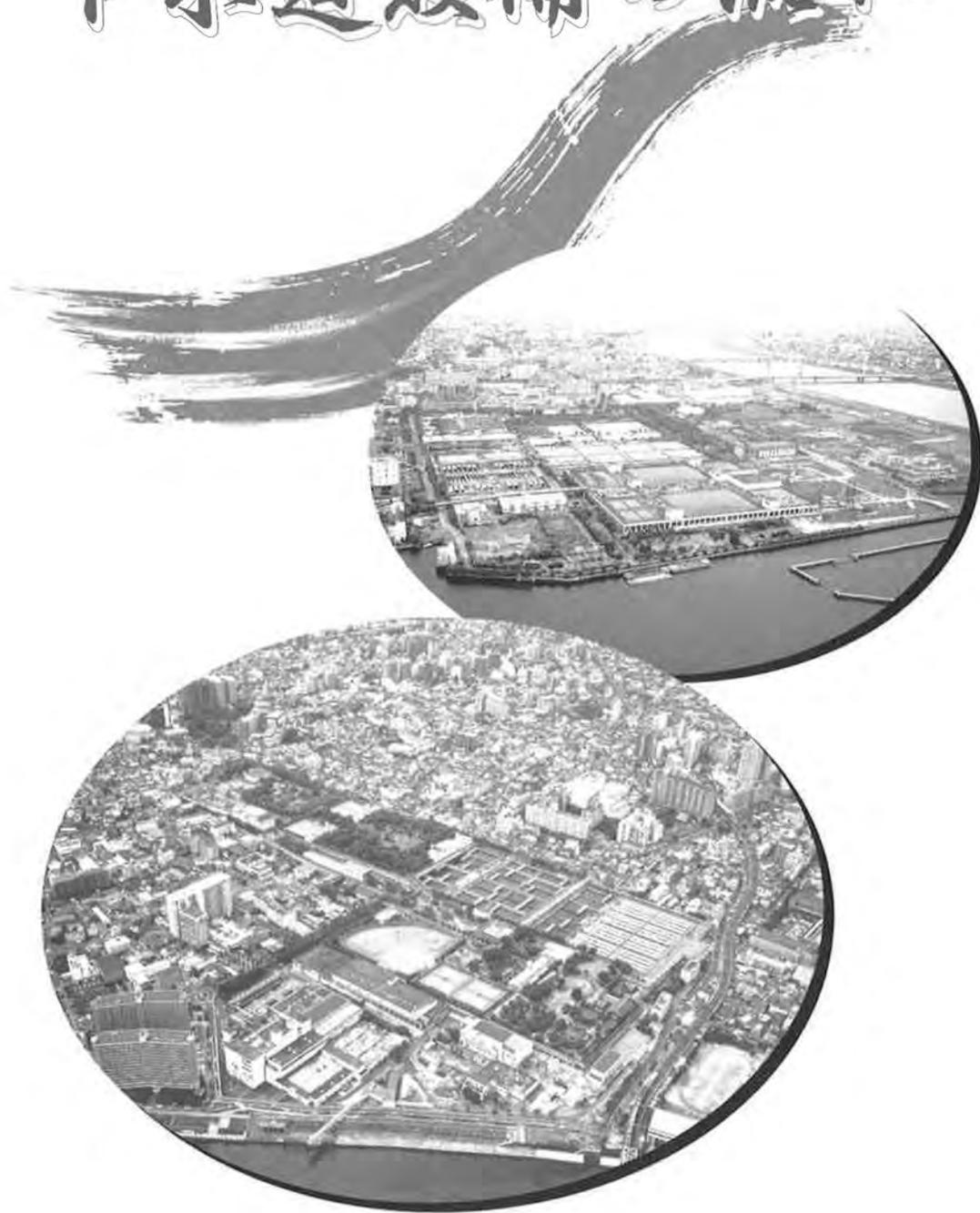


下水道設備の流れ



はじめに

社団法人東京下水道設備協会は、平成16年に設立20周年を迎え、記念すべき年となりました。今日に至りましたのも諸先輩をはじめ、会員の努力と精進及び関係機関のご支援・ご指導の賜物であります。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。今後の下水道事業において、既施設の再構築、合流改善、高度処理などの推進をはじめ、快適な水環境の創出、健全な水環境の形成、地球環境保全などの貢献に新たな事業の展開が求められています。新たな事業展開に向けた下水道設備の役割は大きく、効率的かつ効果的に推進するためには、下水道設備の技術開発が重要な鍵を握っています。

20世紀の下水道設備の変遷を整理することは、温故知新により、将来の下水道設備を追求・発展する上で、ひとつの参考にして頂くことを願い、当協会の20周年記念出版として「下水道設備の流れ」を発刊することにしました。

出版内容は、下水道設備を東京都下水道局における歴史（別表）に焦点をあて、東京都区部の下水道普及率が、昭和30年15.62%（面積普及率）、昭和40年35.3%、昭和50年63.0%、昭和60年83.0%、平成6年度100%概成を踏まえながら、①沈砂池設備、②ポンプ設備、③水処理設備、④高度処理設備、⑤汚泥処理設備、⑥資源化設備、⑦脱臭設備、⑧受変電・自家発電設備、⑨監視制御設備、⑩計装設備について、当協会の機関誌にシリーズものとして掲載していた「下水道設備の変遷」の内容を見直し、充実したものであります。

下水道設備は、大きく分けて、昭和30年以前を下水道設備の黎明期、昭和30年代から昭和40年代を下水道設備の開発・導入時代、昭和50年代から昭和60年代を下水道設備の多様化・自動化時代、平成元年以降を下水道設備の多機能化・高度化時代と区切ることができるだろうと思われまふ。

一方、処理場の名称は、戦前は「汚水処分場」、昭和27年に「下水処理場」、昭和37年に下水道局が発足した年に「処理場」、平成16年には「水再生センター」と生まれ変わってきており、下水道を取巻く環境の変化を垣間見ることができます。

本書をまとめるに当たって、古い資料・写真の提供や貴重なご意見を頂いた下水道局の諸先輩及び現役の職員、並びに会員各社の皆様にこの場をお借りして、お礼申し上げます。

本書が将来の下水道設備を追求・発展させる上で参考になれば幸いです。

社団法人東京下水道設備協会

「別表」東京都下水道局ポンプ所・処理場の創設年度

注) 太字：処理場 S/P：スラッジプラント その他：ポンプ所

年	施設名					
大正 11 年	三河島	和泉町	日本堤			
昭和 4 年	三ノ橋	業平橋	木場			
昭和 5 年	砂町					
昭和 6 年	銭瓶町	芝浦				
昭和 16 年	吾嬬					
昭和 29 年	山谷					
昭和 30 年	町屋	越中島				
昭和 36 年	浜町					
昭和 37 年	汐留	桜橋	小松川	言問		
昭和 38 年	千住	隅田				
昭和 39 年	落合	大島				
昭和 40 年	尾久					
昭和 41 年	浜松町	志茂	品川埠頭	森ヶ崎		
昭和 42 年	東雲					
昭和 43 年	新田	平和島	矢口	志村	千住	王子
昭和 44 年	湯島	佃島	矢口	志村	箱崎	明石町
昭和 45 年	鮫洲					
昭和 46 年	南多摩	有明	東雲	新砂	箱崎	明石町
昭和 47 年	浜川	天王洲				
昭和 48 年	東海	八潮	六郷	北多摩1号		
昭和 49 年	堀切	新木場	青海埠頭	新河岸		
昭和 50 年	本田					
昭和 51 年	京浜島	東小松川	西小松川			
昭和 52 年	梅田	小菅				
昭和 53 年	多摩川上					
昭和 55 年	亀有	加平				
昭和 56 年	清瀬	細田	葛西			
昭和 57 年	小岩	新小岩	新宿			
昭和 58 年	城南島	南部S/P				
昭和 59 年	篠崎	中川	新小岩			
昭和 61 年	行楽					
昭和 62 年	若洲					
平成 元 年	北多摩2号	浜町第二	吾嬬第二			
平成 3 年	新川					
平成 4 年	大森東	浅川	八王子			
平成 5 年	東金町	桜橋第二	熊の木			
平成 7 年	中野	有明				
平成 9 年	白髭西	芝浦	東部S/P			
平成 10 年	汐留第二	蔵前				
平成 12 年	東糀谷					
平成 13 年	浮間					
平成 15 年	雑色					

執筆者 (順不同, 役職名は執筆当時)

- | | |
|-------|--------------------------|
| 井上 一 | 株式会社西島製作所技監 |
| 大野 直 | 日立機電工業株式会社環境装置事業部副部長 |
| 川口 浩平 | 三機工業株式会社事業部顧問 |
| 小島 則一 | 日立プラント建設株式会社技術開発担当部長 |
| 杉井 清 | 前澤工業株式会社東京支店技術部長 |
| 千賀 忠 | 株式会社西原環境テクノロジープラント事業本部顧問 |
| 田中 威夫 | 日立プラント建設株式会社技術開発担当部長 |
| 成田 義治 | 株式会社神鋼環境ソリューション顧問 |
| 内藤 三幸 | 水道機工株式会社営業本部顧問 |
| 松村 桓生 | 栗田工業株式会社環境事業部技術主幹 |
| 藤由 吉展 | 日本ガイシ株式会社環境装置事業部技師長 |
| 内田 眞吾 | 社団法人東京下水道設備協会専務理事 |

目 次

第1章 沈砂池設備

1. 1	沈砂池設備の歩み	1
1. 2	沈砂池設備	2
1. 3	今後の動向	8

第2章 ポンプ設備

2. 1	ポンプ設備の歩み	11
2. 2	主ポンプ設備	12
2. 3	汚泥ポンプ設備	20
2. 4	今後の動向	21

第3章 水処理設備

3. 1	水処理設備の歩み	23
3. 2	沈殿池設備	24
3. 3	ばっ気槽設備	28
3. 4	消毒設備	34
3. 5	今後の動向	35

第4章 高度処理設備

4. 1	高度処理設備の歩み	37
4. 2	処理水再利用設備	39
4. 3	りん除去設備	41
4. 4	窒素除去設備	43
4. 5	窒素・りん同時除去設備	43
4. 6	今後の動向	46

第5章 汚泥処理設備

5. 1	汚泥処理設備の歩み	49
5. 2	汚泥濃縮設備	51
5. 3	汚泥消化設備	54
5. 4	汚泥脱水設備	57
5. 5	汚泥焼却炉設備	61
5. 6	今後の動向	65

第6章 資源化設備

6. 1	資源化設備の歩み	67
6. 2	処理水の資源化設備	69

6. 3	汚泥の資源化設備	71
6. 4	下水エネルギーの利用設備	78
6. 5	その他の利用	82
6. 6	今後の動向	83
第7章 脱臭設備		
7. 1	脱臭設備の歩み	85
7. 2	脱臭設備の基本	87
7. 3	脱臭設備	89
7. 4	今後の動向	99
第8章 受変電・自家発電設備		
8. 1	受変電・自家発電設備の歩み	101
8. 2	受変電設備の基本	102
8. 3	受変電設備	105
8. 4	自家発電設備	116
8. 5	今後の動向	118
第9章 監視制御設備		
9. 1	監視制御設備の歩み	119
9. 2	監視制御方式	121
9. 3	監視制御機器	123
9. 4	計算機制御システム	129
9. 5	今後の動向	131
第10章 計装設備		
10. 1	計装設備の歩み	133
10. 2	量的計装設備	136
10. 3	質的計装設備	143
10. 4	計装制御設備	146
10. 5	今後の動向	147
参考文献		149
索引		150
資料 下水道局のポンプ所及び水再生センターの現在の監視盤写真		155

第1章

沈砂池設備

1. 1 沈砂池設備の歩み

沈砂池設備は、下水中の無機物及び浮遊物を除去して、放流水域の汚染や土砂の堆積を防止し、ポンプや処理施設の摩耗と閉塞を防ぎ、処理作業の円滑化を図るためのものである。

主な設備としては、幹線から流入する汚水や雨水を遮断して沈砂池の清掃、池内機器の保守管理、流量を制御するための流入ゲート（以下「ゲート」いう）、土砂を取り除くための除砂設備、し渣を除去するためのろ格機設備（スクリーン）がある。関連設備には沈砂・し渣洗浄設備、搬送設備や貯留設備、脱臭設備等々がある。昭和30年以前は下水道設備の黎明期である。沈砂池設備は、大正7年に三河島污水処分場の運転開始時にゲート、機械ろ格機が採用されている。当時の機械設備はほとんどが国産であり、各産業分野で利用された設備を応用したもので、下水用に開発されたものではなかった。

昭和6年創設の芝浦污水処分場や旧銭瓶町ポンプ所では、ヨーロッパで多く使用された翼車回転式ろ格機が設置された。昭和30年代～昭和40年代は、下水道設備の開発・導入時代である。昭和40年には単一レーキ式ろ格機をドイツから導入して、昭和39年に落合処理場低段沈砂池が稼働した。

昭和30年代～昭和40年代から沈砂池設備では、除砂機を中心に新しい設備が開発・導入されて、設備の多様化・自動化が花開く時代の幕開けとなった。昭和50年代～昭和60年代では、沈砂・し渣洗浄等を含む沈砂・し渣の処理を中心に機械設備の多様化・自動化が一気に進み、防臭等の環境対策も充実してきている。

平成に入ると、設備の高度化に伴いメンテナンスフリーを目指すとともに、設備が有機的に連携して処理ができるように配慮して、一層省力化が進んだ。

1.2 沈砂池設備

汚水沈砂池は、重力沈殿により下水中に含まれる径0.2mm以上の（雨水沈砂池は0.4mm以上）非腐敗性無機物質及び浮遊物質を除去してポンプ類の保護、水処理設備機器の負荷軽減を図ることと合わせて、雨水沈砂池は、放流水域への汚濁防止を目的としているものである。汚水沈砂池の位置は、揚水ポンプの前段に設置されるのが一般的であるが、平成7年には砂町水処理センターで、ポンプ羽根車の材質が向上したことで幹線管きょが深くなってきたため、土木構造物のコスト削減を図るため、揚水ポンプの後段に設置する後沈砂池を設置している。

1) ゲート設備

ゲート設備には、沈砂池の流入ゲートに代表されるように、管きょの管底が深くなるほど水圧に耐える扉体強度が要求されること、腐食性ガスに対して高耐食性、止水性を高めるため扉体に高剛性と加工性が要求される等により、材質は鋳鉄が多い。また、ゲートの開閉方式には手動式、電動式、油圧式がある。

大正7年、三河島汚水処分場の運転開始時には、電動機つき歯車開閉式が使われた。その後、昭和4年稼働の三ノ橋及び業平ポンプ所、昭和6年の旧銭瓶町ポンプ所等は油圧式で停電に備え、油圧ポンプは交直両用型が採用されている。

しかし、小規模ポンプ所では、昭和9年の南千住ポンプ所で手動式のゲートを、昭和11年の橋場ポンプ所で電動式ゲートが用いられた。ゲートの材質は鋳鉄製である。昭和30年代～昭和40年代に設置されたゲートは図1-1に示すように、油圧式駆動装置が主流となっている。油圧式ゲートは大重量のゲートに対し、動力源の電気負荷が小さいことやゲートのトラブル時に強制的に大きな力を加えることができる利点があるからである。

電動式は、装置が簡単で保守管理が容易なことから小規模ポンプ所等で、ゲートの設置数が少ない場合に採用された。昭和50年代～昭和60年代に入るとゲートの大型化や油圧技術の向上により、油圧は昭和30年代～昭和40年代に比べ2～3倍の油圧になるとともに、油圧装置の小型化による省スペース化が図られている。

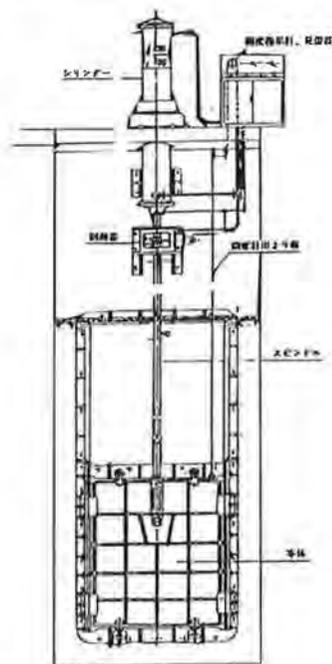


図1-1 油圧式ゲート

ゲートは、平成に入ってから油圧式が主流となっているが、材質はダクタイル鋳鉄が多くなっている。

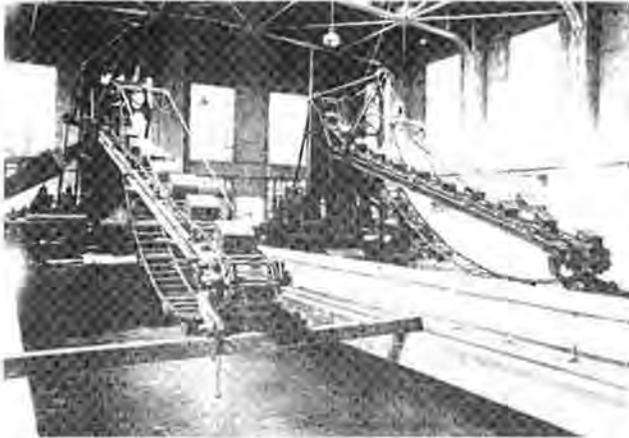


写真1-1 ドレヅジャ

このように、雨水沈砂池の除砂設備は、ジブクレーンが主流となった。昭和35年には除砂作業の連続化を図るため、砂町ポンプ所に沈砂を集めるグリッドコレクターと砂を揚げるバケットエレベーターを組み合わせた方式が採用された。これ以後、運転頻度の高い汚水沈砂池には、この方式が定着してきた。

このように、雨水沈砂池の除砂設備は、ジブクレーンが主流となった。昭和35年には除砂作業の連続化を図るため、砂町ポンプ所に沈砂を集めるグリッドコレクターと砂を揚げるバケットエレベーターを組み合わせた方式が採用された。これ以後、運転頻度の高い汚水沈砂池には、この方式が定着してきた。

雨水沈砂池の除砂は、図1-2に示すように、機械部分が水面上にあるので運転操作と保守点検に優れていたジブクレーンが主流を占めた。雨水沈砂池用のジブクレーン（門形も一部利用）は、運転操作が難しくかつ間欠作業であると同時に、沈砂池を覆蓋できないため臭気発生

源となっており、昭和50年代後半から除砂作業の省力化のため、ジブクレーンの設置は少なくなってきた。

昭和59年稼働の新小岩ポンプ所で起伏腕式バケットエレベーターを、平成元年の浜町第二ポンプ所に、図1-3に示すように、埋設防止型バケットコレクターを設置している。汚水沈砂池では、沈砂池底部に沈砂量が多くなっても過負荷に

2) 除砂設備

当初、三河島污水処分場に設置された除砂設備は、走行型旋回腕バケット式（ドレヅジャ式、写真1-1）であった。昭和9年に開設された南千住ポンプ所には、当時で画期的な砂没防止用として走行起伏腕式バケットエレベーターが採用され、芝浦処分場でも設置

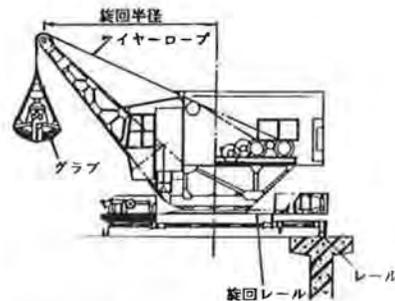


図1-2 ジブクレーン

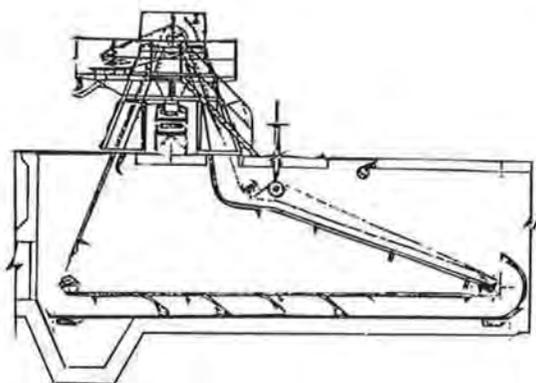


図1-3 埋設防止型バケットコレクター

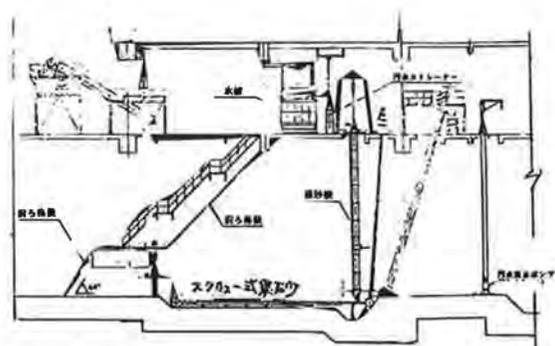


図1-4 スクリュー式集砂機と混気ジェット

し1台で対応する除砂設備が設置された。珍しいものには、昭和59年に新宿ポンプ所に設置された、図1-5に示す、TG式（東京都下水道式）で4本のシリンダーを組み合わせ伸縮自在に動く油圧駆動揚砂機がある。

揚砂装置には、固定式の昇降式バケットコンベヤ、バケットエレベーター、サンドポンプ、ジェットポンプ式等がある。昭和61年には、小菅処理場と湯島

ポンプ所で、ノズル式集砂装置と混気ジェットポンプを組み合わせた機械を採用している。この時代、まさに除砂設備は、多様化・自動化の時代である。

よる機械の停止を避けるよう工夫した埋設防止型やバケット全体が昇降する昇降式バケットコレクター、あるいは、沈砂池底部の沈砂を一定量のみ集砂して過負荷とならないスクリーコンベヤ等が設置された。

昭和59年に葛西処理場で図1-4に示すように、スクリー式集砂装置と混気ジェットポンプを組み合わせた除砂機が汚水沈砂池に導入された。アーム昇降装置を備え、バケットコレクターを稼働しない時は、沈砂池上部に引き上げて点検や給油を容易にしたドレッジ改良型の起伏腕式バケットエレベーター（写真1-2）や自走式サンドポンプの採用、複数池を横行



写真1-2 起伏腕式バケットエレベーター

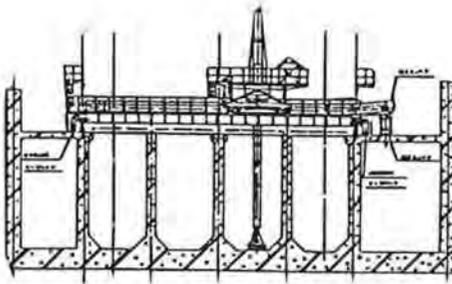


図1-5 油圧駆動揚砂機

が導入されて以来、平成に入ってから本方式が主流となり、汚水用には沈砂を残さないよう集砂し、スクリーンコンベヤとサンドポンプ、またはジェットポンプの組み合わせが多く用いられている。

3) ろ格機設備

①粗目ろ格機

粗目ろ格機は、下水道普及率拡大期の粗大物の流入量増加により、昭和30年代ころから細目ろ格機の上流側に設置されるようになった。目幅150mmで手掻き方式である。

昭和40年に落合処理場の低段沈砂池に単一レーキ式ろ格機が設置された。粗目ろ格機は手掻きが主流であるが、一部で労力低減のためワイヤーロープにレーキを取り付けて、ロープの巻き下げ巻き上げによって掻き揚げる装置やロープ式懸垂型（定置式）、ロープ式台車型（写真1-3）、簡易走行ロープ式懸垂型、間欠式（ワンレーキ）等が用いられている。

粗目ろ格機は下水道100%普及概成や遮集化の進展により、粗大物の流入等が少なくなり、必要性が薄れつつある。

②細目ろ格機

細目ろ格機としては、昭和5年に運転開始した砂町污水処分場のドル式S

水中部での稼働は、摩耗・腐食や故障が多いため、水流で集砂するノズル式と混気ジェットポンプで揚砂する装置が導入された。昭和63年に羽田ポンプ所の臭気対策として、雨水沈砂池の沈砂を除去して雨水沈砂池を空にするため、ノズル式集砂装置と混気ジェットポンプの組み合わせによる除砂設備



写真1-3 ロープ式台車型粗目ろ格機

型電動格子型ワイヤー式が設置された。昭和6年に芝浦污水処分場や旧銭瓶町ポンプ所では、ヨーロッパで多く使用された網状の翼車回転式ろ格機（写真1-4）が設置された。し渣を掻き揚げる方法は、ワイヤーの巻き上げ巻き下げによる前面降下、前面掻き揚げを行うワイヤー式が昭和40年頃までに用いられたが、乱巻き等の故障が多く、昭和40年代初期には、一部の処理場を除いて姿を消した。以後、機械掻き揚げチェーン式が主流となった。

細目ろ格機は、小規模のポンプ所の污水用を除いて、機械掻き揚げ式を採用している。これはエンドレスのコンベヤチェーンにレーキを等間隔に取り付けたものである。細目ろ格機はポンプの口径に応じて、污水沈砂池用は目幅20mm～30mm、雨水沈砂池用は目幅40mm～50mmを採用している。

細目ろ格機は、スクリーン下部における噛み込みトラブルを解消するための裏掻き式ろ格機が考案された。細目ろ格機は、合流式下水道における雨天時の汚濁物質（白色固形物等）の流出を抑制するために、平成8年に羽田ポンプ所で、平成11年に東糞谷ポンプ所で雨水用スクリーンについても25mmの目幅に変更、設置された。現在では、全雨水沈砂池で採用されている。

4) 沈砂洗浄設備

昭和30年代以前は、沈砂・し渣の洗浄設備はなく、これらを沈砂池室に仮置きして水切りを行った後、トロッコ等を使って搬出していた。沈砂は放置すると臭気・ハエ等が発生するので、昭和36年には、小松川ポンプ所にフライト式洗砂機を設置して沈砂の洗浄に着手した。

洗浄後、沈砂を搬送するにはフライトコンベヤ沈砂洗浄機（写真1-5）が用いられた。この方式は、箱型のフライトコンベヤで等間隔に水を注入し水深を保ち、かつ水流のある水平部において鋼製のフライト板で砂を搬送しながら洗砂され、傾斜部で水切りするものである。また、芝浦処理場や銭瓶町ポンプ所



写真1-4 翼車回転式ろ格機

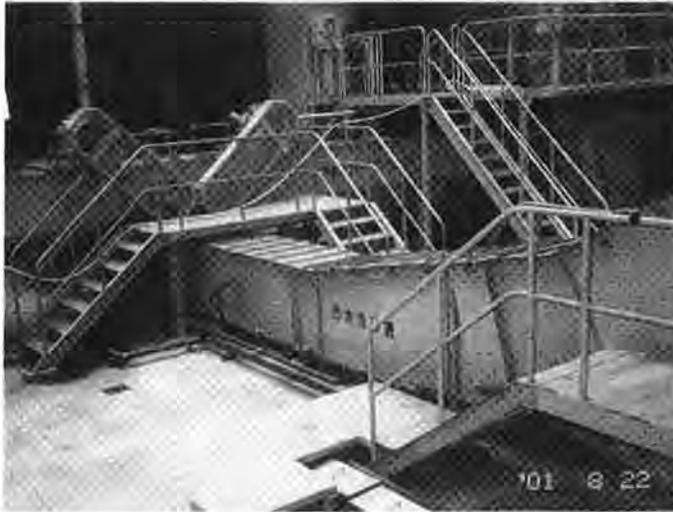


写真1-5 フライトコンベヤ沈砂洗浄機

が可能な沈砂分離槽付きスクリーンコンベヤ洗浄装置が多く採用されている。

5) し渣洗浄設備

昭和30年代以前はし渣の洗浄設備はなく、沈砂と同様仮置きして水切りを行った後、トロッコ等を使って搬出していた。一部に、し渣の洗浄を簡易的にろ格機内、またはバルコン上でシャワーする方式が用いられていた。

昭和30年代～昭和40年代に小台処理場では、し渣を破碎して脱水するための縦軸のスイングハンマー型クラッシャーと、ローラ型し渣脱水機が導入された。

し渣は有機物が腐敗して悪臭の原因になりやすい。このため搬出前に十分に水切りをする設備として、昭和51年に三河処理場に図1-6に示すように、定量供給機、ボールミル洗浄機、除じん機、脱水機（ローラプレス）を組み合わせた洗浄脱水設備が設置された。それ以降、し渣洗浄では、シャワー式の洗浄不足を解消するため機械攪拌が用いられ、回転ドラム式、横軸機械攪拌式（スクリーン型）、洗浄槽スクリーン型等が設置された。

平成7年稼働の有明処理場では、し渣を二軸回転せん断

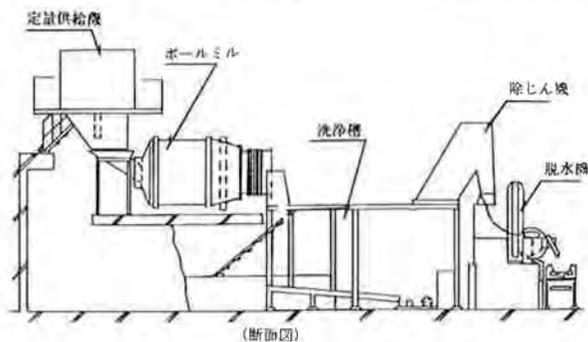


図1-6 し渣洗浄脱水設備

では砂洗い機が設置された。

沈砂洗浄は、昭和40年代のトラフコンベヤ式洗砂装置が、洗砂効果が十分ではないことから、機械攪拌によって強制的に洗砂する方式が採用された。沈砂をポンプで揚砂するシステムが確立するに伴い、槽内で攪拌・洗浄・水切り・掻き揚げ

破碎機で破碎後、スクリーンプレスで脱水して、空気輸送でコンテナに詰めている。

6) 沈砂・し渣搬送設備

沈砂池が深い場合の沈砂・し渣搬出には、電動巻き上げ式スキップホイストが用いられた。スキップホイストは、間欠式であることから大量に発生した場合、沈砂・し渣が床に落ちる等の欠点がある。そのためスキップホイストを変えて傾斜コンベアが採用され、沈砂・し渣を連続的にホッパーへ搬送し、貯留することが可能となった。

この他のし渣搬送設備には、流水トラフ、サーペンテックスコンベヤがあり、沈砂搬送設備にはフライト式沈砂搬送機、スクリーン式沈砂搬送機、急傾斜コンベヤ等が採用された。

7) ホッパー設備

ホッパー排出口の開閉は、流入ゲート用の油圧を利用していたが、開閉部分が鉄製で機密性が劣っていたため、排出口を電動ベルトゲート式にしたものが採用され主流となっている。また、ホッパーの排出口から水が漏れて臭気と衛生上問題があるので、その対策に色々な工夫・改善がなされている。

8) 脱臭設備

昭和50年代に入ると、沈砂池の臭気対策がクローズアップされた。沈砂池の覆蓋やエアカーテンの設置をはじめ、脱臭設備も設置されるようになった。昭和50年に東雲ポンプ所に酸洗浄・アルカリ洗浄、活性炭吸着槽の脱臭設備が実験・実施として導入された。詳細は第7章脱臭設備を参照願います。

1.3 今後の動向

大正時代から沈砂池には、機械設備が用いられており、人力では不可能、または困難な作業が多いため機械化が主目的であった。近年の30年間では作業の安全対策及び沈砂池水没時の対策を含め、沈砂池機械の多様化、高度化、多機能化が飛躍的に進んでいる。

一方、ポンプ所の無人化等の維持管理体制は大きく進歩・発展してきている。今後の動向としては、次のことが想定される。

①ポンプ所の遠制化・自動化の進展に応じて、幹線水位の変動とポンプの自動運転に追従する流入ゲートの自動制御技術の開発が求められている。また、沈砂池が水没しても諸機械が稼働できる技術開発が急がれるであろう。

②各機器のシステムは信頼性・保全性を高め、省エネルギー化が推進される。

③し渣搬出の煩わしさや搬出処分費の軽減を図るため破碎して処理場へ流下させることが、既に実施されている所もあるが、新たなプロセスの検討が要請されるだろう。

④従来のスクリーンは、後段機器の保護と前処理を行う目的で設置してきたが、雨水用の沈砂池設備は合流改善対策として、沈砂・し渣だけではなく、白色固形物の除去、さらには効果的消毒設備等の技術開発が期待される。

第2章

ポンプ設備

2.1 ポンプ設備の歩み

下水道のポンプ設備は、用途別に分けると汚水ポンプ及び雨水ポンプの主ポンプ設備、汚泥ポンプ設備、並びに冷却水ポンプ及び雑用水ポンプ等の用水ポンプ設備がある。ポンプが最初に登場したのは渦巻ポンプで、次に軸流ポンプが続き、少し遅れて斜流ポンプが出現している。

大正11年、わが国最初の三河島污水処分場が完成した。また、同年に雨水排除を目的とした田町唧筒場（当時の浅草唧筒場）及び汚水を三河島污水処分場に送水する和泉町唧筒場も稼働した。これら施設の主ポンプ設備は、いずれも横軸渦巻ポンプが採用され、原動機には電動機が用いられた。昭和30年以前は下水道設備の黎明期で、この時代の主ポンプ設備は、ポンプ井上部の床面にポンプと原動機を直結した、横軸渦巻きポンプ及び横軸軸流ポンプが主流であった。

昭和30年代～昭和40年代は、下水道設備の開発・導入時代であった。主ポンプ設備は、従来の横軸形ポンプから立軸形ポンプに変わった。立軸形ポンプの開発はポンプ所の構造を変えるに至った。立軸形ポンプは、ポンプ羽根車が常に水中に没しているため、横軸形に比べ、始動時の呼び水操作が不要となり起動の信頼性と操作性が著しく向上し、主ポンプとして飛躍的な発展を遂げた。昭和50年代～昭和60年代は、下水道設備の多様化・自動化の時代である。

この時代、首都東京を支える地下インフラは地下鉄、水道等により複雑多岐にわたり、自然流下方式の下水道幹線は地下深く埋設されるようになった。このため、ポンプ所の管底レベルは地下30m以上にも達し、これに対処できる主ポンプ設備の開発が強く求められ、高揚程で大容量の立軸斜流ポンプが完成された。平成に入ると下水道設備の多機能化・高度化が進み、より信頼性が高く維持管理性

の優れたシステムが求められるようになった。雨水ポンプは、ゲリラ的集中豪雨に対し、確実な運転対応ができる先行待機型ポンプが開発された。

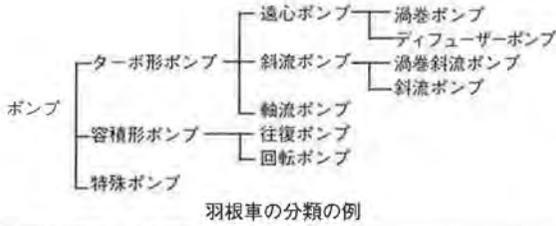
一方、汚泥ポンプ設備は、下水の処理過程で発生する汚泥を送泥するための設備で、用途別に分けると、第一沈殿池生汚泥ポンプ及び汚泥処理施設廻りの汚泥ポンプ、さらに第二沈殿池の活性汚泥をばっ気槽（今は「反応層」といわれているが本稿ではばっ気槽に統一する）へ返送するための返送汚泥ポンプと余剰汚泥を汚泥処理施設へ送る送泥ポンプがある。汚泥ポンプの維持管理には、昔から汚泥や夾雑物の閉塞、羽根車の摩耗に悩まされ続けた。このため汚泥ポンプの課題は、閉塞しないポンプ構造や耐摩耗性に優れた材料をいかに開発するかであった。汚泥ポンプは、昭和30年代に羽根車に閉塞しないことを着目したブレードレスポンプが出現した。続いてノンクロックポンプが、さらに無閉鎖性と高効率を兼ね備えたスクリュー式渦巻ポンプが開発され、多く採用されるようになった。用水ポンプ設備は、あらゆる産業で使用されるため、わが国ポンプ業界の優れた品質で多様な汎用品が生産された。このため使用目的に応じた最適な機種を選定することができたといえる。

昭和40年代には、水中モーターポンプが使われはじめた。水中モーターポンプは、ポンプとモーターが一体構造で取扱いが容易であり、そのまま水中に浸して使用できるが、モーターの寿命等に問題があるともいわれている。

2.2 主ポンプ設備

渦巻ポンプは、遠心形の羽根車と渦巻き室とを有し、中・高揚程用ポンプである。効率が良く、全流量域の運転が可能であり、広く一般に使用されている。ポンプの吸込形式には片吸込と両吸込とがある。軸流ポンプは、プロペラ形の軸流羽根と案内翼を有する低揚程用であり、渦巻ポンプや斜流ポンプと比べると効率がやや低く、運転範囲が限定されるため、実揚程があまり変化しない場合に使用されるが、可動翼軸流ポンプも開発されている。斜流ポンプは、斜流翼の羽根車と案内翼を有して、中揚程用である。ポンプ効率が比較的良く、締切点を含むほぼ全流量域の運転が可能なので非常に使いやすく、下水道で多く使用されている。ポンプの分類は一般に図2-1のとおりである。

汚水ポンプは、流入幹線からの流入汚水を処理施設に送るものである。ポンプの最初の形式は、プランジャーポンプであり、容積形ポンプでピストンの往復運動により一定量の水を押し出す形式である。しかし、大正初期にターボ形ポンプ



羽根車の分類の例

1. 比速度による分類		
渦巻（遠心）	斜流	軸流
2. 羽根車の形状による分類		
クローズ	オープン	ノンクロック
① 高揚程の渦巻ポンプに適する。 ② 軸推力を平衡させやすい。	① 低揚程の斜流ポンプに多量する。 ② 汚水、下水等のさすの異物を含む場合に適する。	繊維、さしう類物等を含む場合に適する。

図2-1 ポンプの分類

が出現し、わが国のポンプ技術は大きく進展した。ターボ形ポンプは、羽根車をケーシング内で回転させ液体にエネルギーを与えるもので、遠心ポンプ（渦巻ポンプ）が登場し、次に軸流ポンプ、だいぶ遅れて斜流ポンプが登場している。

1) 汚水ポンプ

大正11年に三河島汚水処分場で稼働した汚水ポンプは、電動機直結横軸両吸込式渦巻ポンプで、口径760mm、吐出量67m³/分、揚程10.2m、230馬力（写真2-1）であった。さらに同年稼働した和泉町ポンプ所の汚水ポンプも同じく横軸片吸込式渦

巻ポンプである。昭和30年以前に開設したポンプ所・処理場は18カ所で、これらの施設に設置された汚水ポンプは66台であり、ポンプ形式は三ノ橋ポンプ所の斜流ポンプ1台を除き、全て横軸渦巻ポンプであった。

昭和30年代に入ると汚水ポンプは、これまでの横軸渦巻ポンプから立軸渦巻ポンプに変わり、昭和37年に、はじめて小台処理場で電動機直結立軸片吸込式渦巻

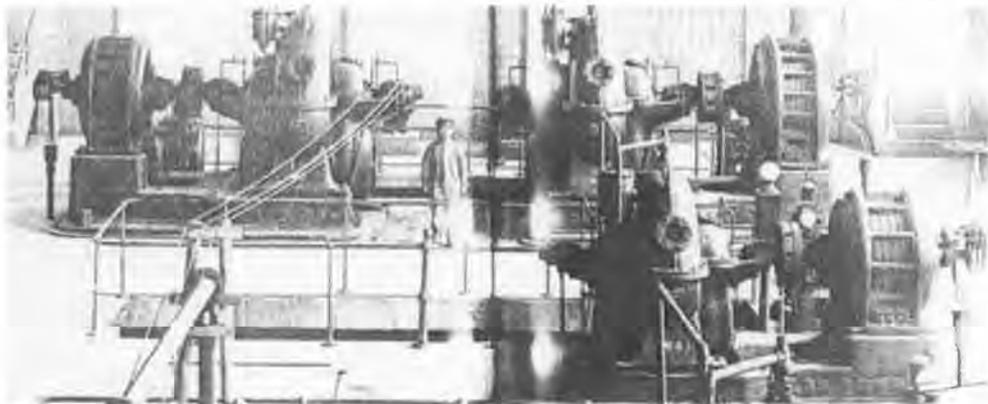


写真2-1 三河島汚水処分場主ポンプ室（大正11年）

ポンプが採用された。その後、小松川、隅田、千住、浮間、東雲の各ポンプ所及び落合処理場に設置された。

しかし、渦巻ポンプは、クローズド形の羽根車構造であるため、下水中の夾雑物が閉塞する懸念があった。さらに下水道幹線の深層化に伴い、ポンプ揚程が高くなるにつれ羽根車の流路が狭まり、より閉塞しやすい構造であった。これを解決するポンプとしては、渦巻斜流ポンプが出現し、昭和43年に平和島ポンプ所に、はじめて電動機直結立軸渦巻斜流ポンプが設置されている。渦巻斜流ポンプは、渦巻ポンプと斜流ポンプの中間的特性を有するポンプである。羽根車は斜流ポンプと同じオープン形の構造であるため夾雑物の閉塞は解決された。以降、湯島、東雲東、新砂、八潮、六郷の各ポンプ所等に設置されている。計画汚水量が大きく、しかも申揚程の污水ポンプには、雨水ポンプと同形式の槽内形の立軸斜流ポンプが適用され、昭和39年に落合処理場及び大島ポンプ所に採用されて、以後、各ポンプ所及び処理場に設置された。昭和50年代には、荒川以東の下水道整備が本格化し、污水ポンプ設備は、高揚程の渦巻斜流ポンプが主流となった。

しかし、葛西処理場の建設時や砂町処理区の東陽大島幹線等既設幹線から雨天時汚水を遮集する遮集幹線の計画が進むにつれ、污水ポンプは、ますます高揚程で大容量のものが求められるようになった。一般的に渦巻斜流ポンプは、斜流ポンプに比べ、高揚程は得られるが大容量には限界がある。反面、斜流ポンプは大容量には適するが、あまり高い揚程は得られなかった。

そこで、高揚程の斜流ポンプの開発が進められ、昭和54年に葛西処理場に口径1,500mm、揚程29mの電動機直結立軸斜流ポンプが登場した。さらに昭和61年には、砂町水処理センターの砂系ポンプ室に揚程34m、平成2年に東陽・大島系ポンプ室に揚程40mの立軸斜流ポンプが設置された。

2) 雨水ポンプ

雨水ポンプは合流式下水道の雨水を公共水域に放流するポンプである。雨水ポンプ所としては、田町（浅草）ポンプ所が大正11年に稼働した。この雨水ポンプは、写真2-2に示す電動機付歯車掛横軸両吸込式渦巻ポンプで、みのくち式ポンプと呼ばれ、口径1,140mmで鑄鉄管二つ割のボルト締めで吐出量170 m³/分、揚程1.8m、で当時記録的な大口径ポンプであった。一台の重量は20tもあり、現場で仕上げ加工を行い、製作期間が2年を要したといわれている。

続いて、昭和4年に稼働した業平橋ポンプ所及び三ノ橋ポンプ所の雨水ポンプは、口径1,140mmで、揚程は業平橋が3.2m、三ノ橋が3.5mであった。ターボ形ポ

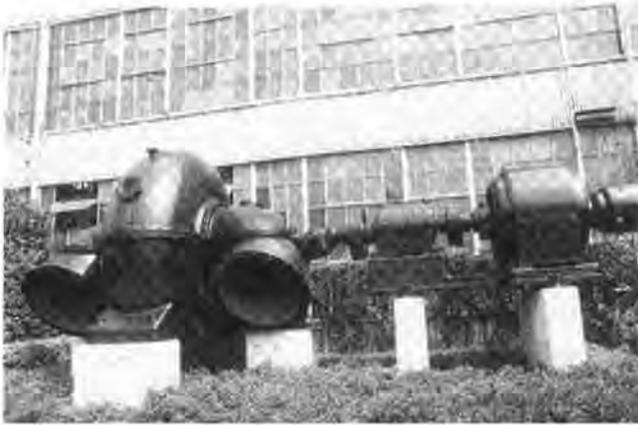


写真2-2 めのくち式1140mm横軸渦巻ポンプ
(株荏原製作所提供)

効率が変わる等の欠点があった。これを解消するために開発された可動羽根式軸流ポンプが登場した。軸流ポンプの効率は、一般的に渦巻ポンプより劣るが、低揚程で大容量の吐出しに適するため、以降、南千住、橋場、汐入(写真2-3)、地蔵堀、山谷の各ポンプ所に設置された。

昭和22年に木場ポンプ所に設置した横軸可動羽根式2段軸流ポンプの効率は、72%と高く、当時としては画期的なものであった。しかし、軸流ポンプは、昭和36年の浜町ポンプ所を最後に斜流ポンプへと変わっていった。昭和30年代の雨水ポンプは、前述の理由により軸流ポンプから斜流ポン

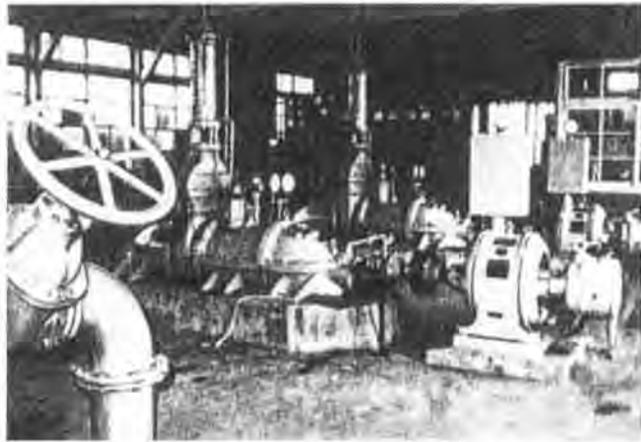


写真2-3 固定羽根式軸流ポンプ(汐入ポンプ所)

プに変わった。昭和12年設置した木場ポンプ所の横軸軸流ポンプは、昭和28年に横軸斜流ポンプに更新された。

その後、雨水ポンプは、横軸斜流ポンプを越中島ポンプ所に設置しただけで、槽内形の立軸斜流ポンプに変わり、昭和32年に吾嬭ポンプ所に電動機直結立軸斜流ポンプで口径1,600mmが登場した。

立軸斜流ポンプは、渦巻ポンプと軸流ポンプの中間的特性を持ち、大容量で中

揚程の仕様に適し、さらに下水を揚水する際のポンプ羽根車にかかる大きな反力を電動機頂部のスラスト軸受けで支持することができるので、ポンプ所はコンパクトになった。

このため東京都の雨水ポンプは、その後立軸斜流ポンプになり、ポンプ所は、写真2-4のように、ポンプ室と電動機室を上下に設けた2床式の構造で、ポンプ室及び電動機室の広さ、床強度、床高さ等を定めたポンプ標準据付図（図2-2）も整備された。

また、昭和30年代～昭和40年代の主ポンプは、オープン羽根構造で、羽根車の材質は鋳鋼製、軸はSUS製のスリーブ付、ケ

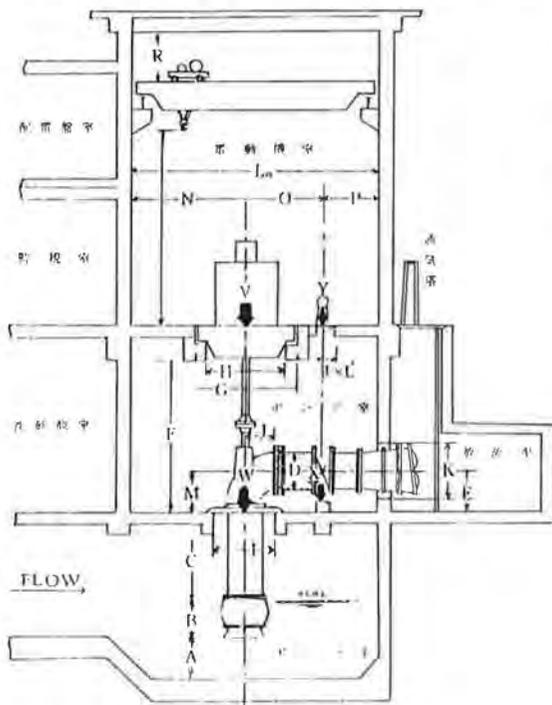


図2-2 電動機直結立軸斜流ポンプ標準据付図



写真2-4 立軸斜流ポンプの例

ーシングは普通鋳鉄であった。しかし、羽根車は昭和50年代から耐食性、耐摩耗性に優れたステンレス鋳鋼を用いるようになった。

昭和50年代～昭和60年代の雨水ポンプは、全て立軸斜流ポンプで、計画雨水量の増大に伴い、ますます大型化した。既設雨水ポンプの最大のものは、昭和59年に梅田ポンプ所のディーゼル

エンジン駆動の立軸斜流ポンプで口径2,500mm、吐出量900m³/分、揚程12m、出力3,600馬力である。一般にポンプは振動等の問題から、ポンプ井に雨水が流入し羽根車が水中に没しなければ起動することができない。そこで、羽根車が空気中にあっても運転可能なポンプとして、先行待機型ポンプが開発された。

平成元年に砂町水処理センターの雨水ポンプに先行待機型ポンプが導入されて、揚水機能の信頼性を著しく向上した。さらに阪神・淡路大震災の教訓を生かし、冷却水が断水しても運転可能なポンプシステムをポンプメーカーと東京都が共同開発し、無注水先行待機型ポンプの実用化に成功し、平成12年7月に知事が公表した。

平成12年度の無注水化の改良工事で、砂町水処理センター及び千住ポンプ所、新川ポンプ所では無注水型雨水ポンプに改良された。

3) 原動機

昭和30年代以前の主ポンプを駆動する原動機には、電動機あるいはディーゼルエンジンが用いられた。ディーゼルエンジンは、停電時に主ポンプを直接駆動する方法である。停電時には沈砂池の流入ゲートを緊急に締め切り、小容量のポンプをディーゼルエンジンで直接駆動し、場内の浸水や湧水を排水することによって、ポンプ所の自己防衛を行い、復電を待って電動の主ポンプを稼働することが行われた。

しかし、このような方法では、停電が長時間にわたる場合には、当然地先が氾濫するので主ポンプの内1～2台をディーゼルエンジン掛けポンプに変えた。ディーゼルエンジン掛け主ポンプ設備は、停電でなくとも大雨の時には、当然運転する。しかし、ディーゼルエンジンの運転は煩雑な操作を要するので維持管理の簡素化を図るため、1台の主ポンプに電動機とディーゼルエンジンを併用して、常時は電動機で駆動する方式が開発され、昭和32年に箱崎ポンプ所に、ディーゼルエンジン及び電動機掛け立軸斜流ポンプを採用した。

この方式は、汐留、桜橋(写真2-5)の各ポンプ所及



写真2-5 ディーゼルエンジン及び電動機掛け立軸斜流ポンプ(桜橋ポンプ所)

び落合処理場にも設置されたが、ポンプ所の敷地面積が大きくなり建設費の増大をもたらした。その結果、停電時には自家発電を行い電動ポンプに配電する方法が有利であると考えられるようになった。

その後、汚水ポンプは、買電と自家発電を併用し、雨水ポンプは、運転頻度の高い中・小口径のポンプに対して、買電と自家発電の混合動力とし、運転頻度の少ない中・大口径のポンプに対しては、ディーゼルエンジン掛けとする指針が整備された。

4) その他

①仕切弁

昭和30年代以前の仕切弁は、手動操作であった。ポンプの停止には仕切弁を閉め、水の逆流を防いだ後に停止するため多くの人手を要した。

②バタフライ弁

これまで吐出弁は、電動スルース弁を用いてきたが、起動から全開運転まで時間がかかることから、流量特性にも優れているバタフライ弁（メタルタッチ）を昭和50年代から順次採用し、揚水時間の短縮を図っている。

③ポンプ軸受け

昭和30年代～昭和40年代の立軸斜流ポンプの軸受けは、水中部にゴム軸受け、グラント部はスタフィグボックス内に合繊、または綿パッキンを用いてシールを行った。

また、軸受けには、冷却と異物の浸入を防ぐため外部より清水を圧送した。メカニカルシールの開発で昭和38年には、銭瓶町ポンプ所の汚水ポンプにシーリング水回収方式が採用され、水資源の節約に対応している。

④流量制御

昭和30年代～昭和40年代のポンプの流量制御は、吐出弁での制御や、口径を変えたポンプでの台数制御で小流量に対応していたが、昭和45年に浜川ポンプ所で液体抵抗器による回転数制御方式による流量制御が採用された。昭和51年には、小管処理場でサイリスタセルピウスによる速度制御方式を採用し、流入水量の変化に対して安定運転の確保や消費電力の低減を目指した。小容量のポンプには、一次周波数制御（VVVF）が採用されている。汚水ポンプの速度制御は、制御システムが安くなったことに伴い、かつ省エネルギーにも大きく貢献できるため、各処理場に1～2台は汚水ポンプの速度制御が設置されるようになってきた。

⑤渦流防止技術

昭和50年代にポンプ井の渦流による振動発生が問題となった。これは深層ポンプ所の建設費等の関係から、大形ポンプに見合ったポンプ井深さが確保できずに生じたものと考えられた。しかし、この解決には、ポンプメーカーの並々ならぬ努力により、吸い込み水槽の模型試験により、事前に吸い込み水槽形状の適否を確認する方法等で渦流防止技術が考案され、土木構造物の築造にも反映することができた。

⑥水撃対策

ポンプの異常現象の一つとして水撃（ウォーターハンマー）現象がある。これは一般的に比較的管路が長く、揚程が高い送水管路系で発生することが多く、主ポンプではあまり発生しないが、主ポンプが高揚程化傾向にあるので留意しなければならない。通常は、ポンプの急停止時における圧力低下とこれに伴う圧力上昇によるものが考えられる。その対策として、当初はポンプにフライホイールを設けて回転体の慣性効果を大きくしたり、送水管路の途中にサージタンクや空気弁の設置や吐出弁の閉鎖時間の調整等が実施されている。最近ではエアチャンバー方式も採用されてきている。

⑦ポンプ総合診断システム

これまで立軸斜流ポンプの保守点検は、電動機を取り外し、ポンプを水中から引き上げ実施してきたが、ポンプ運転中に機械の不具合状態を監視チェックできるポンプ総合診断システムの開発に取り組み、昭和60年代に技術確立を図り実用化された。ポンプ本体を引き上げることなく診断が可能なので、ポンプの保守点検コスト縮減に貢献している。

⑧無注水軸受け

平成元年以降に入り、無注水軸受けには、回転油槽方式、冷却液ポンプ内循環方式、特殊なセラミックスや特殊な材料を用いた軸受け等の方式が開発された。これにより冷却水の補機関係が不要となり、揚水機能の信頼性の向上が図られた。

⑨真空破壊弁

真空破壊弁は、真空破壊弁内のボールがポンプ内の空気を引き抜くために上下に作動する構造になっているが、このボールが座に食い込んだため、ポンプ内圧力が上昇して、ポンプケーシングを破壊したこともあって、座の構造の改良を行った。

⑩後沈砂池方式の主ポンプ設備

流入幹線の深層化に伴う深いポンプ所の建設は、構造物が巨大化するだけでな

く、維持管理が極めて困難となるため、砂町水処理センターの東陽・大島系ポンプ室は、昭和52年の基本設計の段階から沈砂池施設をポンプ揚水の後に設置する後沈砂池方式が検討された。そして、平成7年に後沈砂池方式に関して、ポンプ羽根車の耐摩耗等の技術対応を措置した主ポンプが稼働した。今日までは羽根車の摩耗や水処理への影響は出ていない。

2.3 汚泥ポンプ設備

昭和30年以前に稼働した処理場は三河島、芝浦、砂町の各污水処分場で、これらの施設の汚泥ポンプ設備は当時第1汚泥ポンプ及び第2汚泥ポンプと呼ばれ、第1汚泥ポンプは、第一沈殿地の汚泥を、第2汚泥ポンプは第二沈殿地の汚泥を吸揚するものであった。汚泥ポンプは、全て電動機直結横軸片吸込式渦巻ポンプで、三河島污水処分場の第1汚泥ポンプ及び第2汚泥ポンプはともに口径300mmであった。

当時の汚泥ポンプには、汚泥のための特別な仕様は見受けられないが、三河島、芝浦、砂町の3処理場のポンプ軸動力に対する余裕率（効率を含む）を試算してみると第1汚泥ポンプが34～52%、第2汚泥ポンプが60～70%であり、この違いは汚泥濃度の違いである。昭和22年に稼働した砂町処理場のし尿消化槽施設の汚泥ポンプには、横軸片吸込式特殊渦巻ポンプが使用された。

昭和30年代～昭和40年代に第一沈殿池生汚泥ポンプは、これまでの渦巻ポンプから汚泥の閉塞を防止する羽根車構造を持ったブレードレスポンプ、ベインレスポンプ、ワーマンポンプが登場した。特にワーマンポンプの登場は羽根車に異物の詰まりもなく、維持管理の軽減に大きく貢献した。

しかし、生汚泥は濃度も高く、砂や夾雑物も多く含まれるため、ポンプ羽根車等の摩耗対策が課題であった。昭和43年に三河島処理場第一沈殿池に採用した、耐摩耗性の高クロム鋳鋼を用いた汚泥ポンプは大変な成果を上げた。

その後、図2-3に示すように、より閉塞しにくい維持管理性の優れたノンクロックポンプが登場し、耐摩耗性の無閉塞汚泥ポンプが完成した。昭和50年代に汚泥ポンプは、高クロム鋳鋼または高クロム鋳鉄を用いた耐摩耗性のスクリュウ付無閉塞型ポンプが出現して高効率化、流量制御の容易化、揚程の変化に対して流量の安定化等をもたらした。また、第二沈殿池の返送汚泥ポンプには、渦巻斜流ポンプが採用された。

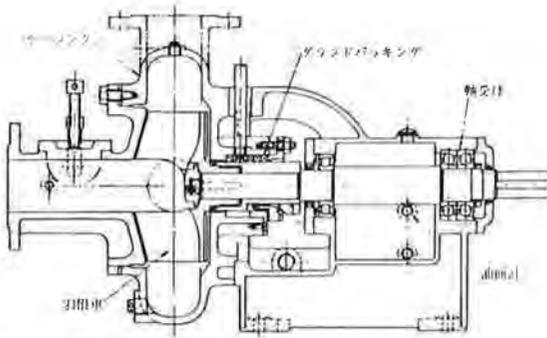


図2-3 無閉塞形汚泥ポンプの例

2.4 今後の動向

今日では、ポンプは各分野で使用されているが、わが国産業界でポンプが使用されはじめたのは、大正初期といわれている。下水道にポンプが導入されたのが、大正11年の三河島汚水処分場であることを考えれば、下水道のポンプ

技術は、産業界のポンプ技術とともに歩み発展したといえる。無注水先行待機型ポンプ設備の実用化は、下水道に携わった先輩達の夢の実現といえる。

近年の小型、軽量、大容量ポンプの開発はポンプの更新にコスト、機能面で期待が持てるものが多い。

今後も、さらなる信頼性の向上、省力化・省エネルギー化等を目指しながら、幹線網水位とポンプ運転のリアルタイムコントロールシステム等のソフト開発や特殊材料を用いた主ポンプの軽量化やポンプ内の高流速化によるポンプのコンパクト化等、数多くの技術開発が期待されている。

第3章

水処理設備

3.1 水処理設備の歩み

大正11年に日本で初めて三河島汚水処分場において、標準散水ろ床法による汚水処理を開始した。日本における水処理の原点であるといえる。水処理の基本といえる活性汚泥法は、大正2年にイギリスで開発され、昭和5年に、名古屋市で採用されている。

活性汚泥法は、大量の下水を微生物の働きによって連続的に処理するものである。水処理は、処理場に流入する下水をポンプ所で砂や夾雑物を除去した後、揚水し、水処理施設で処理した処理水を消毒して公共用水域に放流するものである。

水処理設備は、良好な処理水を作るための補完的設備で大きく分けて、①沈殿池設備として汚泥かき寄せ機、汚泥ポンプ、スカム除去装置等、②ばっ気槽設備として散気装置、送風設備等、③消毒設備に分類することができる。

昭和30年以前は、下水道設備の黎明期である。三河島汚水処分場に標準散水ろ床法による、わが国最初の生物処理の下水処理施設が運転開始した。その後、活性汚泥法の調査・検討が行われた。昭和5年には砂町汚水処分場が運転開始、続いて昭和6年には芝浦汚水処分場が運転を開始したが、両処理場の運転開始当初は沈殿処理であった。昭和9年に三河島処理場でパドル式ばっ気槽を、昭和12年に芝浦処理場でシプレックス式ばっ気槽が設置されて活性汚泥法の処理が開始され、水処理設備の骨格ができた。昭和30年代～昭和40年代は下水道設備の開発・導入時代であった。

この時代に散気式活性汚泥処理法が水処理の主流となった。これに対応する設備としては、チェーンフライト式汚泥かき寄せ機が画期的なものであろう。また、送風機は、多段ターボブロワの性能安定化と大容量化を実現している。

昭和50年代～昭和60年代は下水道設備の多様化・自動化の時代である。この時代に建設された処理場は、深槽ばっ気槽及び2階層式沈殿池の組み合わせで建設されて、省エネルギーや省スペース化が図られている。設備では、フライト式汚泥かき寄せ機チェーンにステンレスの採用、高効率型の送風機の開発、消毒用薬品の変更等注目するものが多い。平成の時代に入ると、有明処理場で高度処理の実用化もあって、新たな水処理設備が登場すると同時に、一段と自動化、遠隔制御に対応できる設備の開発とコスト縮減が図られている。

3.2 沈殿池設備

大正11年に三河島污水処分場で運転開始した創設期からの機械設備は、外国技術を取り入れた国産品でまかなわれている。三河島処分場の散水ろ床法（写真3-1）は、碎石等ろ材の表面に付着した生物膜によって、下水中の有機物を除去する固定生物膜法である。活性汚泥法と異なり返送汚泥は必要ない。



写真3-1 散水ろ床法

施設は、第一沈殿池と下水処理を確実にするための第二沈殿池を設置している。第一沈殿池は単沈殿池と呼び、長方形（幅

70尺、長280尺）で6池あった。汚泥かき寄せ機はなく、汚泥は月1回程度人力で排除していた。第二沈殿池は、最後沈殿井と呼び、円形槽（直径25尺）2池で、散水ろ床で処理した水を沈殿処理した。第二沈殿池の汚泥かき寄せ機は星型中心駆動式のアーム6本のクラリファイヤーが設置された。

昭和3年に、芝浦污水処分場は芝浦ポンプ場として沈砂池2池、污水ポンプ3台、沈殿池2池の施設で運転開始している。昭和8年に沈殿放流方式を高級処理としたため、芝浦ポンプ場を芝浦污水処分場と改称した。この沈殿池は、正方形（一辺45.7m）であり、汚泥かき寄せ機は、周辺牽引型ドル式クラリファイヤー（アメリカ・ドル社の機械を参考）を採用した。本体トラスは、沈殿池の周壁上の軌条と中央の支柱で支えられて、コーナーで伸縮しながら回転するものである。沈殿した汚泥は、下部のスクレーパで中央に集め、汚泥ポンプで排出した。

この沈殿池は、昭和12年にシンプレックス式ばっ気槽が設置されて第一沈殿池

として転用されている。汚泥かき寄せ機には、中心駆動型クラリファイヤーが採用されている。クラリファイヤーは、堅牢かつ維持管理が容易である。汚泥かき寄せ機を導入したことで、不快で重労働の汚泥排出作業をなくしたことは、当時喜ばれたものであった。

昭和5年に稼働した砂町污水処分場は、沈砂池、ポンプ室、貯水池、消毒槽等からなる沈殿処理の簡易処理であった。後述するように三河島及び芝浦処理場に機械式エアレーションによる活性汚泥法が採用されるようになって、第二沈殿池が設置された。第二沈殿池は、用地効率の良い長方形沈殿池となった。

1) 汚泥かき寄せ機

第二沈殿池の汚泥かき寄せ機は、昭和11年に三河島処理場で、昭和13年には芝浦処理場で、それぞれ走行サイホン式採泥機が採用された。この採泥機は、長方形の沈殿池（幅18m、長さ33m）上を走行するトラス構造の溝桁に、4本のサイホン汲揚管を沈殿池下部にあるうね溝の汚泥ゾーンまで垂らし、水位差による真空サイホン作用で連続的に汚泥を排泥する方式である。東京市が独自に考案されたので図3-1に示すように、東京型走行サイホン式採泥機とも呼ばれている。

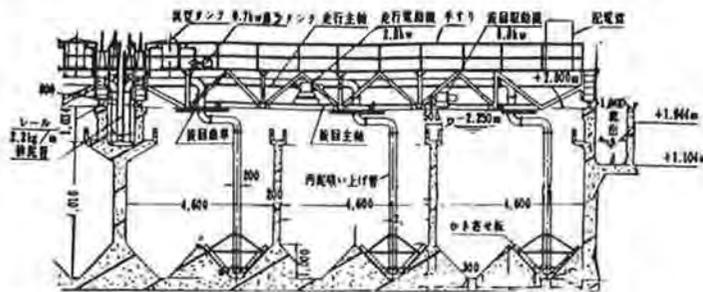


図3-1 走行サイホン式採泥機

この採泥機の欠点であった蛇行には、両輪駆動方式の採用、サイホン断にはサイホン管の回転部の水中化やサイホン断の検出装置を設置、特

に、給電装置は三相裸銅線のトロリー線を利用して給電していたので接触不良や感電が発生したため、キャブタイヤケーブルやドラム式ケーブルワイヤー方式へ変更する等の工夫・改善が行われて、現在でも芝浦処理場で稼働している。古典的な汚泥かき寄せ機であるの

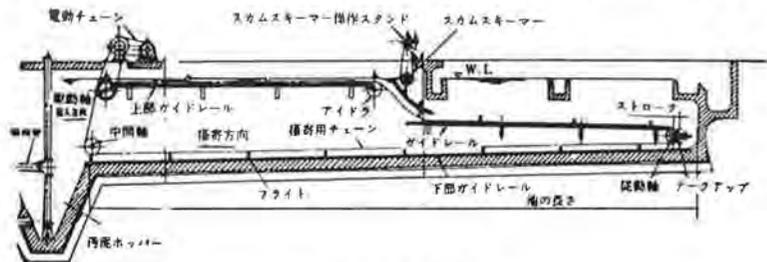


図3-2 チェーンフライト式汚泥かき寄せ機

で、後世に残したい。

昭和32年に三河処理場のクラリファイヤー式第一沈殿池を改造した機会に、汚泥かき寄せ機は、はじめて図3-2に示すようにダブルチェーンによるチェーンフライト式汚泥かき寄せ機が採用された。チェーンフライト式汚泥かき寄せ機は、米国のリンクベルト社で使用されていたので、リンクベルト式汚泥かき寄せ機として親しまれている。これは構造が簡単で汚泥の舞い上がりが少なく維持管理が容易であると同時に、地上部に機械が少ないので沈殿池の覆蓋にも有効であった。第一沈殿池と第二沈殿池では設計諸元が表3-1に示すように異なるため、かき寄せ速度は、第一沈殿池で0.6

m/分、第二沈殿池で0.3m/分が標準である。これまでは従来の円形、正方形の沈殿池では構造がシンプルで故障が少なく、維持管理費が安い等の理由でクラリファイヤー式汚泥かき寄せ機が長い間、使われてきた。

表3-1 沈殿池設計諸元

	第一沈殿池	第二沈殿池
沈殿時間(時間)	1.5	2.5
水面積負荷(m ² /m ² ・日)	25-50	20-30
流出負荷(m ² /m ² ・日)	250	150
汚泥含水率(%)	98	99

の理由でクラリファイヤー式汚泥かき寄せ機が長い間、使われてきた。

昭和37年に小台処理場の第一沈殿池(幅20m、長50m)と第二沈殿池(幅20m、長50m)に本格的にチェーンフライト式汚泥かき寄せ機が導入された。小台処理場は敷地面積が狭く、落合処理場から汚泥を受けるといった厳しい条件の中で、よりコンパクトな処理施設をというコンセプトで設計された。このため沈殿池は、池内の水流を安定させるため、止水板・整流壁・導流壁を設けている。

汚泥かき寄せ機のチェーンは、水中における耐食性・耐摩耗性を考慮して、可鍛鉄製のパイントルチェーンを採用した。チェーンの寿命は、長年の使用によりバレル部等に局部的な摩耗が進み、破断してしまうことが多く、材質・熱処理等でいろいろな改良を重ねた。汚泥を移動させるフライトは、当初、日本松を使用し、腐食防止のためクレオソートを圧力注入していたが、安価である米松が一般的となり、その後、塩ビ樹脂製のものも使われ出した。

昭和39年に落合処理場では第一沈殿池が覆蓋され、第二沈殿池は2階層沈殿池(2層式沈殿池ともいわれている)が建設された。いずれも日本では、初めてであった。住宅地に立地する落合処理場は、敷地面積が狭く、住民の周辺環境に対する強い要請もあって、用地の利用効率を高めることと、環境対策が目的であった。当時、脚光を浴びて、その後、2階層沈殿池は急速に普及した。

2階層沈殿池は、W.Hazenによると、沈殿池から流出する粒子の量は、沈殿池

の単位水面積を単位時間に通過する水の量によって決まり、水深には無関係である、という沈殿理論が決め手となっている。汚泥かき寄せ機は、チェーンフライト式が採用された。

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 부품の長寿命化に腐心をしている。例えば、チェーン材質は、FC20、FCMB32、FCMP40と変化し、730ATWピントルチェーン（FCMP50C、P=152.4mm、平均破断強さ、15t）が標準になっていった。これと平行してチェーン破断等異常時の検出方法に取り組まれている。

昭和44年に砂町処理場でステンレスチェーンが試験導入されている。この様な状況の中で昭和45年に稼働した森ヶ崎（西）処理場の第二沈殿池には、主コレクターとしてミーター式汚泥かき寄せ機が設置された。

この第二沈殿池は中間整流壁を有するもので、整流壁前は、チェーンフライト式汚泥かき寄せ機をクロスコレクターとして3連設置することで、沈殿池の長さを短くしている。ミーター型汚泥かき寄せ機は、池を往復運動して間欠的に汚泥をかき寄せるものである。機械の大部分は、水面上にあり、点検・補修が容易である反面、多くのリミットスイッチや給電設備が必要等の特徴がある。クロスコレクターのユニークな多連化は、昭和46年稼働した南多摩処理場等に用いられた。

その後、汚泥かき寄せ機は、昭和30年代及び昭和40年代に採用されたチェーンフライト式が主流を占めるようになった。昭和50年代に稼働した小菅処理場、葛西処理場の第一沈殿池及び第二沈殿池の汚泥かき寄せ機は、全てチェーンフライト式汚泥かき寄せ機を採用している。昭和59年に稼働した中川処理場は、チェーン及び鎖車にステンレス製を初めて導入した。従来FCMPに比べ軽量のため、寿命の延長と駆動動力を半分にすることができて、省エネルギー効果が得られている。

平成13年に稼働した新河岸東処理場でチェーンフライト式汚泥かき寄せ機のチェーンには、軽量で耐食性に強い合成樹脂製チェーンが採用された。

2) パイプスキーマ

パイプスキーマは、チェー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かき寄せてパイプで収集するもので、昭和47年三河島処理場で口径300mm、長さ6.2mで1水路1駆動方式が3池分設置されて、人力によるスカムすくい上げからスカム除去の自動化が図られた。これ以降、各処理場で採用されている。同時期にフロートポンプでスカムを吸い込む方式のフロートスキーマが

設置された。収集されたスカムは1ヵ所に集められ目幅1mmのスクリーンで固液分離するシステムが確立した。集められたスカムの脱水は、天日乾燥が主流であったが、平成2年に脱水機が導入・試行された。

3) 汚泥ポンプ

水処理施設のポンプには、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ばっ気槽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。これらのポンプは、昭和30年代初期にライナーの閉塞防止に優れたブレードレスポンプが開発され、これまでの片吸込式渦巻きポンプに代わり、多く採用された。その後、ポンプ効率と特性に有利性を持つノンロック形が開発され、主流を占めるようになった。さらに高効率で特性曲線が右下がりとなる流量制御が容易なスクリュウ渦巻型ポンプが開発されて、昭和57年に第一沈殿池(200φ×3.5m×15m×15kW)と第二沈殿池に導入され、流量制御は、回転数制御が採用されている。詳細は第2章ポンプ設備を参照願います。

3.3 ばっ気槽設備

ばっ気槽設備は、生物処理の要である活性汚泥を育成するために空気を送る重要な設備である。特に散気設備は、効率や目詰まり対策に多くの試行錯誤が繰り返された。送風機は、高速回転かつ精密機械であり信頼性の高いものである。これは対象物質が空気を扱っており、他の下水道設備に比較して環境が良いことが挙げられる。

1) 散気設備

三河島污水処分場で採用された散水ろ床法は、その頃、まだ活性汚泥法は開発されてなく、欧米でも散水ろ床法が最も新しい処理法であった。散水ろ床法は、長方形のろ床上(幅50尺、長220尺)に汚水を散水しながら走行往復するハートレー型散水機(幅50尺、速度30cm/分、イギリス・ハートレー社の設計で国産化)が設置された。散水ろ床法は、大きな敷地面積を必要とし、ろ床パエ・悪臭が発生したりして、あまり期待どおりではなかった。

昭和9年には、三河処理場に散水ろ床法の第一沈殿池の転用により、深さ2.5mのパドル式ばっ気槽が設置された。芝浦処理場は流域面積が大きく、主に家庭排水が多いこと、維持管理費が安価等から昭和12年にシンプレックス式ばっ気槽が設置された。

パドル式及びシンプレックス式は、機械式エアレーション方式で、ばっ気槽の混合液を機械的に水面で攪拌して、大気と接触させることによって、液中に酸素を供給する表面ばっ気式である。パドル式は、直径3 m、幅1 m、の鋼製攪拌翼が6機ずつ、駆動軸に固定されて毎分1.5回転していた。ピーク時、12槽のばっ気槽に288機（駆動装置は24台）の攪拌翼が回転する様は、写真3-2に示すよ

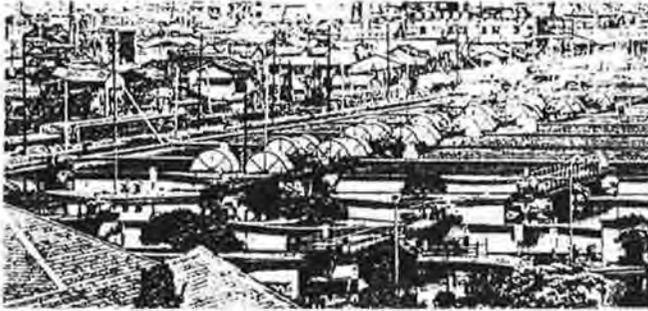


写真3-2 パドル式と沈殿池（昭和46年）

うに、当時、のどかで壮観な風景となっていたようである。

シンプレックス式（写真3-3）は、円筒の頂部に取り付けた回転翼を急速に回転して円筒底部から下水を上昇させると

ともに、周囲にはね飛ばしてエアレーションを行う方法である。

なお、砂町処理場は多量の工場排水が流入するため、浄化効率が高く、弾力性の高い処理法として散気式が適すると決められた。戦前、既に、名古屋市、大阪市で散気式が導入されていた。

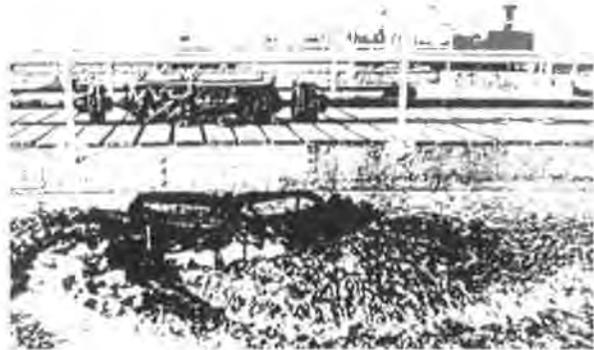


写真3-3 シンプレックス式

昭和30年代は戦後の荒廃から朝鮮戦争による特需ブームを経て、戦後の混乱を抜け出し、後の経済発展に向けた基礎を築いた年代であった。この時代、都市への人口・経済活動の集中による大気汚染、公共用水域の水質汚濁等により、都市公害が各所で発生した。昭和33年に下水道法が制定され、下水道事業の本格的かつ精力的な取り組みがはじまった。昭和34年になって、芝浦処理場に300,000 m³/日の散気式ばっ気槽が設置された。これはスパイラル流式活性汚泥法であり、1槽が4回路迂回流のステップエアレーション法を採用した。散気設備は微細気泡式散気板（有効水深4.1m、形状300×300×30mm、通気能力1.81 ℓ/cm²・分、気泡径2～4 mm）を採用した。散気板は微細なセラミックス粒子を特殊なバインダーを用いて成形・焼成した多孔質磁器製品で国産品であ

った。

パドル式ばっ気槽は、散気式に比べ、3倍の敷地面積を必要とし、空気量が調節できず、機械部分の故障が多く、騒音の発生等が顕著になってきたため、順次散気式ばっ気槽に改造された。また、シンプレックス式ばっ気槽は、攪拌翼で強力に酸素吸収効率を高める反面、強力な回転が生物フロックを破壊するため、処理水のCODと透視度ともに散気式が優れていたことや、回転軸が長いこと軸受けの損傷等機械的故障等の問題があった。

このような状況も踏まえ、用地の有効活用から散気式ばっ気槽が主流を占めるようになった。昭和35年に砂町処理場に、昭和37年の小台処理場、昭和39年の落合処理場に散気式ステップエアレーションが採用され、散気式ばっ気槽の調査研究が精力的に行われていた。散気装置は、この時期に散気筒あるいは粗大気泡式の多孔管式、スーパージャヤー、ディスクフューザー等多くが開発されている。粗大気泡式は、微細気泡式に比べ閉塞しにくい反面、気泡径が大きいため気液接触面積が少なく散気効率が劣り、大規模施設にはあまり採用されていない。また、散気装置の目詰まり点検、清掃の容易化のため、回転式吊上装置もこの時期に開発されている。

ステップエアレーション法は、高負荷時に原水の流入法を変えただけでは、バルキングの発生、汚泥発生量も多く、処理水の透視度が悪い等の欠点があることがわかった。

昭和42年稼働の森ヶ崎処理場は、標準活性汚泥法で建設された。昭和37年には芝浦処理場で汚水量の増加に対処するため、短期間の建設で運転ができるユニットプロセスである、ばっ気部と沈殿部が一体の図3-3に示すような、高速ばっ

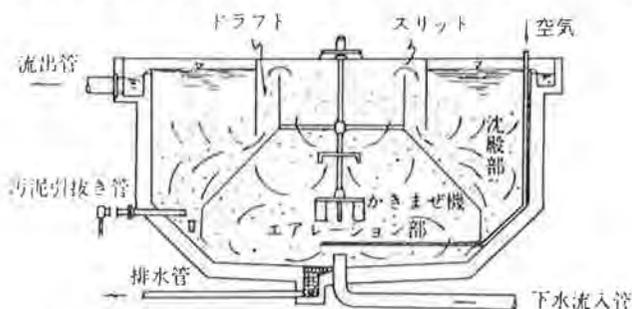


図3-3 高速ばっ気槽

気槽（エアロアクセレーター）が建設された。

しかし、水量変動時の操作が難しく、鋼製構造のため振動が発生する等の問題があったため、昭和47年に休止している。

昭和41年に計画処理水量290,000m³/日の浮間前処理場（新河岸処理場の前身）が稼働した。

北・板橋両区にある化学・紙パルプ・金属工場等の工場排水の多い汚水は、

BOD400～500mg/ℓと通常汚水のほぼ2倍，CODは約4～6倍にも相当し，工場排水量は計画処理水量の72%に相当する210,000m³/日という，工場排水処理が主となる特殊な処理プロセスを持つ処理場であった。図3-4に浮間前処理場のフローシートを示す。

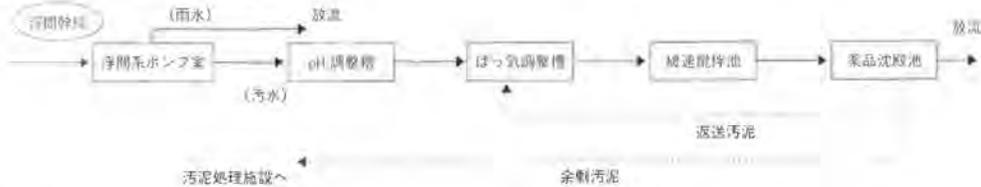


図3-4 浮間前処理場フローシート

施設の概要は，強酸性汚水を中和するpH調整槽，ポンプ揚水後に空気による緩速攪拌槽，セラミック製チューブによる旋回流方式のばっ気調整槽，フロキュレーターによる緩速攪拌池と硫酸バンドと高分子凝集剤を添加する薬品沈殿施設からなっており，従来使用されていない特殊な設備が登場した。その後，悪質な工場排水は，発生源である工場で処理するという原則を基に，除害施設が行き届いたため，浮間前処理場は，使命を終えて昭和49年新河岸処理場と名称を変えると同時に処理法も変わった。

深槽ばっ気槽は，芝浦処理場に直径2m，深さ18mのパイロットプラントを作り，2年間にわたり調査・研究した結果，酸素移動効率及び浄化能力は，従前の浅槽と変わらないが，散気水深は5m以上にすると過剰に溶解した窒素ガスが再気泡化して汚泥に付着し，第二沈殿池で沈降しにくいことが分かったので，散気水深は最大5mとした。

この調査結果を受けて，昭和49年に稼働した新河岸処理場には図3-5に示すような，有効水深7mの深槽ばっ気槽が建設された。その後，他の処理場では，有効水深10mが標準となっている。

槽中央にバブルプレートを設置し，散気設備は片側全面に配列して混合液の循環流を起こさせ効率化を図っているため，浅槽方式に比べ動力効率は20%強向上している。また，処理量あたりの用地は，従来水深4.5mでは0.273m²/m³に対して水深10mで0.121m²/m³となり，省スペース化となった。以後の処理場は，深槽ばっ気槽と2階層沈殿池を組み合わせ

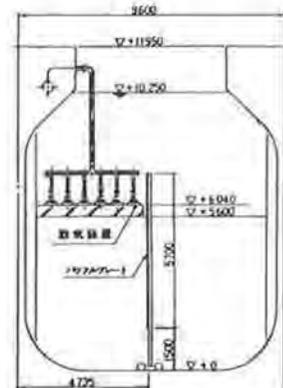


図3-5 深槽ばっ気槽

せて、大幅な用地の効率的使用が可能となった。昭和56年の、下水道局の「下水道施設による省資源、省エネルギー技術に関する調査」報告書によれば、処理場の使用電力の内、約40%がばっ気槽で消費されている。昭和56年に稼働した葛西処理場では、ばっ気槽のMLDO制御を取り入れて省エネルギーを図っている。昭和58年、小台処理場で従来の片側旋回流方式に変えて、気泡径を150~260 μ と小さくして、気泡の上昇速度を抑え、気液接触時間を長くして散気効率を向上するため、ばっ気槽底部に散気板を等間隔に敷き詰めた全面ばっ気方式を採用した。この結果、20%の省エネルギーを図られたが、目詰まりが早いとの報告もある。

平成7年に稼働した有明処理場は、嫌気・無酸素・好気処理の高度処理の導入に伴い、設備的には反応タンクに水中攪拌機、水中ばっ気装置の機械式を導入している。

2) 送風機（ブロウ）

散気式ばっ気槽が主流になるにつれて送風機は、非常に重要な役割を果たした。送風機には多段ターボブロウと単段増速ブロウ及び容積型ブロウがあり、多段ターボブロウは1段につき1,000mmAq程度の昇圧が得られるので、圧力によって段数を変える。回転数は、関東で周波数（50Hz）の関係で2極巻線電動機に直結で3,000r/mの高速回転である。

わが国では昭和5年に初めて、名古屋市で国産のターボブロウが導入されている。東京都では昭和34年に芝浦処理場に写真3-4に示すように、片吸込5段のターボブロウ（250m³/分、5.3mAq、2,960r/m、450ps）が6台設置された。引き続き拡張されて計12台となった。

多段ターボブロウは、ケーシング内に収められた羽根車を高速回転させ、羽根を通過する気体の運動量によって圧力と速度を高めるものであり、圧力条件及び気体比重の変化が送気量に

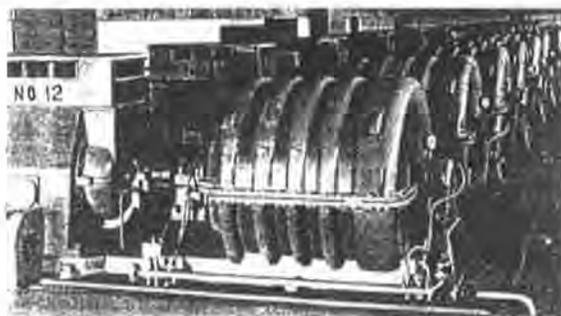


写真3-4 多段ターボブロウ

影響を与える精密な機械で、本体は、点検が容易になるように上下二分の形式が多い。また、多段ターボブロウは、構造上、出口側で風量を絞ると振動・騒音が発生して不安定な運転状態となるサージ現象の特質があり、風量制御を難しくしている。芝浦処理場に6台設置されたことにより、運転対応の容易化のた

めに色々なことが研究・開発されてきた。

例えば、①ブロワ吸込管に風量自動調整装置を設けて、ばつ気槽の抵抗の変動に関係なく一定風量が送れるようにしたこと、②散気板の目詰まりを防止するため吸込側に湿式と乾式フィルターを設置したこと、③サージング域を低風量側に寄せて運転、風量範囲の広い羽根車の設計により、遠方での運転・停止を可能にしたこと、④吸込風道内部に吸音材を張って騒音対策を施したこと等である。さらに高速回転の軸受けに強制給油する潤滑油は、高置油槽より給油することによって停電等による不測の事故を未然に防止したのも、この頃である。昭和56年に葛西処理場（多段ターボ、 $360\text{m}^3/\text{分}$ 、 5.8mAq 、 500kW ）に、昭和59年に中川処理場（多段ターボ、 $780\text{m}^3/\text{分}$ 、 5.3mAq 、 940kW ）に導入されている。

昭和48年新河岸処理場に歯車による増速ギヤによって羽根車を $8,000\sim 20,000\text{r}/\text{分}$ の高速回転にして1段で 10mAq 昇圧する単段増速ブロワ（ $1,200\text{m}^3/\text{分}\times 5.3\text{mAq}\times 1,200\text{kW}$ ）が設置された。図3-6に示すように、単段増速ブロワは、設置スペースが少ない等の利点があるが、運転時の音が大きいかことや高速回転のため軸受け保護が難しいこと等で、その後、昭和52年に芝浦処理場に2台導入されたただけであった。

送風機の省エネルギー対策は、昭和56年に葛西処理場で送風機ケーシング内部の流路曲部を滑らかにして流体損失の軽減、羽根車の軽量化に

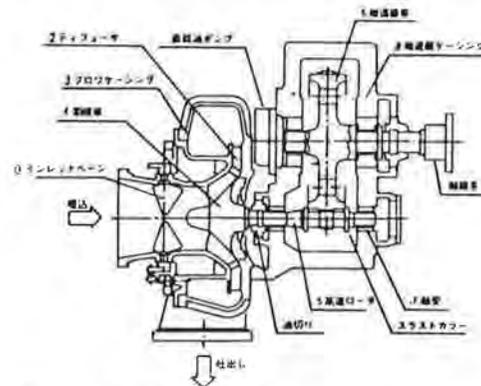


図3-6 単段増速ブロワ

によって、5～10%省エネルギーを図った高効率型タイプの送風機が開発されている。さらにインレット弁制御方式の技術開発がある。これは吸い込み弁制御に代えて、送風機の第一段羽根車の入口直前にインレット弁を設け、この角度を変えて風量制御するもので、吸い込み弁制御方式に比べ軸動力の軽減と初期の小風量にも対応できるようになって運転制御幅は30～100%に拡大された。図3-7にブロワ風量制御例を示す。

一方、小風量に採用される容積型回転式ブロワは、ルーツブロワ及び可動翼型があるが、ルーツブロワは、ターボブロワのようにサージング現象は発生しないが騒音、振動及び圧縮熱による温度上昇がある。昭和50年代から小規模処理場で

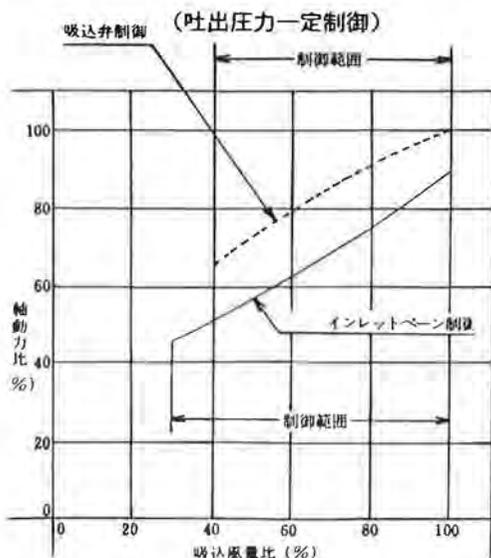


図3-7 プロワ風量制御例

網を設置したり、消泡剤によって泡の発生、飛散を抑えていた。その後、洗剤メーカーによるソフト系合成洗剤（LAS）の開発もあって、発泡現象は少なくなっていた。

3.4 消毒設備

消毒設備は、昭和5年に運転開始した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50kg入りの塩素ポンベによる乾式注入と見られている。塩素は、ある温度に対して一定の圧力を加えると容易に液化する性質がある。この性質を利用した液体塩素が出現したことで、昭和30年代の処理水の消毒には液体塩素が用いられている。設備としては、1tポンベの液体塩素を気化器でガス化してインゼクターで塩素水を作り処理水に注入するものである。気化器は、湿式真空式塩素注入機が用いられている。また、塩素は毒性が強いため、塩素漏洩（ガス化）には苛性ソーダによる円筒立形吸収塔による中和装置を採用している。

処理水に塩素を注入すると、下水中のアンモニア性窒素等と反応してクロラミンを形成する。これは、結合残留塩素といわれ、消毒効果はあるが遊離残留塩素と比較すると効果が低い。このため消毒効果を上げるため、15分程度の接触時間が取れるように接触槽が建設されている。処理水の消毒には、長い間、塩素が使用されてきたが、昭和55年頃になり、施設の大規模化に伴って、塩素ガスが運搬

採用されてきた。平成7年に稼働した有明処理場の生物膜ろ過池のばっ気用プロワとしては三葉ルーツプロワ（7m³/分、5mAq、15kW）が導入されている。

3) その他

昭和35年頃から家庭に合成洗剤（ABS）が急速に普及して、ばっ気槽等から泡が異常に発生して、河川への流出や処理場近隣に飛散して苦情が増えたため、どこの処理場でもその対策に苦慮していた。このため、ばっ気槽等に処理水による消泡設備（スプレー）や防泡

時あるいは使用時に万一、漏洩が起こると大事故につながる危険性があるため、他の安全な薬品にする必要が生じた。

薬品費は高いが、操作が容易でかつ注入設備がシンプルとなる安全性の高い次亜塩素酸ソーダに切り替えることになった。昭和58年に中川処理場に次亜塩素酸ソーダ消毒設備（FRP製円筒立型貯蔵タンク，ダイヤフラム定量型の注入ポンプ）が設置された。その後，すべての処理場で変更・改善が実施された。有明処理場の高度処理水には，脱色及び殺菌を兼ねてオゾン処理（オゾン発生器，無声放電式，オゾン発生量2.5kgO₃）が導入され，良い成果が出ている。

平成7年には，城南三河川への清流復活用水として，落合処理場の処理水に放流直前に毒性の少ない紫外線滅菌設備を設置している。紫外線滅菌は薬品滅菌と異なり環境に優しいといわれている。

3.5 今後の動向

水処理設備は，水処理が活性汚泥処理法に代表されるように微生物の働きによるものであることから，微生物が活動しやすい環境を形成するための補完的なものといえよう。そのため，どちらかといえば信頼性が高く，高耐久性が要求されてきた。個々の要素の改良・改善は見られるが，画期的な技術開発は少ないといえよう。今後，汚泥かき寄せ機では，チェーンに合成樹脂の採用，散気設備には，既に導入され始めたメンブレン式散気装置，そして送風機では，インレットペーン付高効率ブロワ等が多く採用されるであろう。今後は，さらに省スペース，省エネルギー化が要請されている。それにマッチした水処理設備の開発とメンテナンスフリー化が求められると同時に，耐用年数を超えた設備機器が多くあり，再構築を機会に社会的要請を満たす設備を開発・実用化する努力が大切である。

第4章

高度処理設備

4.1 高度処理設備の歩み

わが国の下水道は、明治33年に旧下水道法が制定され、戦前から建設に着手しているが、戦後ナショナルミニマムを達成すべく精力的に整備普及に努めて来た。その結果、平成15年度末に全国普及率が66.7%に達することになった。高度処理は、①下水処理水の再利用、②水質環境基準達成、③湖沼等の富栄養化防止等のため研究・開発されてきたが、歴史は浅く、東京都においては、処理水の再利用として昭和26年に三河島処理場での実験が高度処理の先鞭をつけたといえる。その後、高度処理の技術開発は、物理化学処理法を主としてスタートしている。今日では、処理の経済性等から生物処理の変法が注目されている。昭和45年に下水道法に公共用水域の水質保全が追加されたことから、水質環境基準達成のため下水道整備のマスタープランとなる流域別下水道整備総合計画の策定が行われた。

その年、下水道局に技術開発課が設置された。昭和48年には、建設省の土木研究所に三次処理研究室が新設され、特に河川・閉鎖性水域の水質改善のために三次処理技術の開発がはじまり、下水道局でも全国に先駆けて処理場をフィールドとした総合的な実験研究がはじめられた。昭和48年には、東京都の下水道三次処理調査委員会の一次報告を受け、南多摩処理場に三次処理実験施設の建設が着手され、昭和50年に南多摩処理場の実験施設が稼働し、凝集沈殿法、接触脱りん法、ブレイクポイント法、フォストリップ法等の実験を行っている。

平成年代になり、行政施策面で高度処理の必要性が年々強くいわれてきている。平成2年には、高度処理促進全国協議会が発足した。平成4年に下水道局は、区部下水道普及率が100%概成後の下水道事業のあり方を示した、第二世代下水道マスタープランを策定した。この中で高度処理の導入により、再生水を大切な資

源として有効利用することを示した。

一方、湖沼の窒素、りんに係る排水基準が昭和60年5月環境庁から告示された。平成5年には、富栄養化により汚濁した海域・湖沼の水質改善を目的にした水質汚濁防止法が改正された。新たに窒素、りん環境基準や全国一律の排水基準が設定された。これを受けて平成6年に、下水道局財政計画の中で、下水処理水を高水準化するための高度処理を進めるよう掲げている。平成10年度を初年度とする4カ年の財政計画を着実に推進するため、平成11年に技術開発推進計画を策定してノウハウ+フィールド型共同研究システムや技術評価制度が確立された。

このような行政面からのかけ声を受けて、平成に入って下水道局の高度処理技術の開発は、処理水のより高度な役割を担うため、既存の生物学的処理技術を発展させた省面積・省エネルギーで効率的な高度処理技術である担体添加活性汚泥法、生物膜ろ過法、ステップ流入式窒素除去法等の開発に挑戦している。

高度処理の実施設への展開は、昭和51年に南多摩処理場で凝集沈殿、急速ろ過施設を、昭和57年に琵琶湖流域下水道湖南中部浄化センターで活性汚泥循環変法、凝集急速ろ過施設が稼働している。

平成9年には、嫌気・無酸素・好気活性汚泥法に生物膜ろ過とオゾン酸化を付加した30,000m³/日の有明処理場が稼働した。平成11年には、急速砂ろ過法に生物膜ろ過法を付加した100,000m³/日の東尾久浄化センターが稼働した。平成13年には、嫌気・無酸素・好気活性汚泥法を採用した新河岸東処理場が供用開始した。

ここで、三次処理及び高度処理の用語の使い分けを次に示す。昭和40年代後半まで下水処理法は標準活性汚泥法が一般であり、窒素やりん等の栄養塩を対象にした富栄養化防止対策はできなかった。そのためSSと、それに付随するBODの除去率を向上させる技術としては、凝集沈殿法に砂ろ過設備を付加したもの等を一次処理、二次処理の延長として三次処理として用いられていた。その後、富栄養化防止対策としては、反応タンクと第二沈殿池を単純にBOD除去の二次処理として用いないで、BODと同時に窒素も除去する単段式循環変法や、りんも除去する嫌気・無酸素・好気活性汚泥法等を高度処理と呼んだ。また、簡易処理、中級処理、高級処理の延長上の概念で高度処理が用いられている。

高度処理の設備は、物理化学的処理で新たな設備が出現しているが、生物学的処理では、従来設備の延長上にある。その中でも水中攪拌機、マイクロストレーナ、オゾン発生装置、紫外線消毒設備等や各種膜技術等が目を引くところである。

4.2 処理水再利用設備

処理水の利用拡大に伴い、平成元年には「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）」が建設省で策定された。

1) 砂ろ過法

昭和26年に、用水不足と地下水利用による地盤沈下対策として処理水を利用するため、SS・BOD除去を目的とした砂ろ過の実験を三河島処理場で開始した。処理水は、千住製紙で試験的に利用された。昭和30年に三河島処理場で砂ろ過施設（7.5m×4m×6池×配水量18,000m³/日）が完成し、工業用水として供給開始した。現在は工業用水の需要が少なくなり平成9年に運転が停止された（写真4-1）。



写真4-1 三河島処理場最初の処理水再利用施設(S38.10撮影) 左：砂ろ過池 右：砂ろ過制御盤

昭和48年に東京湾の富栄養化防止対策を進める技術としては、ろ過速度を100m/日以上にした急速砂ろ過法の実験を森ヶ崎処理場で開始した。SSとSS由来のBODを除去するもので粒状ろ材の工夫、ろ過速度や洗浄の効率化を図った。昭和62年に落合処理場に、450,000m³/日のろ層の下から二次処理水を流入させる上向流式急速砂ろ過法施設が稼働した。目標水質は、BOD：10mg/ℓ、SS：10 mg/ℓとした（写真4-2）。

2) 処理水供給装置

昭和55年には、下水管きよ清掃や支障処理等に処理水を有効利用するため、7処理場に下水処理水供給装置が設置された。森ヶ崎と芝浦処



写真4-2 落合処理場450,000m³/日急速砂ろ過施設

理場には、供給量の把握と利用者が自由に操作できるようにコイン式の供給装置が設置された。平成13年度までに全処理場にコイン式の下水处理水供給装置が設



写真4-3 コイン式処理水供給装置

BOD $8\text{mg}/\ell$ ，大腸菌群数 $30\text{個}/\ell$ 処理水を流し、放流部には紫外線で滅菌を行っている。流域の清流復活事業においては、処理水の下水臭，泡立ち，色の課題が生じたため，平成3年に多摩川上流処理場では，移動床式砂ろ過設備にオゾン処理と凝集沈殿ろ過法を付加して解決した。施設は，図4-1に示すように，移動床式砂ろ過 $900\text{m}^3/\text{日} \times 48$ 基（ $43,200\text{m}^3/\text{日}$ ），オゾン発生器（ $10\text{kg}/\text{時}$ ）で目標水質は，全りん： $0.5\text{mg}/\ell$ ，色度： 10 度以下，臭気，泡を除去できるものである。平成13年度の配水実績は環境保全局の予算削減により， $25,000\text{m}^3/\text{日}$



写真4-4 多摩川上流処理場移動床式砂ろ過機

置されている（写真4-3）。

3) 清流復活事業

清流復活事業としては，多摩川上流処理場の再生水を利用して昭和59年に野火止用水，昭和61年に玉川上水，平成元年には，千川上水が復活した。平成7年には落合処理場の砂ろ過水を利用して城南三河川（渋谷川・古川，呑川，目黒川）の清流が復活した。

城南三河川には， $86,400\text{m}^3/\text{日}$ を

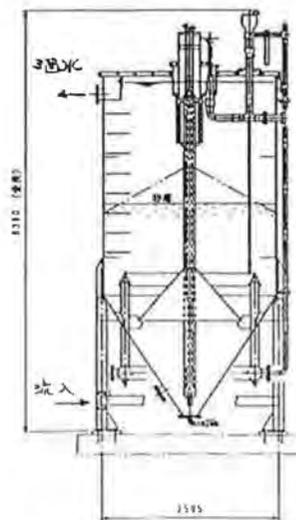


図4-1 移動床式砂ろ過機構造図

となっている（写真4-4）。

4) 逆浸透法（RO膜法）

平成3年に，親水用水の処理技術としては，BOD，COD，色度，大腸菌群，無機塩類等の除去を対象にした逆浸透膜法（RO膜法）の実験を落合処

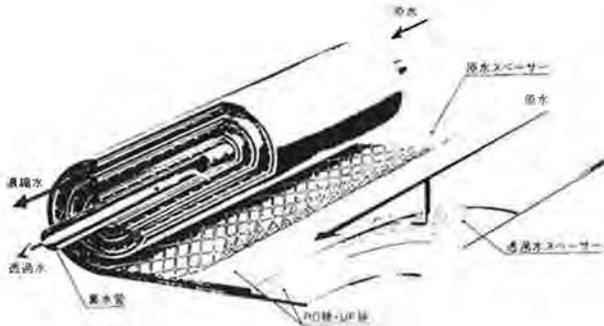


図4-2 スパイラル型逆浸透膜構造図

③操作が簡単で自動化ができる, ④薬品が不要なので汚泥の発生量が少ないという長所がある。反面, 膜のろ過圧力が高いので電力使用量が多く, また, 洗浄技術面の難により膜の耐用年数が少なく維持費が高いという欠点がある。しかし, 今後の需要を考慮すれば, これらの課題は解決されるだろう。

各膜の性能は次のとおり。

- ①RO膜…分離分子量：350pm（イオン・塩類除去）
ろ過圧力：0.5～10Mpa
- ②UF膜…分離分子量：1,000～30万（コロイド・高分子除去）
ろ過圧力：0.1～1.0Mpa
- ③MF膜…分離分子量：0.025μm～10μm（微粒子・大腸菌群除去）
ろ過圧力：0.1～0.5Mpa

平成5年には, 落合処理場上部公園のせせらぎの里で親水用水として, RO膜の前段にMF膜を付加した50m³/日の施設(写真4-5)が稼働した。図4-3に逆浸透法フローシートを示す。

目標水質は次のとおりである。



写真4-5 落合処理場50m³/日逆浸透膜施設

- ①大腸菌群 : 不検出
- ②SS : 1mg/ℓ
- ③COD : 0.5mg/ℓ
- ④全りん : 0.06mg/ℓ
- ⑤アンモニア性窒素 : 1.1mg/ℓ

4.3 りん除去設備

りん除去は, 東京湾の富栄養化

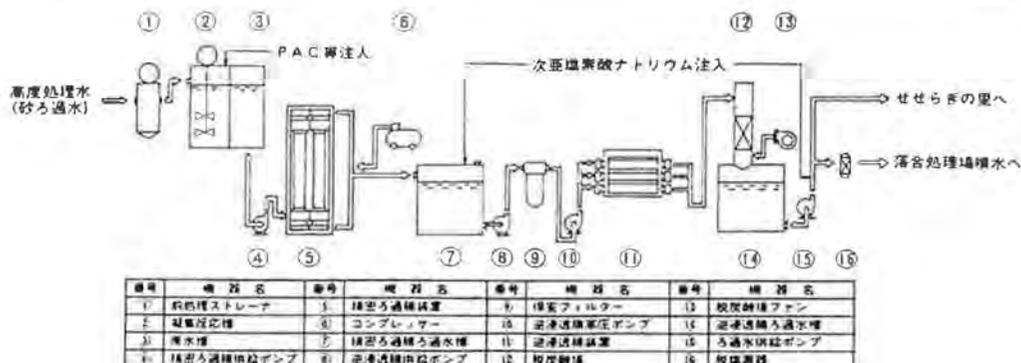


図4-3 逆浸透法フローシート

防止対策として、①凝集沈殿法、②接触脱りん法、③嫌気・好気活性汚泥法が実験・実用化している。

1) 凝集沈殿法

昭和51年に、南多摩処理場で二次処理水に硫酸バンド等の凝集剤を注入し、攪拌・沈殿処理し、りんを除去する凝集沈殿法の実験が開始された。この方法は、りと凝集剤でフロツクを形成させ、このフロツクを沈殿させてりんを除去する。処理は安定するが、沈殿汚泥は濃縮・脱水しにくい欠点がある。実験施設は、処理能力 $8,800\text{m}^3/\text{日} \times 2$ 池であった。

2) 接触脱りん法

昭和53年に、森ヶ崎処理場で $100\text{m}^3/\text{日}$ の接触脱りん法の実験が開始された。本法は、二次処理水を脱炭酸・pH調整及び砂ろ過した後に、りんの種結晶を充填した脱りん槽に通水することにより、りんを晶析除去する。種結晶(りん鉱石)の表面でりんを結晶化させるため硫酸、石こう、消石灰の薬品が多く使用される。

昭和58年、森ヶ崎処理場に接触脱りん法の実証施設(50m^2 上向流砂ろ過×脱りん材 2.5m 厚×LV $120\text{m}^3/\text{日} \times 6,000\text{m}^3/\text{日} \times 2$ 池)が稼働した。目標水質はりん： $0.1\text{mg}/\ell$ 以下で

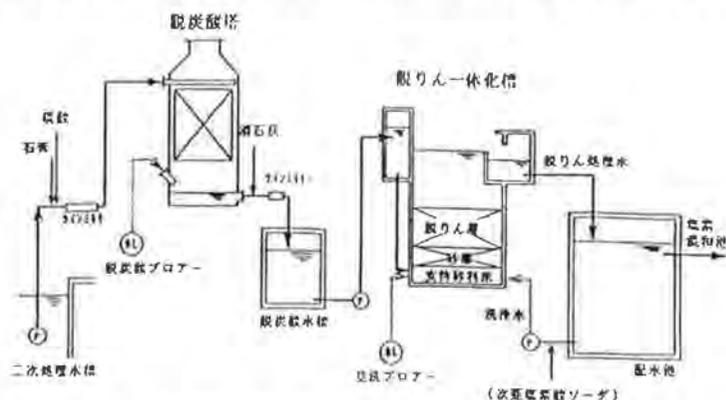


図4-4 接触脱りん法のフローシート

ある。本施設は平成8年まで使用された。図4-4に接触脱りん法のフローシートを示す。

3) 嫌気・好気活性汚泥法 (AO法)

昭和55年に、三河島処理場でばっ気槽を分割して、嫌気槽と好気槽に分け、嫌気槽で活性汚泥からりんを放出させて、好気槽でりんを活性汚泥に過剰摂取させることで、下水中のりんを除去する嫌気・好気活性汚泥法の実験をはじめた。嫌気槽と好気槽の容積比は、1:2~1:3でBOD/りん比が高いほど(20以上)りんが効率良く除去されるほか、バルキング抑制の効果もある。平成2年に、三河島処理場で実施設が稼働した。

4.4 窒素除去設備

窒素はりんと並んで富栄養化の要因物質の一つであるが、りんと異なり処理過程で色々と変化するので除去が難しい。生物処理ではりんと窒素は相反する作用をするので難しい面がある。

1) 生物膜ろ過法

昭和61年に、快適な水辺環境の創出のため落合処理場で生物膜ろ過法の実験が開始された。生物膜ろ過法は、急速砂ろ過法に空気を送ることでろ材の表面に生物膜が形成され、この生物膜によってろ過処理するもので、物理的ろ過と生物的ろ過を同時に機能するもので、窒素除去のほかに、SS、BOD、CODを除去する。通気量は通水量の0.3倍程度の通気倍率で良い。

平成元年に、砂町水処理センターでスケールアップ実験を行い、平成7年に有明処理場で実施設が採用された。平成11年には、東尾久浄化センターで急速砂ろ過法に生物膜ろ過法を付加した100,000m³/日の実施設が稼働した。

4.5 窒素・りん同時除去設備

生物処理では、りんと窒素が相反する反応をするので難しい面があるが、同時に除去できないことはなく、より効率的に除去するために色々と工夫・改善がされている。

1) 担体添加活性汚泥法

平成3年、雨天時のSSと窒素、りんの除去を行うため、図4-5に示すような高速ろ過と図4-6に示すような担体添加活性汚泥法の実験を芝浦処理場で開始した。

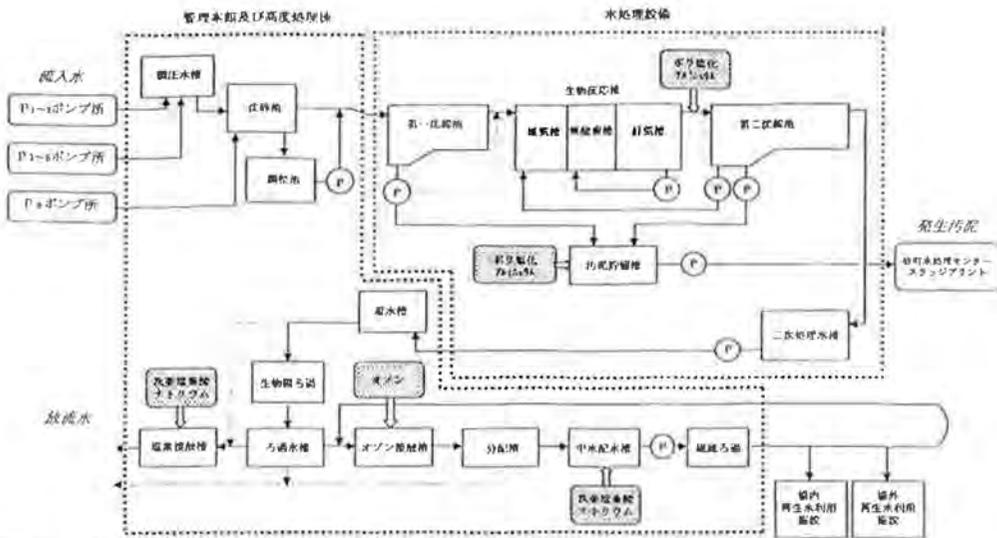


図4-7 有明処理場高度処理フローシート

施設が稼働した。りんと窒素の除去反応が相反するので、流入水質により、りんの除去を安定させるためPAC（ポリ塩化アルミニウム）の注入設備を設置している。対象除去物質は、窒素、りん、大腸菌群、色度、臭気等で、目標水質は次のとおりである。

- ①BOD : 5 mg/ℓ
- ②COD : 14mg/ℓ
- ③SS : 5.5mg/ℓ
- ④窒素 : 19mg/ℓ
- ⑤りん : 0.9mg/ℓ

再生水（高度処理水）は、有明地区のトイレ用水として利用されている。再生水送水量は、平成14年度実績で約5,500m³/日である。

3) ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法

平成10年に、窒素、りんの除去効率を向上させるため、従来の嫌気・無酸素・好気法(A₂O法)を改良した実験を芝浦処理場で開始した。処理フローは、嫌気槽→無酸素槽→好気槽→無酸素槽→好気槽の順で、流入水を嫌気槽と無酸素槽に流入し、第二好気槽からの硝化液は、無酸素槽に循環させる。図4-8に示すような、ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法の水理的滞留時間（HRT）は、12時間程度でA₂O法の16時間に比べて短縮が可能である。

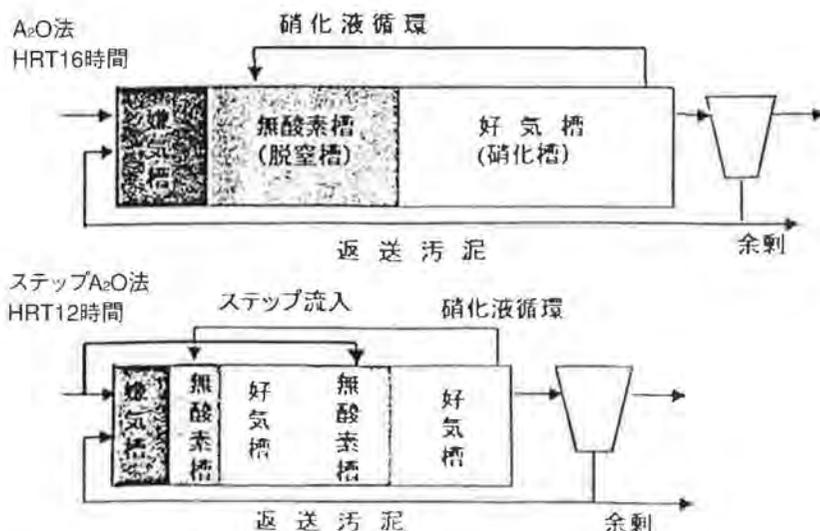


図4-8 ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法フローシート

4.6 今後の動向

平成15年度末における全国の高度処理人口は、下水道処理人口の17.3%（1,427万人）を占めるに過ぎない。一方、循環型社会の形成においては、下水処理水を有効利用するため処理水質の安全性を一層向上させる高度処理技術の導入が、国民的に要望されている。

これに対応する施策としては、平成16年4月実施の下水道法施行令改正により、高度処理の位置付けが明確になると同時に、放流水質を各下水道管理者が定めることができるようになった。平成16年度を目標年度と設定した第五次水質総量規制による窒素、りん削減が本格的に実施された。東京湾に処理水を流入させる処理場に対しては、汚水排出枠取引制度を導入し、汚濁負荷削減コストを低減させる提案（平成15年3月：国交省）がなされた。さらに、対象を広げた東京湾や瀬戸内海等の閉鎖性海域の水質改善を目的に、高度処理を低コストで導入させる課徴金制度の提案（平成16年6月：国交省）がなされている状況にある。

東京都においては、平成12年に雨天時に白色固形物が流出したことが契機となり、現在、基本的な事業である合流改善対策事業が緊急優先事業となっており、都市の持続的な発展に向け健全な水循環と良好な水辺環境を創生・維持していくために、高度処理の導入は、欠かせない事業となっている。

東京都における高度処理設備の技術的課題は、既存の狭い敷地内に設置できる設備を物理的問題や管理的問題で運転要員が少なくかつ維持管理費のかからない

ようにすることである。

つまり、省用地型、省エネルギー型、省力型、低ランニングコストを重視した高度処理技術の追求が求められている。

例えば、既存の技術を改良した反応速度が早く、できるだけ単純な設備にする改良型晶析脱りん技術や高速反応する薬品による脱りん凝集技術、そして、耐用年数を向上させた、管理のやさしい膜技術、あるいは新しい微生物を使った処理技術の開発が期待される。

また、高度処理水をどのように利用していくか、処理から発生した資源（りん等）をどのように再利用していくか等について、下水道料金制度の面からも都民の合意を得ながら、高度処理事業を進めて行くことが必要である。

