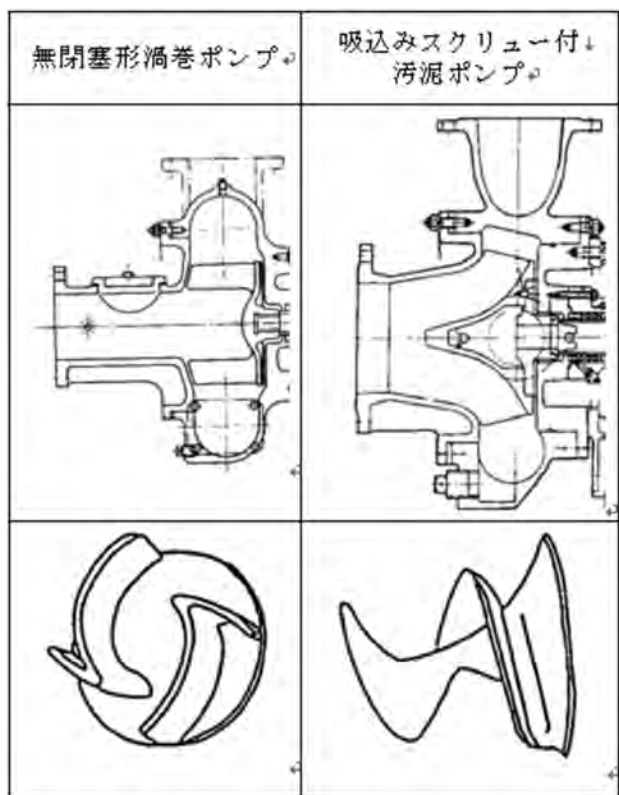


図2-2-6 汚泥ポンプ断面図とインペラ形状

第3章 水処理設備

3.1 沈殿池設備

3.1.1 沈殿池設備の歩み

水処理設備は、沈殿池設備、反応タンク設備、高度処理設備、消毒設備等に大別される。

沈殿池設備は、平成10年代以降主に再構築と高度処理が増大してきた。平成12年に改良工事で既設沈殿池の再構築が行われ、三河島処理場と森ヶ崎処理場の第二沈殿池に往復式（レシプロ式）汚泥かき寄せ機が導入されたものの、沈殿池の汚泥かき寄せ機はチェーンフライト式が主流で現在に至っている。

3.1.2 沈殿池設備

沈殿池設備は汚泥かき寄せ機、汚泥ポンプ、スクラム除去装置等で構成される。

(1) 汚泥かき寄せ機

平成12年に三河島、森ヶ崎処理場（西）の第二沈殿池に往復式汚泥かき寄せ機が導入された。往復式汚泥かき寄せ機は沈殿池底部に設置された多数のくさび形スクレーパーを往復運動させることで汚泥をかき寄せるものである。（図3-1-1、図3-1-2）

構造がシンプルで軽量なことから土木躯体の改造が少ない特徴があるが汚泥の舞い上がり等の問題があり、往復速度の調整が必要であった。

一方、沈殿池汚泥かき寄せ機の主流である

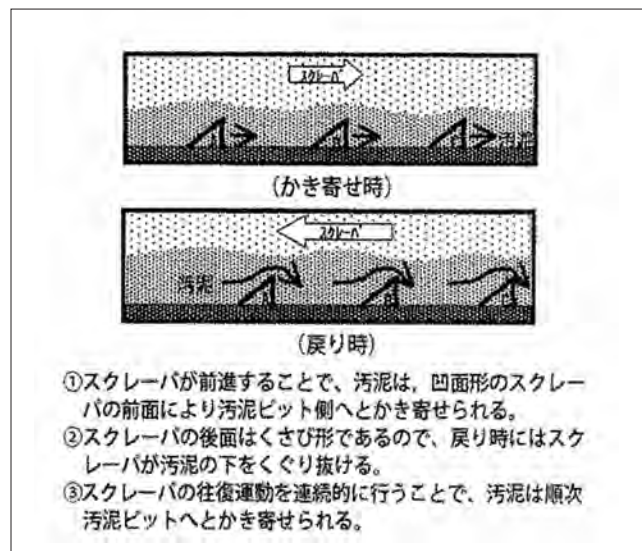


図3-1-1 往復式汚泥かき寄せ原理



図3-1-2 三河島処理場往復式汚泥かき寄せ機

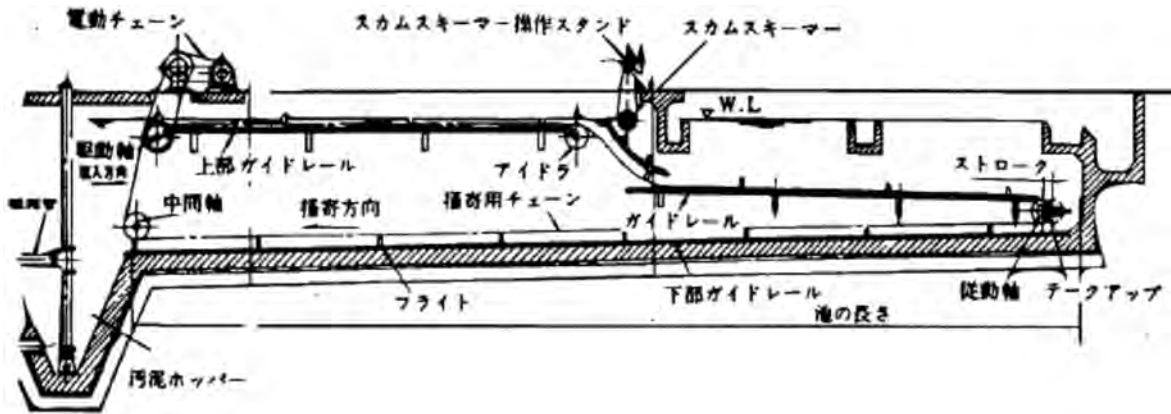


図3-1-3 チェンフライト式汚泥かき寄せ機

チェンフライト式は昭和32年に三河島処理場の第一沈殿池に初めて採用された。(図3-1-3)

昭和37年には小台処理場(現在のみやぎ水再生センター)の第一沈殿池と第二沈殿池に止水板・整流壁・導流壁を設けた本格的なチェンフライト式汚泥かき寄せ機が導入された。この汚泥かき寄せ機は、構造が簡単なため抜本的な改善はないが各部品の長寿命化が図られた。チェンの材質はFCMB製からピントルチェンに、フライトは日本檜から安価である米檜が標準となった。

ピントルチェンは腐食摩耗が原因で平均寿命が10年以下であった。そのため、平均寿命の向上を図るため、昭和44年に砂町処理場にステンレスチェンが試験導入され、さまざまな調査を行った。

その結果、昭和59年に稼働した中川処理場等の沈殿池にステンレスチェンが本格的に採用された。また、この頃にフライト材質に軽量で据え付けが容易なガラス繊維強化合成木材が採用された。

平成10年代はコスト縮減、長寿命化、維持管理の容易性、省エネ化等が図られ、平成13年新河岸東処理場(現在の浮間水再生センター)第二沈殿池のチェンフライト汚泥かき寄せ機に合成樹脂製チェンが採用された。(図3-1-4)

第一沈殿池はステンレスチェンが採用された。これ以降主務チェンを第一沈殿池は砂分による摩耗に強いステンレスチェンが、第二沈殿池は腐食に強いプラスチック製とすることが標準化された。また、フライトは、ステンレスチェンに対してはガラス繊維強化合成木材(比重0.5)、合成樹脂製チェンには浮力による脱輪防止からFRP(比重1.8)製が標準化された。(図3-1-4)



図3-1-4 チェンフライト式汚泥かき寄せ機プラスチックチェンとFRP製フライト

平成23年3月11日に発生した東日本大震災は東京でも沿岸部の水再生センターの沈殿池施設が大きな被害を受けた。葛西、砂町、森ヶ崎水再生センターのチェンフライト式汚泥かき寄せ機がスロッシング(池内の水の動揺)によりチェンの脱輪や下段槽への搬入蓋(PC板等)の落下や浮上によって引き起こされたフライト破断が生じ、復旧に時間を要した。その後、すべての汚泥かき寄せ機に地震対策として、地震動及び長周期地震動を感知して運転を停止する感振器の設置、脱輪防止のチェンカバーの設置、リターンレール部の浮上防止装置の設置、搬入口の合成木材化と固定部の強化などを実施しているところである。

(2) スカム除去装置

昭和47年三河島処理場でチェンフライト式汚泥かき寄せ機の帰りのフライトを利用してスカムを収集するパイプスキマが設置された。これにより人力によるスカムあげが自動化された。これ以降各処理場で採用され、現在に至っている。パイプスキマの駆動装置はバルブコントローラと電動式シリンダが標準化されている。無動力式スキマも一部の水再生センターで採用されている。また、パイプスキマ前面にはスカムスプレーが設置され、スキマの作動と連動してスプレーによりスカムの収集を行う。このスプレーはスキマに付着したスカムを中に押し込むことやスキマの飲み口を洗浄するなどの工夫が施されている。収集したスカムは従来沈砂池や流入幹線に返され、水処理施設内を循環しながら除去されていたが、現在はスカム分離機や脱水機で固液分離されている。

(3) 汚泥ポンプ

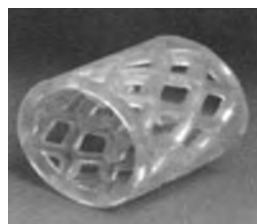
標準活性汚泥処理の場合、水処理施設の汚泥ポンプには第一沈殿池の沈殿汚泥を引き抜く生汚泥ポンプ、第二沈殿池の沈殿汚泥を反応タンクに戻す返送汚泥ポンプと余剰汚泥を汚泥処理施設に送泥する余剰汚泥ポンプの3種類がある。(詳細については第2章ポンプ設備 2.3汚泥ポンプ設備の項を参照のこと)

3.1.3 合流改善設備

平成13年に、お台場海浜公園に白色固形物（オイルボール）が漂着したことを契機に、合流式下水道の雨天時放流に対する問題がクローズアップされた。そこで下水道局は平成12年に「合流改善クイックプラン」、平成16年に「新合流改善クイックプラン」を策定し、遮集幹線の増強や貯留施設の整備などの効果的な対策を実施してきた。一方、用地の少ない水再生センターにおいては、貯留池に代わる合流改善対策として、雨天時の簡易処理水の負荷削減を目的に第一沈殿池代替技術である高速ろ過と高速凝集沈殿を導入した。

(1) 高速ろ過設備

本技術は下水道局が平成3年に民間企業との共同研究に着手し、平成5、6年に下水道新技術推進機構と共同で実用化研究を行い、平成14年に日本で初めて芝浦処理場で実用化された。



浮上ろ材

高速ろ過設備では、合流下水が上向流でろ過池内を流れ、SS分を浮上ろ材で捕捉しながら全層でろ過を行う。処理水は晴天時には上部のスクリーンを通り、反応タンクに流れ、雨天時には簡易処理水として一部放流する。(図3-1-5)

ポリプロピレン製中空円筒格子状の浮上性ろ材のろ材層においてSS性汚濁物を上向流で捕捉・除去する。晴天時は無薬注でろ過速度400 m/日、雨天時は凝集剤を添加して1,000 m/

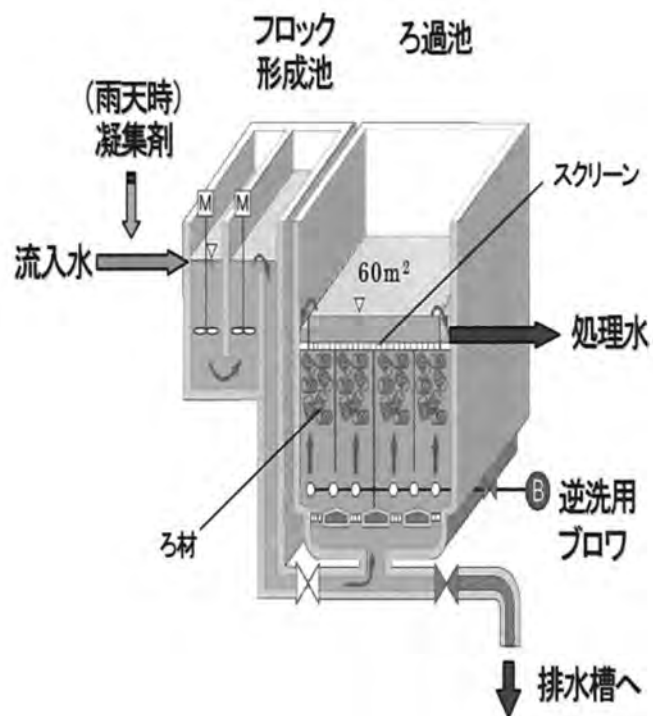


図3-1-5 芝浦処理場高速ろ過設備の概要

日で運転する。

また、平成 19 年に北多摩二号水再生センターにおいては、特殊ろ材を用い雨天時においても凝集剤が不要な高速ろ過が稼働した。ろ材は風車型で空隙率を高めてろ過継続時間が長くなるよう工夫されたものである。本技術は平成 13 年に下水道局が民間企業と同センターにてノウハウ・フィールド提供型共同実験を実施して開発したものである。(図 3-1-6)

本装置は浮上ろ材を用いた上向流方式のろ過法であり、土砂等の無機系汚濁物に関しては流入後、沈殿効果により槽下部に移行する。また、比重の軽い有機系汚濁物、SSはろ材層に移行する。毛髪、塵芥類、葉、オイルボール等はろ材下部表層付近でろ過され、SSはろ材内下部で捕捉・除去される。ろ過速度は最大 1,000 m/日である。

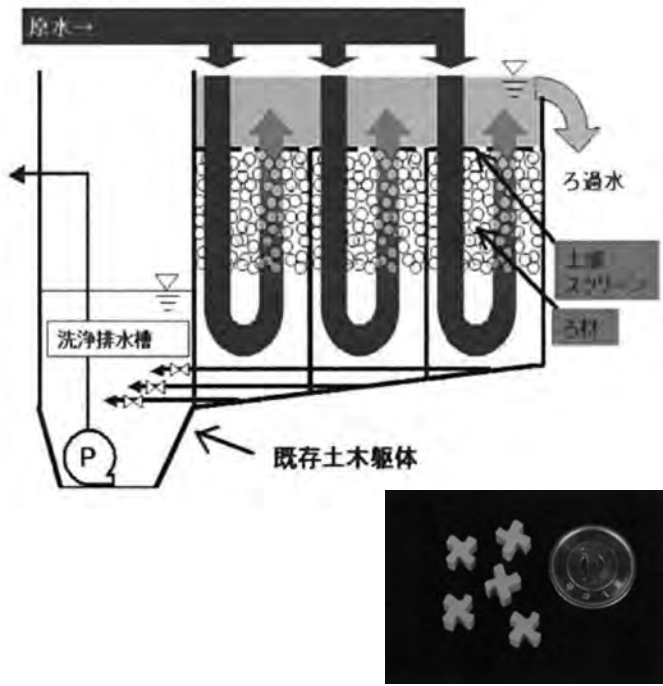


図 3-1-6 北多摩二号水再生センター高速ろ過設備の概要

(2) 高速凝集沈殿設備 (アクティブフロー)

本技術は、下水道局が平成 13 年度に民間企業との共同研究に着手し、大島ポンプ所に設置したパイロットプラントにて処理性能を確認し、小菅水再生センターに導入した。

小菅水再生センターに導入した高速凝集沈殿設備は、雨水沈殿池 1 水路を改造し、処理能力 100 m³/分として、平成 17 年 3 月に稼働開始した。

高速凝集沈殿設備は、凝集沈殿技術にマイクロサンドを添加し、汚濁物質を取り込んでフロックを速やかに沈殿させることができるコンパクトでありながら処理能力の高い技術である。第二主ポンプ室で揚水した雨天時汚水は最初に雨水沈殿池に導き、雨水沈殿池満杯後に高速凝集沈殿池にて処理して放流するものである。(図 3-1-7)

高速凝集沈殿設備は、スクリーンにて夾雑物を除去し、浮遊SSを凝集させるため無機凝集剤を添加する急速攪拌槽、沈殿汚泥の核となるマイクロサンドを添加する注入攪拌槽、高分子凝集剤を添加しSSと

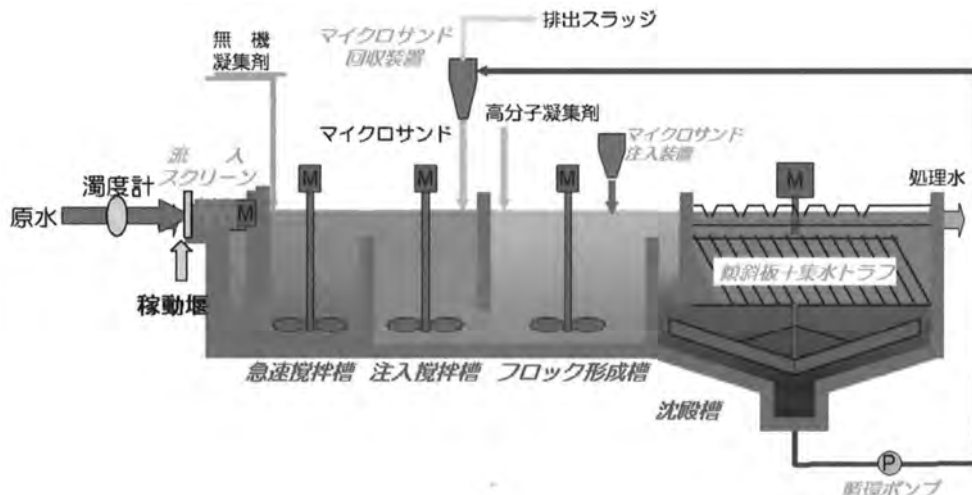


図 3-1-7 高速凝集沈殿設備

マイクロサンドの結びつきを強くするフロック形成槽、傾斜板を設けて効率的に凝集汚泥を沈殿させてかき寄せせる沈殿池及び沈殿汚泥とマイクロサンドを分離しマイクロサンドを回収する装置で構成している。

高速凝集沈殿設備は、導入後の評価において僅か10分の滞留時間でありながら、SS除去率90%、BOD除去率75%と高い処理性能を有していることが検証された。

高速ろ過設備は、晴天時に第一沈殿池として機能し、雨天時にはろ過速度を高めて雨天時汚水を処理しているが、高速凝集沈殿設備は雨天時のみの稼働としている。

3.1.4 今後の動向

東日本大震災では特に汚泥かき寄せ機の被害が大きく、その耐震性の向上が課題となった。今後、近い将来に発生が予想される首都直下型地震に適切に対応するため、現在実施しつつある改善策に加え、更に検討を行っていく必要がある。

高速ろ過については「経営計画2013」の計画期間内に砂町水再生センターなどの3か所で新規に着手する計画である。

加えてオリンピック・パラリンピックの開催が決まり、公共用水域で行われる競技も多くあることから、合流改善技術の更なる検討を行っていく必要がある。

3.2 曝気槽（反応タンク）

3.2.1 曝気槽（反応タンク）設備の歩み

大正11年に日本で初めて三河島污水処分場（昭和26年以降は処理場、平成16年度以降は水再生センターという）で標準散水ろ床方式による污水处理を開始した。その後、昭和5年に砂町污水処分場、昭和6年に芝浦污水処分場が運転を開始したが、両処分場の運転当初は沈殿処理であった。昭和9年に三河島污水処分場でパドル式曝気槽を、昭和12年には芝浦污水処分場でシンプレックス曝気槽が設置されて活性汚泥法による処理が開始された。

昭和30年代以降は、散気式活性汚泥法が主流となり、曝気槽散気用としてターボブロワが採用された。

昭和50～60年代は省スペース、省エネルギーを図るため、新河岸、森ヶ崎処理場に二階層式沈殿池と深槽曝気槽を組み合わせた水処理施設が建設された。

平成7年には有明処理場で嫌気・無酸素・好気法（ A_2O 法）の高度処理が運転を開始した。これを機に平成10年代以降は主に A_2O 法による高度処理と再構築工事が増大している。平成13年、新河岸東処理場（現浮間水再生センター）に A_2O 法による高度処理の採用、平成16年、三河島水再生センター（北系）に担体添加ステップ A_2O 法が採用された。平成20年に森ヶ崎水再生センター（東）、砂町水再生

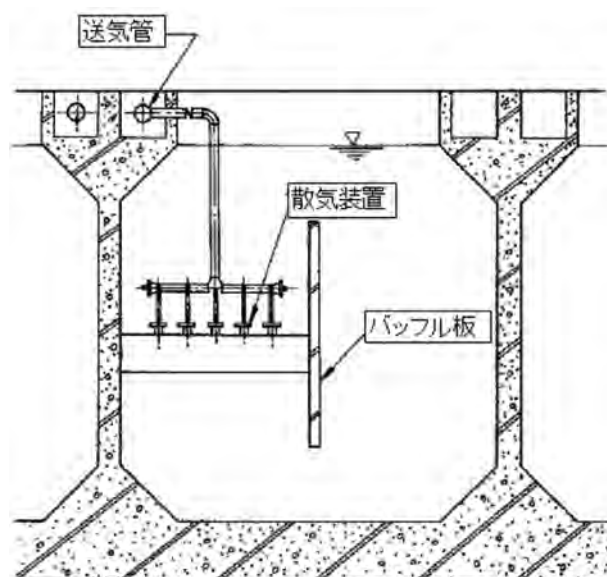


図3-2-1 深槽曝気槽の構造

センター（東陽Ⅲ系）に高度処理が導入された。
 また、流域下水道においても、平成12年度に北多摩二号水再生センターに導入し、以後、全水再生センターに順次導入した。

設備としては反応タンクに超微細気泡式散気装置が採用された。平成22年、芝浦水再生センターに送風機の分散配置方式を採用した。

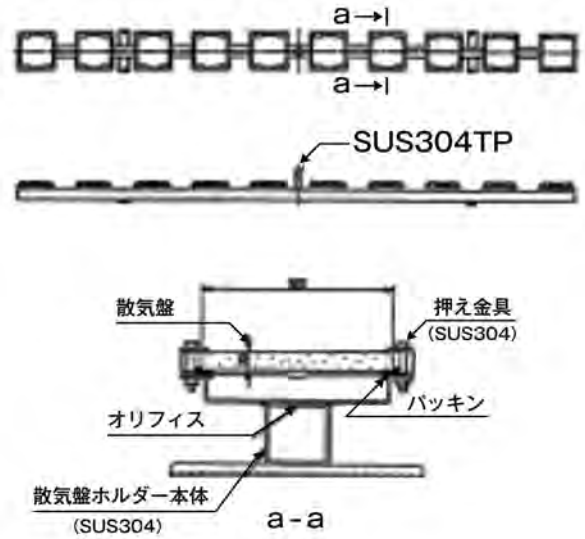


図3-2-2 微細気泡式散気板の構造

3.2.2 散気設備

芝浦処理場での深槽曝気槽の実証試験の結果を得て、昭和49年新河岸処理場、昭和50年森ヶ崎処理場（東）、昭和51年芝浦処理場、小菅処理場と次々と深槽曝気方式の処理施設が稼働した。

以降建設されるものは全て深槽曝気槽とし、

沈殿池の2階層式と組み合わせて大幅な省スペース化が可能となった。（図3-2-1）

一方、従来の浅槽曝気槽については散気板による片側旋回流方式を採用していたが、昭和58年、小台処理場、砂町処理場で曝気槽の底部全面に渡って散気板を敷く全面曝気方式が採用された。流入部から流出部に掛けて散気板の数量を減じていくテーパードエアレーション方式とした。以後、浅槽曝気槽を再構築する場合は概ね本方式を採用した。

散気装置は平成10年頃まで標準的には散気板（微細気泡式、形状300×300×30mm、セラミック多孔質磁器製品（図3-2-2））を採用していたが、昭和49年、深槽曝気槽で建設された新河岸処理場では、工場排水の影響を考慮して目詰まりしない粗大気泡式の散気管を採用した。

また、流域の一部の処理場ではセラミック製の散気筒も採用された。平成10年に清瀬処理場で、目詰まりが進んだ散気筒を焼き直しにより再生を行った例もある。

平成13年、新河岸処理場で従来の散気管にかえてポリプロピレン製の管にゴム製のメンブレンを巻き付けたメンブレンパイプ式散気装置（超微細気泡）を採用した。超微細気泡式なので従来の散気管に比べて酸素移動効率は大きく省エネ型となっている。（図3-2-3）

平成14年、平板式のメンブレンパネル式散気装置（超微細気泡）が清瀬、多摩上流処理場等で採用された。酸素移動効率が27%（5m深）と従来の散気板（17%（5m深））と比較して格段の高い性能

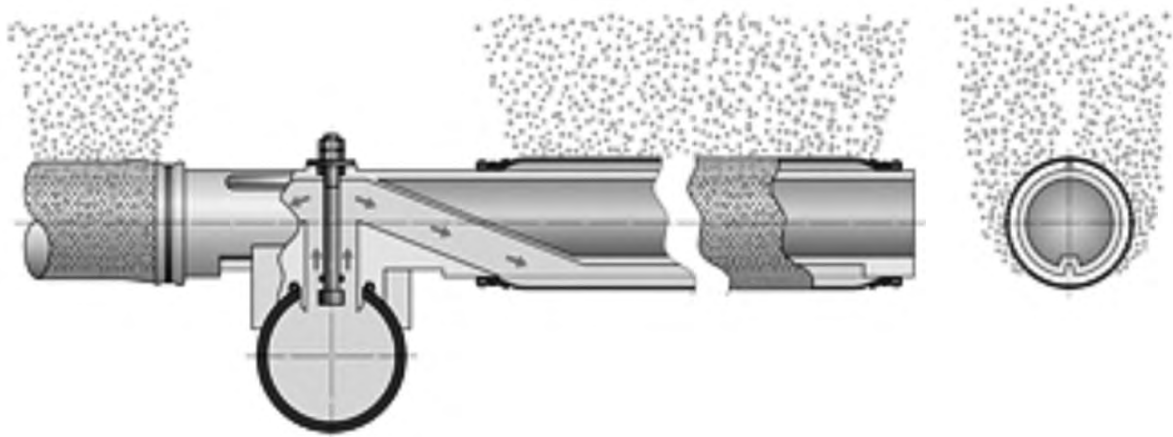


図3-2-3 メンブレンパイプ式散気装置の構造

第1章

第2章

第3章

第4章

第5章

第6章

第7章

第8章

第9章

第10章

第11章

資料



図3-2-4 メンブレンパネル式散気装置の構造①

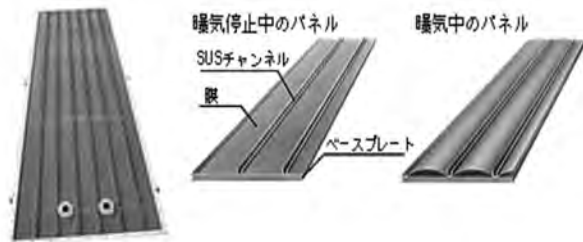


図3-2-5 メンブレンパネル式散気装置の構造②

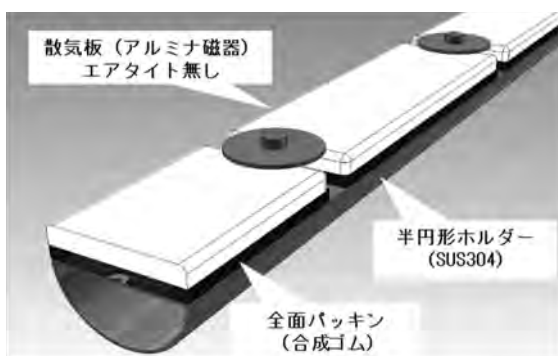


図3-2-6 高密度配置型散気装置の構造



図3-2-7 高密度配置型散気装置据付例 (深槽反応タンク)

を有している。(図3-2-4、図3-2-5)

平成18年、新型セラミック製散気板(高密度配置型散気板300×100×15mm、超微細気泡)が南多摩水再生センターに採用された。本装置も酸素移動効率はメンブレン式散気装置と同等の性能を有している。(図3-2-6、図3-2-7)

以降の反応タンク工事では概ねメンブレン式散気装置と高密度配置型散気板が使用されている。

平成24年、酸素移動効率が高い散気装置を従来よりも深く(4.5m→5.5m)設置し、更に酸素移動効率を高める運転方式が採用された。設置水深が深化した系列に対して、当時開発されていた小型送風機を組み合わせ、送風機の分散設置方式とすることで、制御性の向上と省エネ運転を目指している。

東京都下水道局は平成16年にアースプラン(地球温暖化防止計画)2004を、平成20年にアースプラン2010を策定した。反応タンクへの送風に要する電力量の割合は水処理で消費する電力量の約40%を占める。従来方式を超微細気泡散気装置に変えることにより消費電力が2割削減できることから、CO₂削減に大いに貢献できる。したがって、今後は計画的にこれらの散気装置を積極的に採用していくこととしている。

また、東京湾の富栄養化問題への対応や資源の活用の観点から、脱窒・脱りん技術は多様に研究されていたが、平成の始め頃から富栄養化問題が顕在化し、下水処理場放流水に含まれる窒素及びりんを削減する必要に迫られ反応タンクを利用する高度処理法が導入された。有明処理場、新河岸東処理場(現在の浮間水再生センター)は高度処理法(いずれもA₂O法)で認可を受け、建設した処理場であり、それぞれ平成7年、平成13年に運転を開始した。

高度処理の機械設備は標準活性汚泥法の設備に嫌気槽、無酸素槽のかくはん機及び第二沈殿池から無酸素槽へ活性汚泥を循環させる循環ポンプを加えた(A₂O法のみ)設備である。

詳細は「3.3 高度処理設備」で記述する。

3.2.3 今後の動向

超微細気泡式散気装置（メンブレンディフューザ、高密度配置型散気板）は酸素移動効率が高いが、まだ実績が少なく、目詰まりなどに注視していく必要がある。また、分散設置送風機システムについても実績が少ないので、今後とも追跡調査をしていくことが望ましい。

省電力、CO₂削減は重大な課題であるので、今後ともより酸素移動効率が高く、目詰まりにも強い散気装置などの開発が望まれる。

3.3 高度処理設備

3.3.1 高度処理設備の歩み

高度処理とは、通常の有機物除去を目的とした二次処理で得られる処理水質以上の水質を得る目的で行う処理をいい、通常の二次処理で除去対象とするBOD、SSの除去向上を目的とするものと、二次処理では十分に除去できない窒素、りん、難分解性のCOD等の除去向上を目的とするものがある。

高度処理は、かつては三次処理と呼ばれ、活性汚泥法に代表される二次処理に砂ろ過等の処理プロセスを付加して処理水質をさらに向上させる処理を指していた。これはBOD、SSの除去向上を目的とするものであった。一方、近年では、特に閉鎖性水域の富栄養化防止を目的とした生物学的な窒素・りん同時除去法などの開発により、標準活性汚泥法とは異なる処理プロセスが導入されるようになってきた。そのため、かつての三次処理にこれらの処理法も含んだ形で高度処理という名称が一般的に使用されるようになった。

3.3.2 高度処理の目的

高度処理といっても、処理する対象はさまざまであり、その目的によって除去対象が異なる。

(1) 湖沼、三大湾等の閉鎖性水域の富栄養化防止

湖沼や湾などの閉鎖性水域では、窒素・りん等の栄養塩類の濃度が高まると、富栄養化に起因する赤潮や青潮などが生じ、利水障害あるいは漁業被害をもたらすことがある。富栄養化防止を目的として、通常の二次処理に加え、窒素・りんを削減するために高度処理を実施する必要がある。湖沼や湾については、COD・窒素・りんに係る環境基準並びに排水基準が定められている。

(2) 水質環境基準の達成維持

大都市内を流れる都市河川の多くは固有流量が極めて少なく、下水処理場の放流水が大きな割合を占めている。これらの水域においては、二次処理のみでは水質環境基準の達成・維持が困難な場合があり、こうした場合には高度処理の効果やその水域の重要性等を十分検討したうえで、BOD、COD、SS等を対象とした高度処理を行う必要がある。

(3) 水道水源水域の水質保全

水道水源の上流や漁場、レクリエーション水域の近傍など放流水域の利水対応や放流水域の生態系保護などの理由から、より高度な水質が要求される場合がある。

(4) 処理水の再利用

下水処理水は安定した水資源であり、大都市域などを中心に水需要のひっ迫した地域においては、その対応策として下水処理水再利用の需要が高まっている。下水処理水再利用には、水洗用水、散水用水、修景・親水用水、熱利用等のさまざまな用途があるが、これらの用途ごとに要求水質が異なるため、「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル」(国交省(平成17年4月))に沿った高度処理を行う必要がある。

わが国では、昭和40年代に公害対策基本法(昭和42年8月)、大気汚染防止法(昭和43年6月)、水質汚濁防止法(昭和45年12月)の各防止法が施行され、下水道整備等も進み、水質改善がされてきたが東京湾の水質環境基準には達していない。国土交通省では平成15年9月に下水道法施行令を改正して、窒素、りんを放流水質基準に追加するなど基準を強化した。併せて未制定であった公共下水道の構造基準を制定するとともに、下水道管理者が放流先の状況等を考慮しながら自ら計画放流水質を定めることとされた。このことにより高度処理の導入など新たな政策課題についても政令上の位置づけが明確化され、適切に取り組んでいくこととなった。この計画放流水質の設定、及びこれと流域別下水道整備総合計画(流総計画)との関係について、「事業計画の策定又は変更を行う際には、計画放流水質を定めること」(平成16年3月)とされ、また、「当該流域に関し流総計画が定められている場合においては、これと整合性のとれたものであること」とされている。

また、平成17年に下水道法及び下水道法施行令の改正が行われ、都道府県は、流総計画に、終末処理場からの放流水に含まれる窒素またはりんの終末処理場ごとの削減目標及び削減方法を定めなければならないとされ、窒素、りんを削減する高度処理を計画的に導入することとなった。

3.3.3 高度処理に関する基準

日本の下水道の処理人口普及率は、平成24年度末現在で76.3%(9,645万人)、汚水処理人口普及率は88.1%に達した。下水道行政は単なる整備の時代から水・物質循環における役割や地域の持続的発展に配慮した施策展開が求められてきている。

このようなもと、下水処理における「水処理」は有機物汚濁の除去を主体とした二次処理から、有機物の除去率をさらに高め、窒素やりんも除去対象とする高度処理へと移行しつつある。一般に公共用水域の水質の基準としては、「環境基準」が用いられる。この環境基準は、環境保全にかかわる基本法である「環境基本法」に基づき環境省告示によって定められており、公共用水域の水質について達成・維持することが望ましい水質保全行政上の目標値とされている。環境基準には、「人の健康の保護に関する環境基準」と「生活環境の保全に関する環境基準」が規定されている。(表3-3-1)

表3-3-1 環境基準

| |
|---|
| <p>人の健康の保護に関する環境基準 【全国一律に基準値を規定】 カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、アルキル水銀、PCB等</p> |
| <p>生活環境の保全に関する環境基準 【河川、湖沼、海域ごと水域類型によって基準値を規定】 河川：pH、BOD、SS、DO、大腸菌群数、亜鉛 湖沼：pH、COD、SS、DO、大腸菌群数、全窒素、全リン、亜鉛 海域：pH、COD、DO、大腸菌群数、n-ヘキサン抽出物質、全窒素、全リン、亜鉛</p> |

「環境基準」に対して、工場や事業所から公共用水域への排水については、「水質汚濁防止法（水濁法（）」によって「排水基準」が定められている。環境行政上の目標値である環境基準と異なり、事業者に対する厳しい直罰規定が設けられている。

水濁法には、いわゆる上乗せ基準の規定があり、全国一律の排水基準で環境基準を達成・維持することが困難な水域については、都道府県条例や各種特別措置法などにより、より厳しい上乗せ基準や横出し基準、総量規制等が施行されている。（表3-3-2）

表3-3-2 一律排水基準と上乗せ基準（東京都の例）

| | 窒素含有量 (mg/l) | りん含有量 (mg/l) | 適用 |
|-------------|--------------------|------------------|-----------------------------------|
| 一律排水基準 (注1) | 最大値 120 日平均値 60 | 最大値 16 日平均値 8 | 平均排水量 50 m ³ /日以上 的事业所 |
| 上乗せ基準 (注2) | 20 | 1 | 新設処理場 |
| | 30 | 3 | 既設処理場 |

(注1) 排水基準を定める環境省令

(注2) 都民の健康と安全を確保する環境に関する条例

上記の上乗せ基準は、窒素・りんの他にBOD、COD、SS等についても設定されている。

3.3.4 処理方式

標準活性汚泥法やステップエアレーション法は、主として有機物の除去を目的としており、窒素やりんの除去能力は低い。これに対して、1960年代に循環式硝化脱窒法（活性汚泥循環変法）が開発され、有機物の除去を主体とした従来からの活性汚泥法の機能に加えて窒素除去機能が付加されることになっ

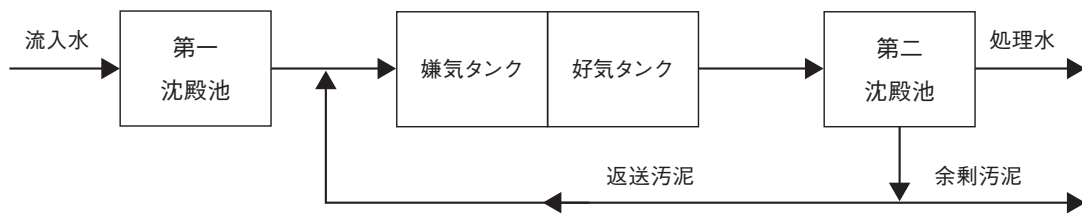


図3-3-1 嫌気-好気活性汚泥法の処理フロー

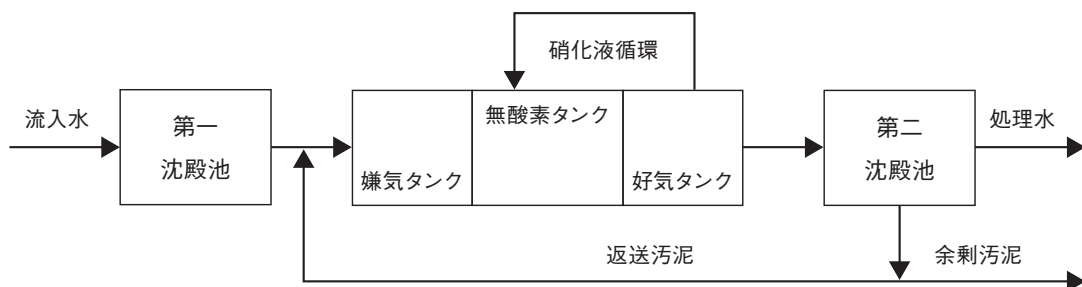


図3-3-2 嫌気-無酸素-好気法の処理フロー

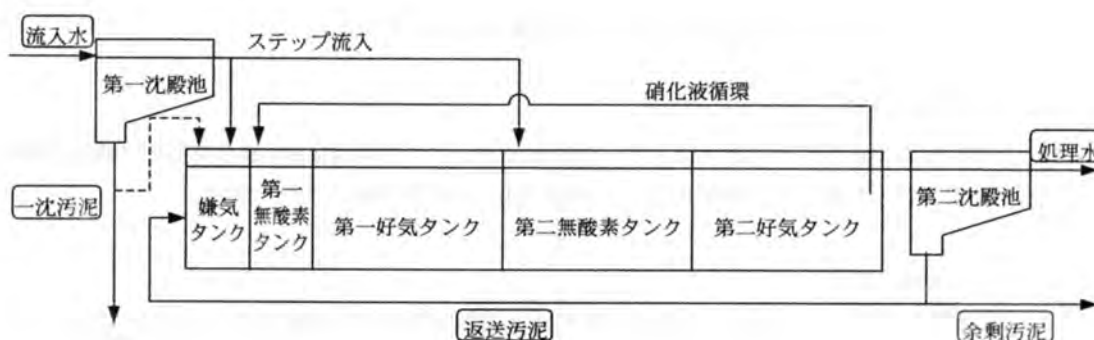


図3-3-3 ステップ流入式嫌気—無酸素—好気法の処理フロー

た。また、1970年代にはりん除去機能を持つ嫌気—好気活性汚泥法（A₀法）が開発され、さらに、窒素・りんの同時除去が可能な嫌気—無酸素—好気法（A₂O法）へと活性汚泥法の機能が拡大された。

東京都における窒素、りんの除去を目的とした高度処理として、平成6年度から7年度にわたり嫌気—無酸素—好気法の実態調査を実施し、平成8年度に同法を有明処理場に、また、生物学的窒素・りん同時除去の高効率化技術として、ステップ流入式嫌気—無酸素—好気法を確立し、平成19年度に同法を八王子水再生センターに初めて導入した。これらをベースとして東京都では高度処理の導入を進めている。現在、東京都で採用されている主な水処理方式は、標準活性汚泥法、嫌気—好気活性汚泥法（A₀法）（図3-3-1）、および嫌気—無酸素—好気法（A₂O法）（図3-3-2）、ステップ流入式嫌気—無酸素—好気法（ステップA₂O法）（図3-3-3）などであり、これに伴って、嫌気タンク攪拌機、無酸素タンク攪拌機や硝化液循環ポンプが取り入れられた。

A₀法やA₂O法で安定的にりんを除去するためには、流入水中のBOD/P比が概ね25以上必要であり、流入水中のBODが不足する場合には、有機物の添加（メタノール等の薬品や初沈汚泥などを利用）を行う。また、合流式下水道で雨天時に流入下水に雨水が多量に流入すると、流入下水の有機物濃度が低下するとともに、流入下水の溶存酸素濃度が上昇して嫌気タンクの嫌気状態を保持できなくなり、嫌気タンクでのりんの放出が低下してりん除去が悪化する。そのため、PAC等の金属塩凝集剤添加による物理化学的りん除去法を併用することにより、りん除去法の安定化を図ることが行われている。

嫌気タンクには、第一沈殿池からの流入汚水を嫌気状態に維持するために攪拌機能だけの攪拌機を設けるが、現在、水中機械式攪拌機、水中羽根式攪拌機、ドラフトチューブ型機械攪拌機、双曲面形攪拌機、複翼式攪拌機が用いられている。

無酸素タンクには、嫌気タンクからの汚水と無酸素タンクに投入される硝化循環液を混合攪拌し、無酸素状態を維持するための攪拌機を設ける。

なお、季節による水質等の変動に対応するため、散気機能を付加した攪拌機を無酸素タンクの後段部に設けることもある。無酸素タンクの攪拌は、無酸素状態の維持および脱窒速度を高めるために、水中機械式攪拌機、水中羽根式攪拌機、ドラフトチューブ型機械攪拌機、双曲面形攪拌機、複翼式攪拌機が用いられている。

好気タンクには、必要酸素の供給を行い、流入汚水と活性汚泥の混合状態を良好に維持するための散気を行い充分な攪拌を考慮した散気装置を設けている。

3.3.5 水中攪拌機の概略図と納入実績

(1) 水中機械式攪拌機

納入実績：森ヶ崎、三河島、小菅、中川、中野、新河岸東、芝浦、北多摩二号、清瀬、南多摩、八王子、多摩川上流の各水再生センター

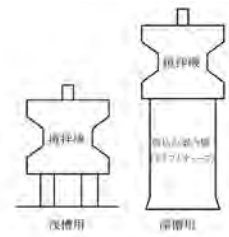


図3-3-4 水中機械式攪拌機

(2) 水中羽根式攪拌機

納入実績：有明水再生センター

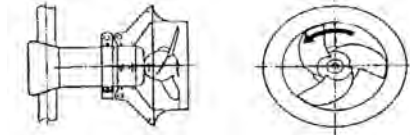


図3-3-5 水中羽根式攪拌機

(3) ドラフトチューブ型機械攪拌機

納入実績：三河島、森ヶ崎、砂町、小菅、清瀬、南多摩、八王子、浅川の各水再生センター



図3-3-6 ドラフトチューブ型機械攪拌機

(4) 双曲面形攪拌機

納入実績：三河島、浅川、清瀬、多摩川上流、北多摩一号の各水再生センター



図3-3-7 双曲面形攪拌機

(5) 複翼式攪拌機

納入実績：三河島、芝浦、南多摩の各水再生センター



図3-3-8 複翼式攪拌機

3.3.6 硝化液循環ポンプ

A₂O法では、無酸素タンクへの硝化液の循環は主として循環ポンプで行うこととし、循環比率（返送汚泥を含まず）は、設計水量に対して最大150%程度としている。なお返送汚泥返送比率は50%程度とし、合わせて循環比率は200%程度としている。循環水量の調整は、回転速度制御及びポンプの運転台数により行い、循環ラインには、流量計を設置し計測する。

硝化液循環ポンプ台数は、1系列当たり3台程度とし、ポンプ容量は、計画1日最大汚水量（夏季）に対し、150%程度を確保し、回転速度制御は、全台について設置している。

なお、返送汚泥ポンプの容量は、計画1日最大汚水量（夏季）に対し、50%程度とし、予備機を含めて100%程度の容量としている。

ステップ流入式A₂O法では、循環比率（返送汚泥を含まず）は、設計水量（夏季）に対して最大100%程度としている。

硝化液循環ポンプは、従来は汎用の水中ポンプを多用していた。

しかしながら、硝化液循環ポンプは吐出量が大きく、全揚程が極めて小さいことから、汎用水中ポンプでは効率の悪い運転を余儀なくされていた。さらに、流量制御では吐出弁絞り制御のため、不必要な

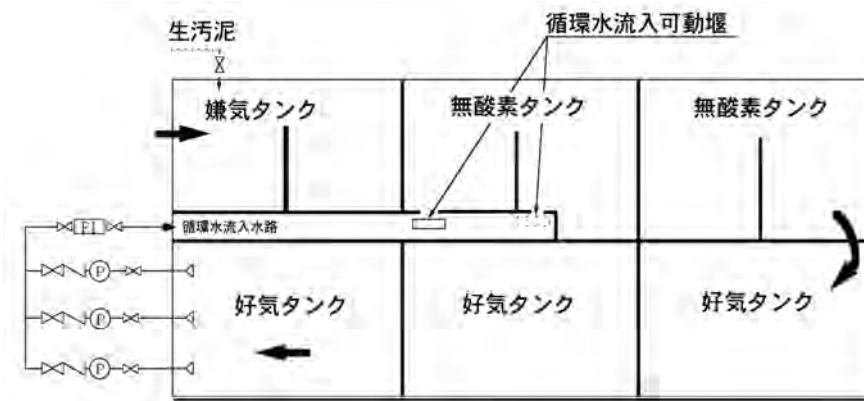


図3-3-9 循環水流入水路による循環フローシート例

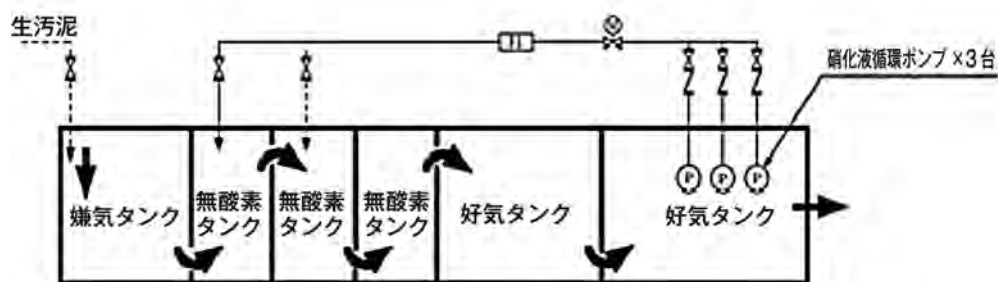


図3-3-10 配管による循環フローシート例

電力を消費する状態であった。

このことから、近年では陸上型のプリアウト式縦軸ポンプ、渦巻斜流ポンプまたは吸込スクリー付汚泥ポンプを標準としている。

中でもプリアウト式縦軸ポンプは超低揚程用（ $H = 1 \sim 4 \text{ m}$ ）に開発されたもので、効率の高い運転が可能であるとともに流量制御も回転速度として電力消費量の削減を図ることが可能である。さらに、陸上型のため維持管理性の向上も図れている。

3.3.7 今後の動向

東京湾の流域面積は、 $9,260 \text{ km}^2$ （国土面積 $377,930 \text{ km}^2$ の2%）、流域人口2,900万人（国民12,731万人の23%）で、東京湾の水域面積は3大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）の中では最小であるが、背後人口や経済規模は大きく、閉鎖性の強い内湾域であり、人口・産業の集中に伴う環境負荷の増大や埋め立てに伴う影響を受ける。このため、湾内へ流入する窒素・りん等による富栄養化が進行しやすく、汚濁負荷が蓄積、堆積しやすい。現状では、東京湾流域の下水道高度処理率は伊勢湾25.7%、大阪湾41.7%に比べて低く、10.6%である。

このような背景から、東京湾では開発や利用と環境との調和を図りながら、質の高い良好な環境を将来世代へ継承することが重要な課題であり、下水道整備等

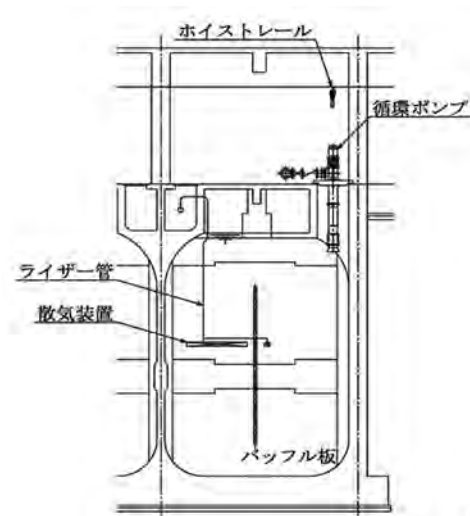


図3-3-11 プリアウト式立軸ポンプの設置例

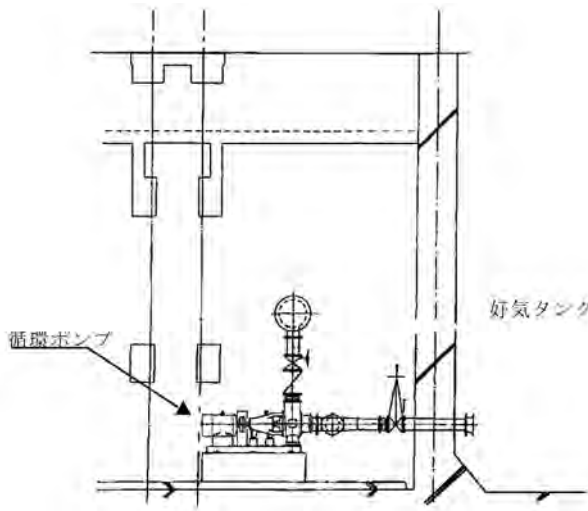


図3-3-12 吸込スクルー付汚泥ポンプの設置例

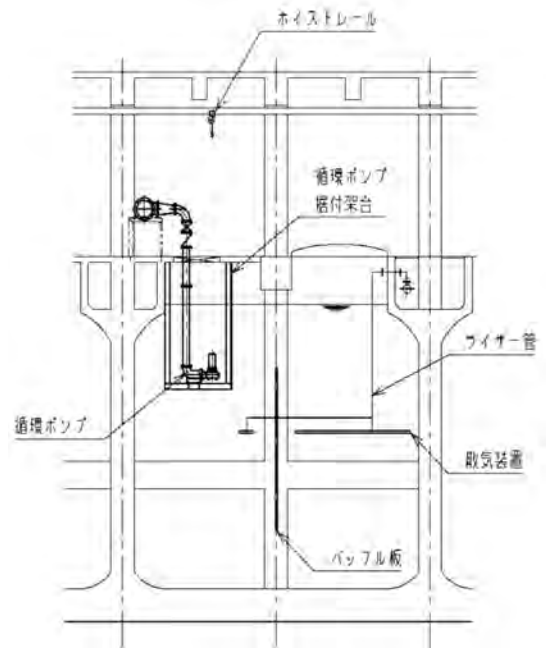


図3-3-13 水中ポンプの設置例

が進み水質改善されるも、東京湾の水質環境基準には達しておらず、引き続き、東京都は流域内の各主体と連携して窒素やりんをより多く除去できる高度処理の導入を進め、川や海へ放流する下水処理水の水質をより一層改善し環境改善に取り組んでいく必要がある。なお、長期的な整備目標としてCOD 8 mg/l、T-N 8 mg/l、T-P 0.4 mg/lを目指している。

このためには次の様な課題等が考えられる。

第一には使用電力増大への対応である。一般に高度処理施設は、標準活性汚泥法に比べ長い処理時間を必要とすることやろ過等のプロセスが追加となることから、施設規模が大きくなるとともに、広い敷地面積を必要とし、既存の標準活性汚泥法の施設を高度処理に改造するには施設の増強が不可欠であり、高度処理の導入には長い期間が必要である。

また、標準活性汚泥法などと比べ攪拌機や硝化液循環ポンプなどにより使用電力量が増大し、処理コストが増す。このような課題を解決するには、既存施設の改造により早期に導入が可能で、電力消費量を増やさずに、これまでの標準活性汚泥法などの処理法に比べ、窒素及びりんをより多く削減することができる段階的の高度処理（準高度処理）を導入することにより、使用電力を増やさずに水質を改善することなども必要となっている。

表3-3-3 処理方式別の性能比較（区部施設の平均値）

| | 反応槽以降の除去率 | 使用電力 | 処理能力 |
|-------------------------|------------------|------|------|
| 標準活性汚泥法（硝化促進運転） | 窒素：50% りん：75% | 100 | 100 |
| 準高度処理（硝化促進AO法） | 窒素：58% りん：85% | 100 | 100 |
| 高度処理（A ₂ O法） | 窒素：70% りん：88% | 130 | 63 |

注) 使用電力と処理能力は、標準活性汚泥法を100としたときの相対値

使用電力は、調査結果をもとに処理水1 m³あたりの使用量で比較（ただし、微細気泡による省エネ効果分は考慮せず）

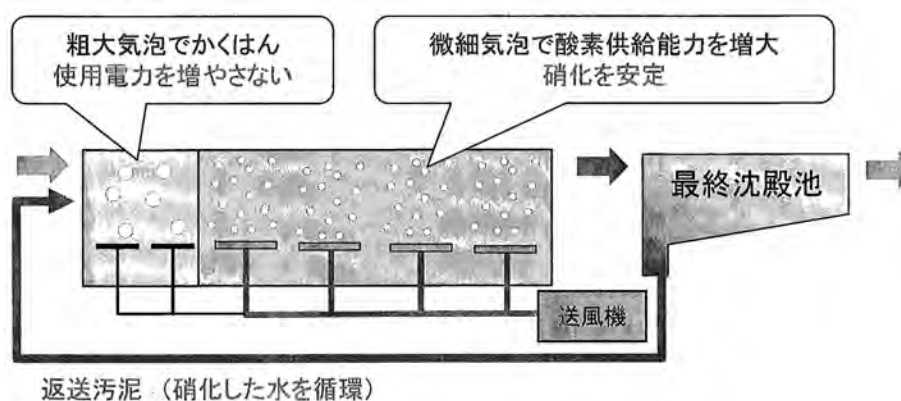


図3-3-14 準高度処理（硝化促進型A/O法）のフロー

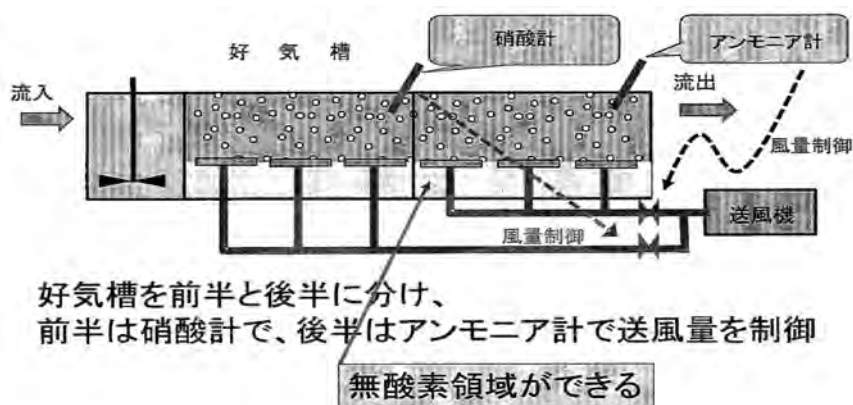


図3-3-15 共同研究実施中の好気槽内脱窒（硝化脱窒同時処理）制御方法

準高度処理（硝化促進型A/O法）は、硝化が安定し、ちっ素除去率が若干向上する、攪拌機を使用しないため消費電力の増加がない、といった特徴がある。（図3-3-14）

更に現在、好気槽内脱窒（硝化脱窒同時処理）制御方法の共同研究を実施している。これは、好気槽を前半と後半に分け、前半は硝酸計で、後半はアンモニア計で送風量を制御することにより、散気設備の下層で脱窒が可能になり、反応槽容量の削減、攪拌機と硝化液循環ポンプの省略で電力量の削減ができる技術である。（図3-3-15）

最後に、東京オリンピック・パラリンピックの開催が決定したが、トライアスロン、カヌーなど水辺空間での競技も多く行われる。こうした競技の運営に支障が生じないように、お台場や隅田川などの水環境を向上させるべく、合流改善や高度処理の導入などを一層強化させていくことが課題となる。このため、今後新たに建設する水処理施設には、窒素及びりんを削減する高度処理を導入し、更新工事については、準高度処理を導入し平成30年度までに、準高度処理と高度処理を合わせた施設能力を7割程度まで向上させることを目指している。

3.4 消毒設備

3.4.1 消毒設備の歩み

消毒には処理場から放流される総合放流水の消毒と処理場内ポンプ所や中継ポンプ所から放流される直接放流水の消毒がある。

以前は総合放流水の消毒のみが行われており、昭和5年砂町污水処分場に塩素滅菌式消毒設備が導入された。当初は乾式注入であったが、昭和30年代に処理水の消毒に液体塩素が用いられた。昭和58年、中川処理場に薬品費は高いが、操作が容易で安全性の高い次亜塩素酸ナトリウム消毒設備が設置された。その後、すべての処理場で次亜塩素酸ナトリウム消毒設備に変更・改善が行われた。平成7年有明処理場の高度処理水には、脱色および殺菌を兼ねたオゾン処理が導入された。同年落合処理場の城南三河川への清流復活水に紫外線滅菌設備が導入され現在に至っている。

3.4.2 直接放流水への消毒設備

平成13年、合流改善クイックプランにおいて、雨天時の放流水質改善対策として、処理場内ポンプ所の雨水放流水及び単独放流する簡易処理水放流水に消毒設備を導入することとなった。これらに対しては次亜塩素酸ナトリウムの接触時間（15分間）が取れない場合が多いため、短時間で消毒効果を発

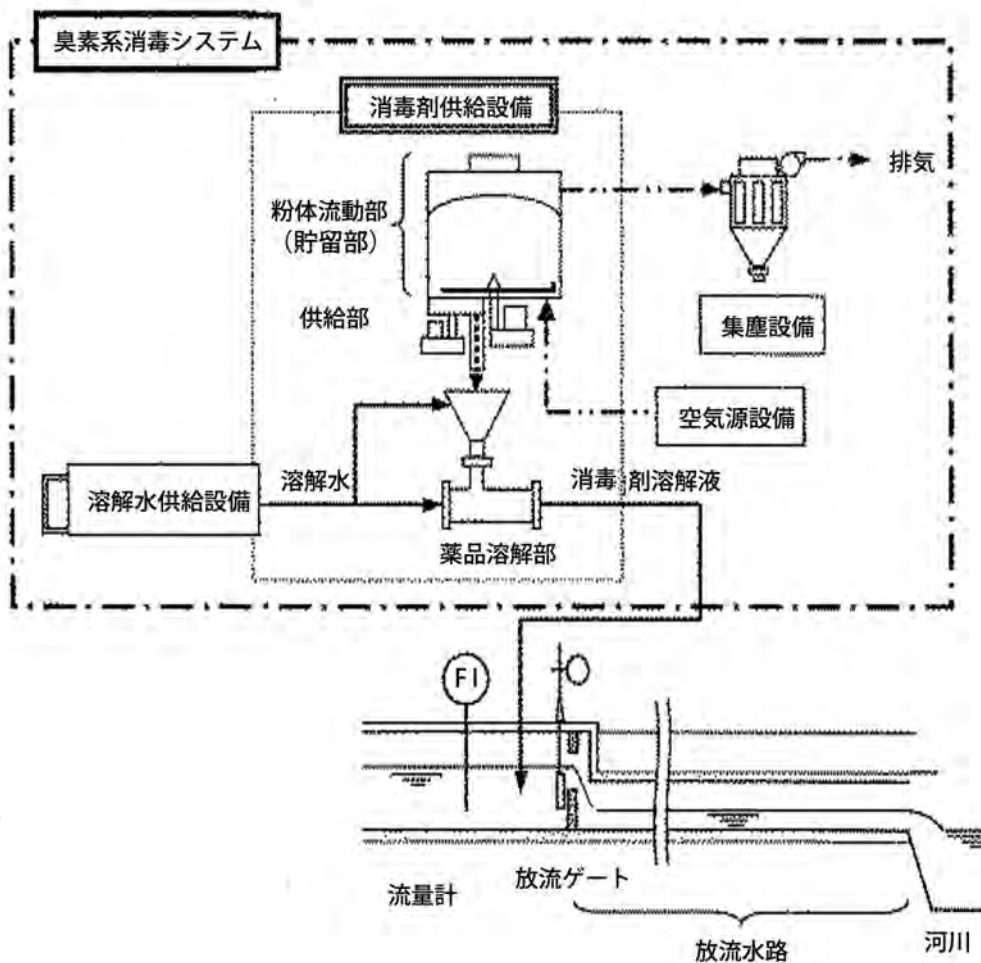


図3-4-1 臭素消毒設備のフロー

第1章

第2章

第3章

第4章

第5章

第6章

第7章

第8章

第9章

第10章

第11章

資料

揮する臭素剤が採用された。臭素剤については、平成11年7月～平成13年3月に下水道局と民間との共同研究（即効性消毒剤を用いた注入システムの開発）として業平橋ポンプ所と芝浦処理場で実用化に向けた実証試験が行われた。その結果、短時間（1～3分間程度）で消毒効果が実証されたため、平成13年に芝浦処理場の単独放流する簡易処理水に、また、平成14年に葛西処理場雨水放流水に臭素消毒が設置された。その後三河島処理場等にも設置され現在に至っている。

水質汚濁防止法の対象外である中継ポンプ所放流水については、国の「合流式下水道改善対策検討委員会報告書」において、

放流先水域の利用状況等を考慮して対処することとされた。下水道局はこれを踏まえ、特に病原性微生物等による公衆衛生上の影響への配慮が必要な水域（重要影響水域）に多摩川流域とお台場周辺水域の2水域を選定し、平成18年に矢口ポンプ所、平成19年に六郷ポンプ所に臭素設備を導入した。また、接触時間が確保できる両国、汐留第二ポンプ所には平成13年に、雑色ポンプ所には平成15年に次亜塩素酸ナトリウムによる消毒設備を設置した。なお、ポンプ所からの放流水についてはポンプによる攪拌効果が利用できるため原則として接触時間が5分間以上とれる場合は次亜塩素酸ナトリウム消毒を、それ以下の場合は臭素消毒を採用することとした。

臭素消毒技術は、粉体である臭素系消毒剤を適正量供給し、溶解水で混合・溶解しながら未処理下水等の放流水路上流等に注入し、放流水路自体を反応槽として使用して、未処理下水等中の病原体の消毒を行うものである。（図3-4-1、図3-4-2）

3.4.3 今後の動向

都は東日本大震災の被害を受け、平成24年8月に「地震・津波に伴う水害対策に関する基本方針」を策定した。下水道局はこの基本方針を踏まえ「下水道施設の地震・津波対策整備計画」を策定した。この中で消毒は揚水、簡易処理、放流とともに震災時においても必ず確保すべき機能を担う施設と位置づけられ、塩素接触槽の耐震化が計画されている。これに留まらず、薬品タンク、薬品供給機や薬品供給配管など設備の耐震化・耐水化の向上を図ることが必要である。

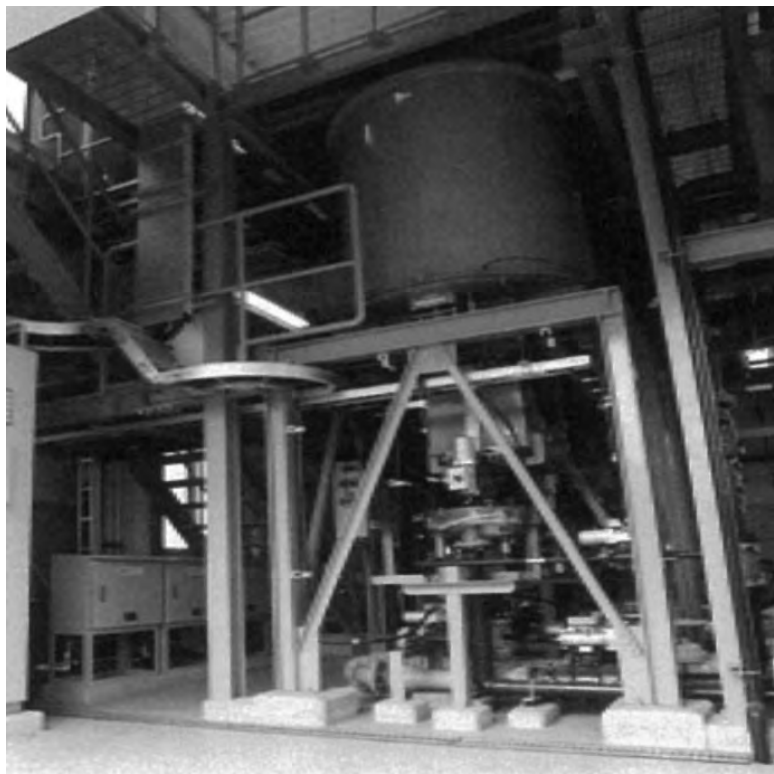


図3-4-2 消毒剤供給機の外観