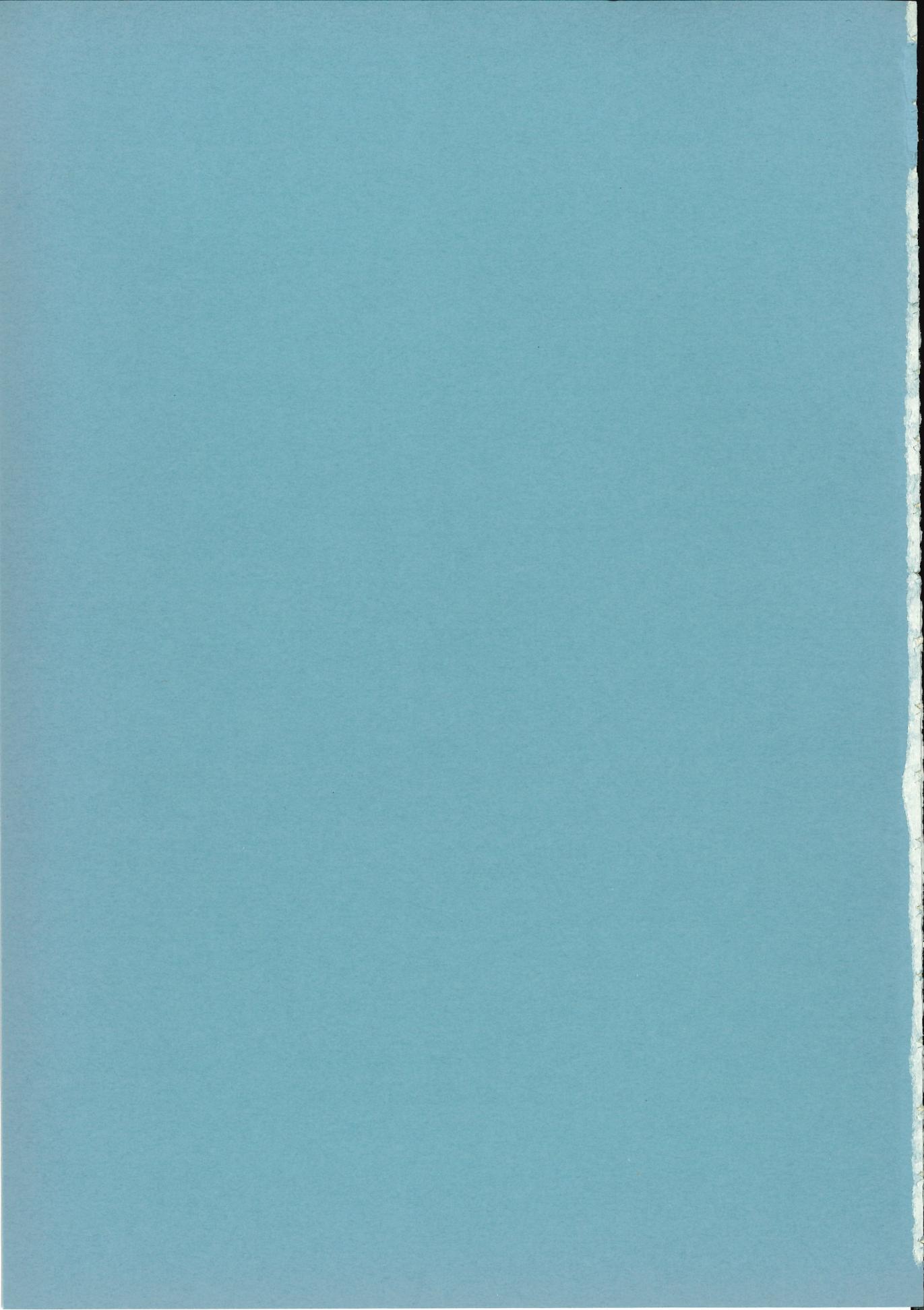


下水道設備の流れ



社団法人 東京下水道設備協会



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、既設施設の再構築、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す。

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あります。

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	錢瓶町	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	淺川	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	白鬚西	芝浦	東部S/P			
平成10年	汐留第二	藏前				
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 真吾 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」という）、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年に三河島汚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年創設の芝浦汚水処分場や旧錢瓶町ポンプ所では、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[newline]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と幹線管きょが深くなってきたため、土木構造物のコスト縮減を図るため、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年の旧錢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。

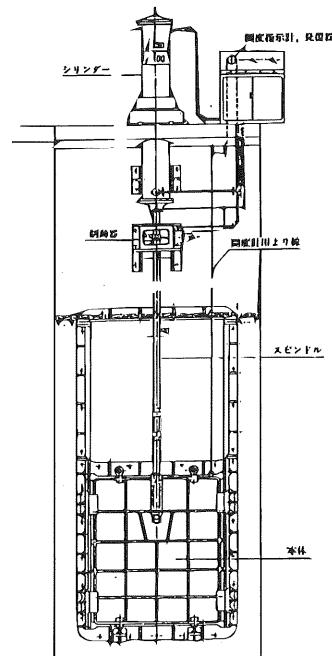


図1-1 油圧式ゲート

ゲートは、平成に入ってからも油圧式が主流となっているが、材質はダクトイル鉄が多くなっている。

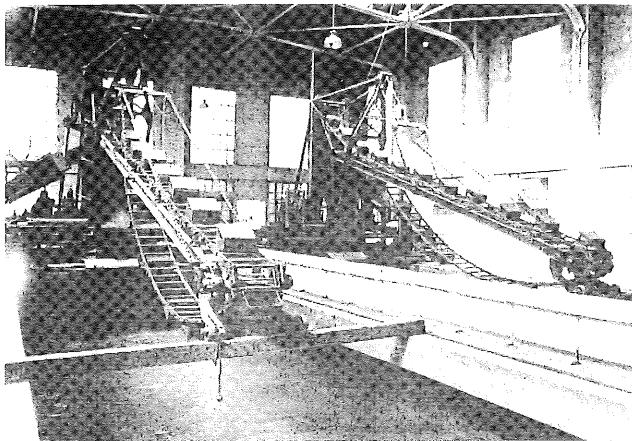


写真1-1 ドレッジャ

された。昭和16年の吾嬬ポンプ所ではクラブバケット門型クレーンが、昭和30年の町屋ポンプ所ではクラブバケットジブクレーンが相次いで採用されている。

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に、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ともに、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（ドレッジャ式、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

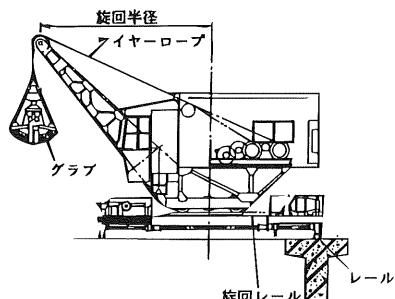


図1-2 ジブクレーン

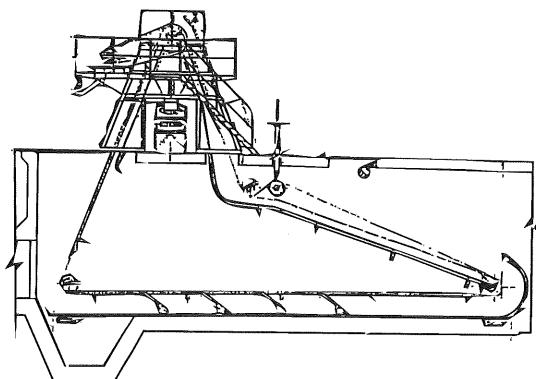


図1-3 埋設防止型バケットコレクター

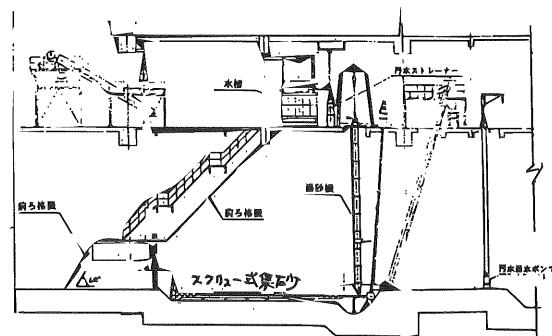


図1-4 スクリュー式集砂機と混気ジェットポンプ

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體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ュ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、スクリュ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ャ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

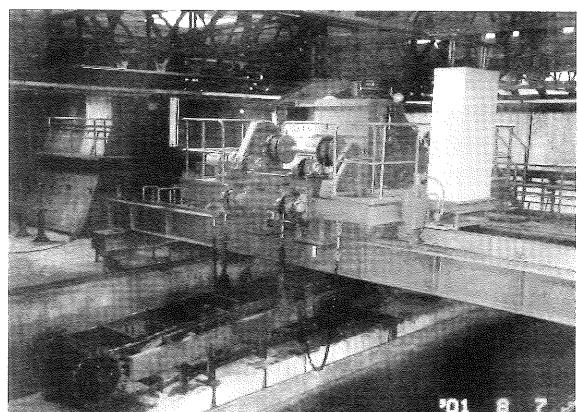


写真1-2 起伏腕式バケットエレベーター

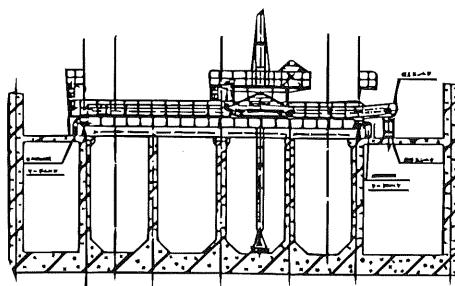


図1-5 油圧駆動揚砂機

水中部での稼働は、摩耗・腐食や故障が多いいため、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

が導入されて以来、平成に入ってからは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、スクリュー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搔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汚水処分場のドル式S

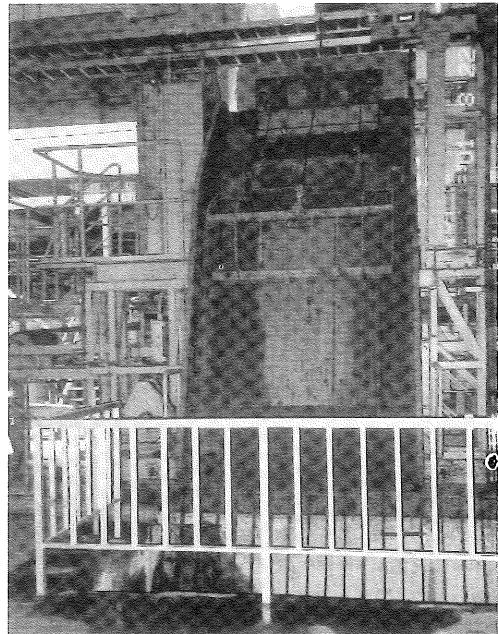


写真1-3 ロープ式台車型粗目ろ格機

型電動格子型ワイヤー式が設置された。昭和6年に芝浦汚水処分場や旧錢瓶町ポンプ所では、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。し渣を搔き揚げる方法は、ワイヤーの巻き上げ巻き下げによる前面降下、前面搔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、機械搔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汚水用を除いて、機械搔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、汚水沈砂池用は目幅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搔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（白色固体物等）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年に東糀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、全雨水沈砂地で採用されている。

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、芝浦処理場や錢瓶町ポンプ所

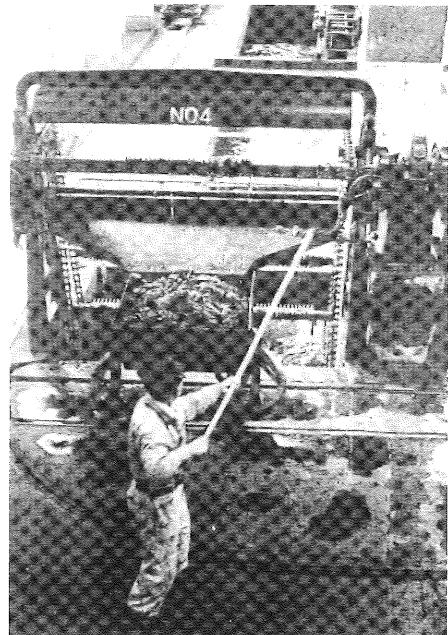


写真1-4 翼車回転式ろ格機

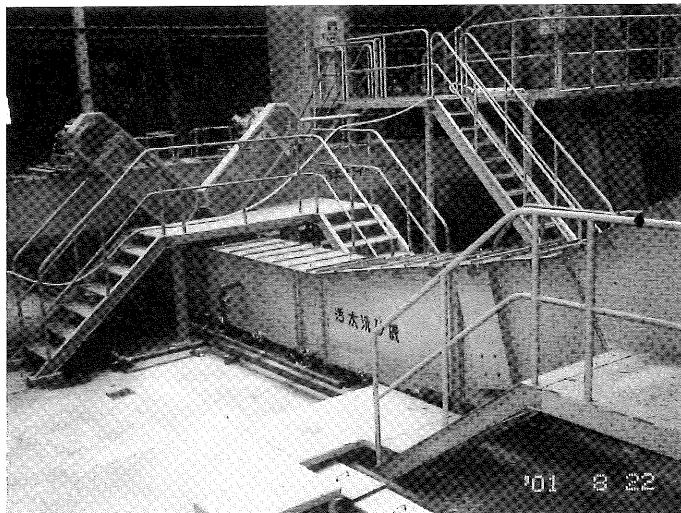


写真1-5 フライトコンベヤ沈砂洗浄機

が可能な沈砂分離槽付きスクリュー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、またはベ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豎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（スクリュー型）、洗浄槽スクリュー型等が設置された。

平成7年稼働の有明処理場では、し渣を二軸回転せん断

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・搔き揚げ

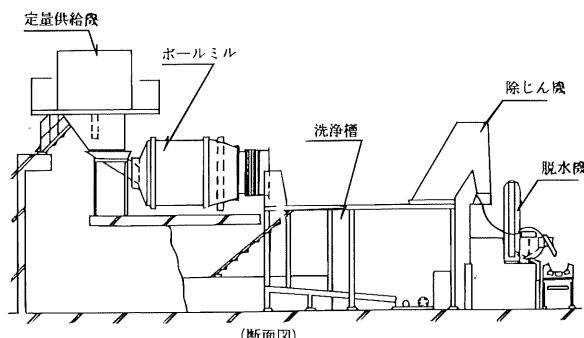


図1-6 し渣洗浄脱水設備

破碎機で破碎後、スクリュープレスで脱水して、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、スクリュー式沈砂搬送機、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ったが、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・実施設として導入された。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随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汚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）及び汚水を三河島汚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、これに対応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。

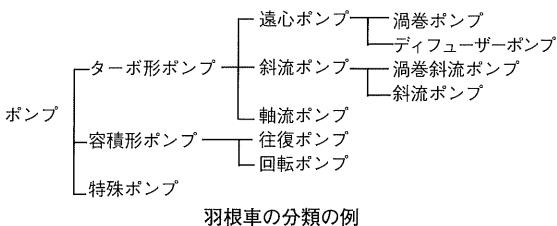
一方、汚泥ポンプ設備は、下水の処理過程で発生する汚泥を送泥するための設備で、用途別に分けると、第一沈殿池生汚泥ポンプ及び汚泥処理施設廻りの汚泥ポンプ、さらに第二沈殿池の活性汚泥をばっ氣槽（今は「反応層」といわれているが本稿ではばっ氣槽に統一する）へ返送するための返送汚泥ポンプと余剰汚泥を汚泥処理施設へ送る送泥ポンプがある。汚泥ポンプの維持管理には、昔から汚泥や夾雑物の閉塞、羽根車の摩耗に悩まされ続けた。このため汚泥ポンプの課題は、閉塞しないポンプ構造や耐摩耗性に優れた材料をいかに開発するかであった。汚泥ポンプは、昭和30年代に羽根車に閉塞しないことを着目したブレードレスポンプが出現した。続いて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に良く、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



1. 比速度による分類		
渦巻（遠心）	斜 流	軸 流
 ①	 ②	 ③
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用する。 ② 雨水、下水等の若干の異物を含む場合に適する。	 繊維、きょう物等を含む場合に適する。

図2-1 ポンプの分類

昭和30年以前に開設したポンプ所・処理場は18ヶ所で、これらの施設に設置された污水ポンプは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年代に入ると污水ポンプは、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

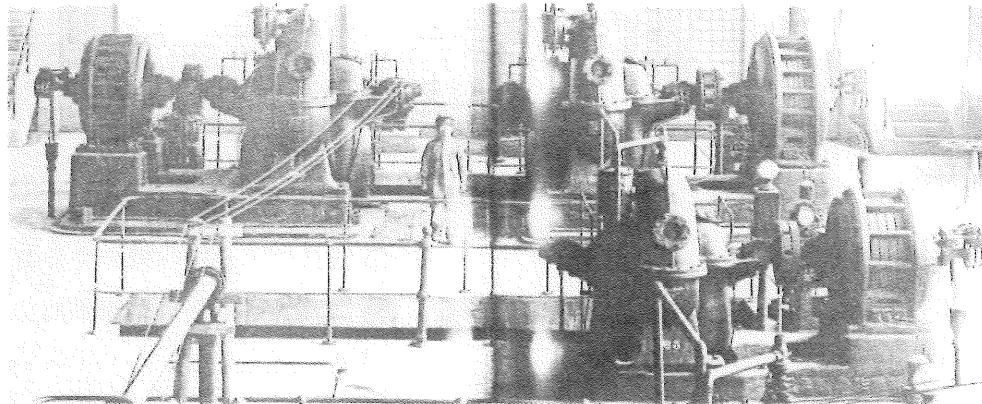


写真2-1 三河島汚水処分場主ポンプ室（大正11年）

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污水ポンプは、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污水ポンプも同じく横軸片吸込式渦

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、しかも中揚程の汚水ポンプには、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、汚水ポンプ設備は、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、汚水ポンプは、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、ふのくち式ポンプと呼ばれ、口径1,140mmで鉄管二つ割のボルト締めで吐出量 $170\text{ m}^3/\text{分}$ 、揚程1.8m、で当時記録的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。ターボ形ポン

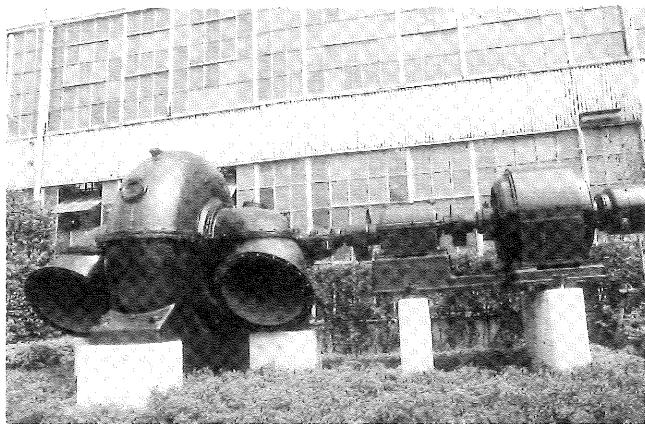


写真2-2 みのくち式1140mm横軸渦巻ポンプ
(株)荏原製作所提供)

ンプは、この揚程の範囲からすれば当然軸流ポンプの範疇であるが、軸流ポンプは大正末期に出現し、昭和12年木場、業平橋、三ノ橋の各ポンプ所の増設工事ではじめて採用された。

しかし、軸流ポンプは、少水量側で軸動力が急激に低下し、水量の変化で

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、山谷の各ポンプ所等に設置された。

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年に吾嬬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

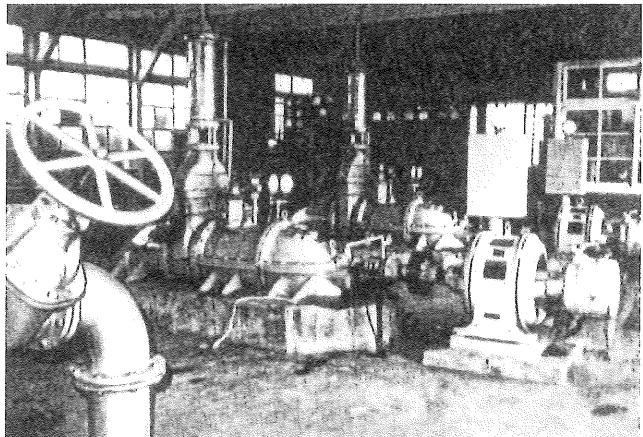


写真2-3 固定羽根式軸流ポンプ（汐入ポンプ所）

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

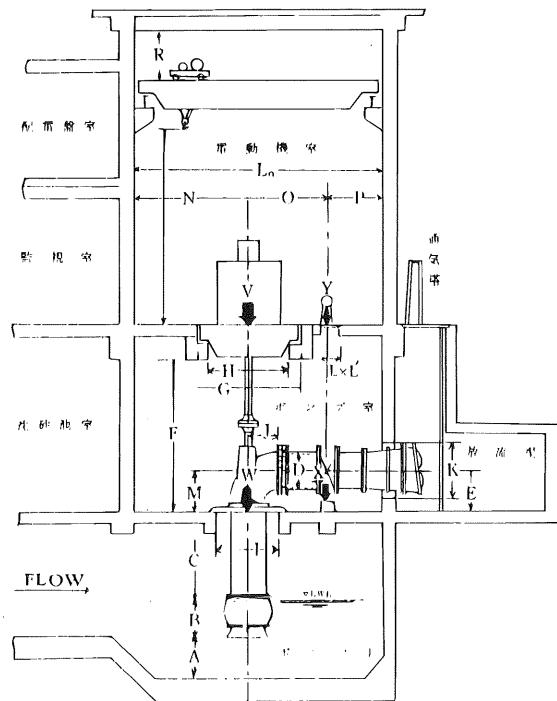


図2-2 電動機直結立軸斜流ポンプ標準据付図

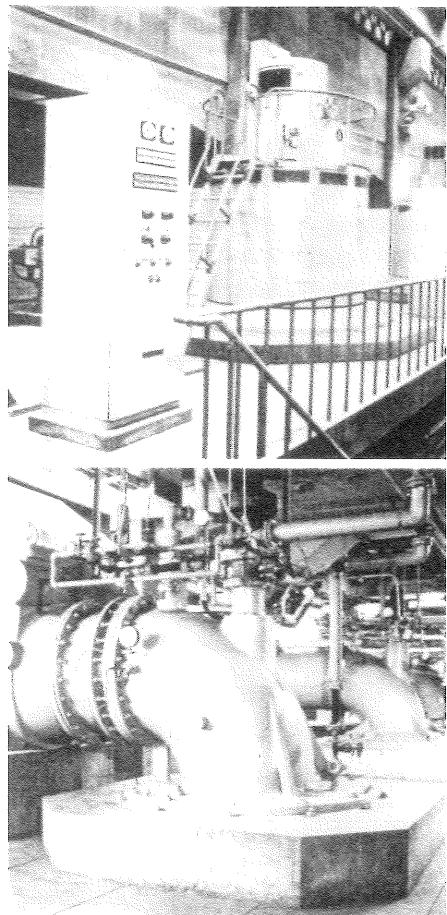


写真2-4 立軸斜流ポンプの例

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、當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

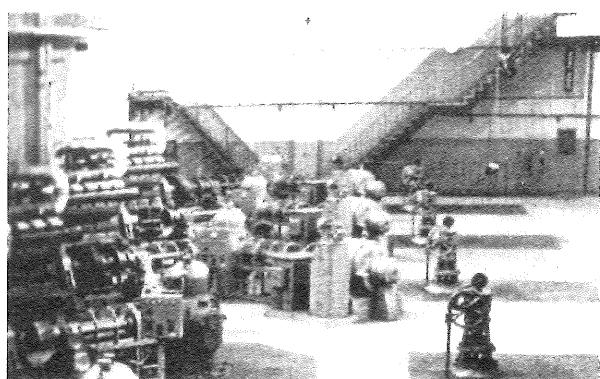


写真2-5 ディーゼルエンジン及び電動機掛け立軸斜流ポンプ（桜橋ポンプ所）

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、グランド部はスタフィグボックス内に合織、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、小菅処理場でサイリスタセルビ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つたことに伴い、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と考えられる。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る、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、砂町の各汚水処分場で、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、三河島汚水処分場の第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、砂や夾雜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鑄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、高クロム鑄鋼または高クロム鑄鉄を用いた耐摩耗性のスクリュー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。

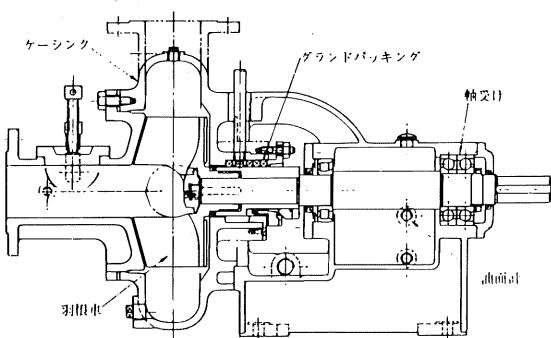


図2-3 無閉塞形汚泥ポンプの例

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。

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

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雜物を除去した後、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ン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、深槽ばっ氣槽及び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年に三河島汚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。

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

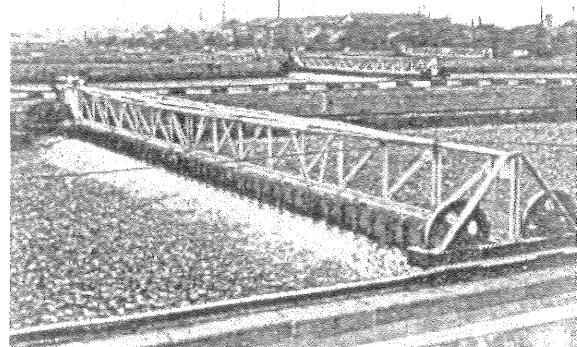


写真3-1 散水ろ床法

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本のクラリファイナーが設置された。

昭和3年に、芝浦汚水処分場は芝浦ポンプ場として沈砂池2池、汚水ポンプ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汚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ナー（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氣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ナーが採用されている。クラリファイナーは、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、不快で重労働の汚泥排出作業をなくしたことは、当喜ばれたものであった。

昭和5年に稼働した砂町汚水処分場は、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。

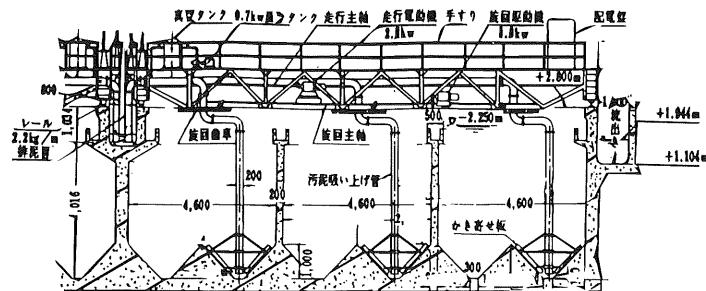


図3-1 走行サイホン式採泥機

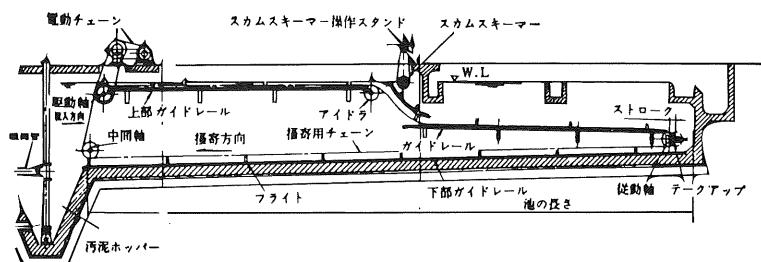


図3-2 チェーンフライト式汚泥かき寄せ機

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

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ライト式汚泥かき寄せ機が採用された。チェーン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

表3-1 沈殿池設計諸元

m／分、第二沈殿池で0.3m／分が標準である。これまで従来の円形、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。

	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 ³ ・日)	25-50	20-30
流出負荷(m ³ /m ³ ・日)	250	150
汚泥含水率(%)	98	99

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う厳しい条件の中で、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、阻水板・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、可鍛鉄製のピ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。汚泥を移動させるライトは、当初、日本桧を使用し、腐食防止のためクレオソートを圧力注入していたが、安価である米桧が一般的となり、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、各部品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ダ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。ミーダ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。従来の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氣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ク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ー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、ろ床バエ・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ルックス式は、機械式エアレーション方式で、ばつ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つ気式である。パドル式は、直径3m、幅1m、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槽のばつ気槽に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

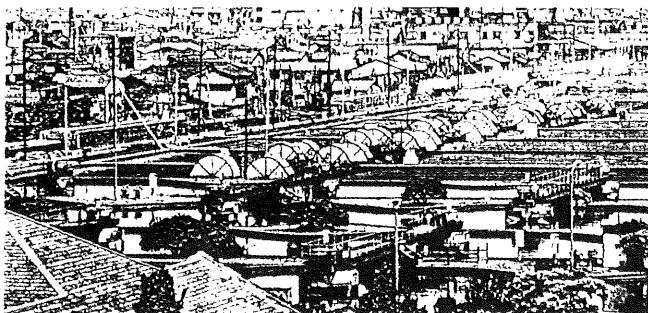


写真3-2 パドル式と沈殿池（昭和46年）

うに、当時、のどかで壯観な風景となっていたようである。

シンプルックス式（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。

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300,000m³/日の散気式ばつ気槽が設置された。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了。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1.81ℓ/cm²・分、気泡径2~4mm）を採用した。散気板は微細なセラミック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

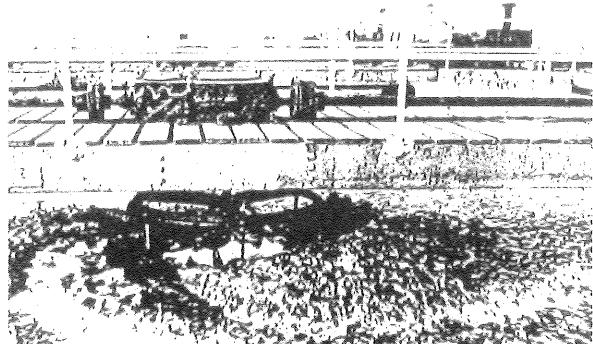


写真3-3 シンプレックス式

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と透視度とともに散気式が優れていたことや、回転軸が長いため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

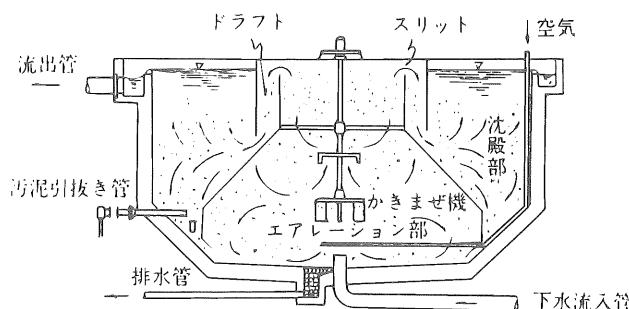


図3-3 高速ばっ気槽

気槽（エアロアクセラーター）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。

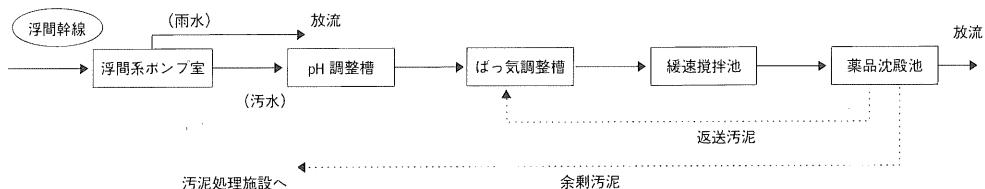


図3-4 浮間前処理場フロートシート

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えるととも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以上にな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。

槽中央にバッフ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、従来の水深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

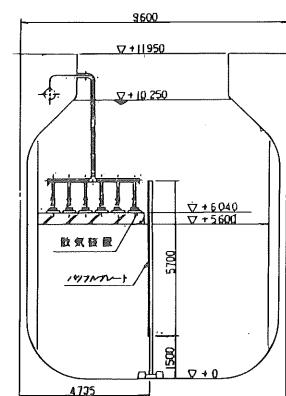


図3-5 深槽ばっ気槽

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150~260μ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（プロワ）

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プロワと単段増速プロワ及び容積型プロワがあり、多段ターボプロワは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プロワが導入されている。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段のターボプロワ(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台となつた。

多段ターボプロワは、ケーシング内に収められた羽根車を高速回転させ、羽根を通して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割の形式が多い。また、多段ターボプロワは、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ング現象の特質があり、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

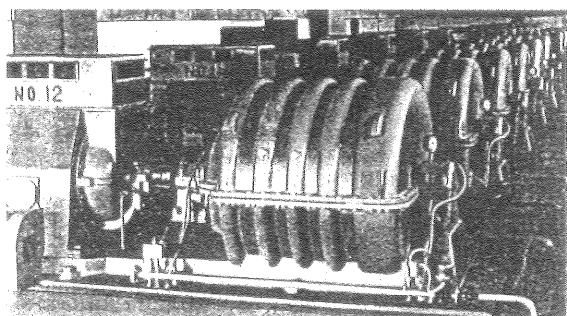


写真3-4 多段ターボプロワ

めに色々のことが研究・開発されてきた。

例えば、①プ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もの、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 $8,000\sim 20,000\text{r}/\text{m}$ の高速回転にして1段で 10mAq 昇圧する単段増速プロワ（ $1,200\text{m}^3/\text{分}\times 5.3\text{mAq}\times 1,200\text{kW}$ ）が設置された。図3-6に示すように、単段増速プロワは、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

よって、 $5\sim 10\%$ 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 $30\sim 100\%$ に拡大された。図3-7にプ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プロワは、ルーツプロワ及び可動翼型があるが、ルーツプロワは、ターボプ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

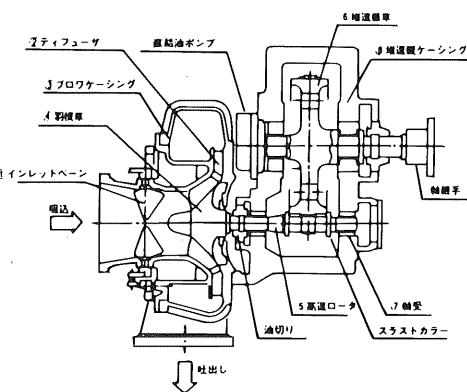


図3-6 単段増速プロワ

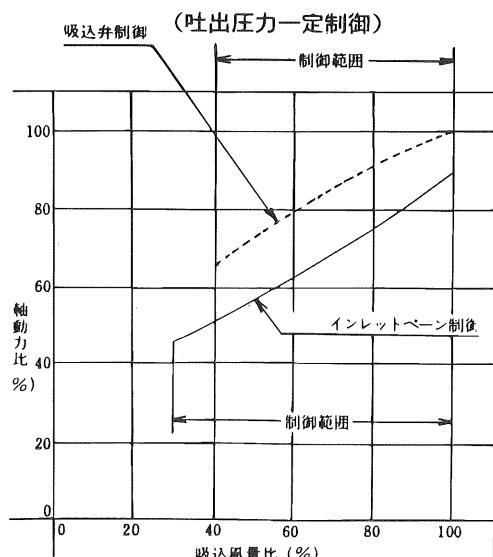


図3-7 ブロワ風量制御例

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つていった。

3.4 消毒設備

消毒設備は、昭和5年に運転開始した砂町汚水処分場に塩素滅菌式消毒設備が導入された。当初は50kg入りの塩素ボ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、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ボ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、塩素は毒性が強いので、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氣用プロワとしては三葉ルーツプロワ ($7 \text{ m}^3/\text{分}$, 5 mAq , 15 kW) 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、ばっ氣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、ばっ氣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、インレットベン付高効率プ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、ブレークポイント法、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（ $7.5\text{m} \times 4\text{m} \times 6\text{池} \times \text{配水量 } 18,000\text{m}^3/\text{日}$ ）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）。

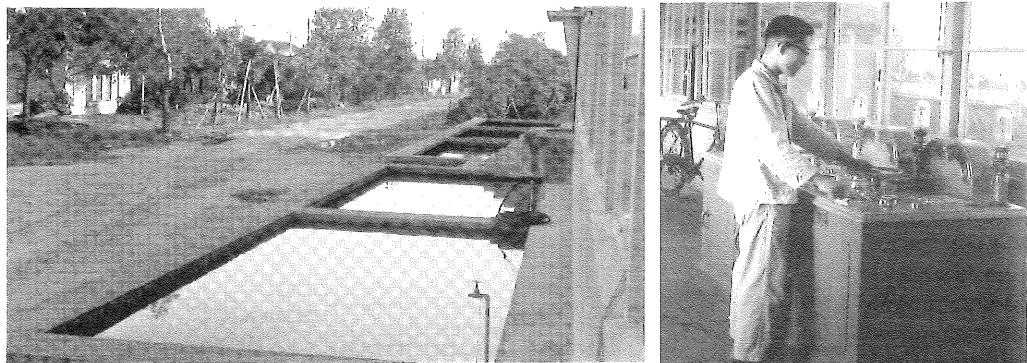


写真4-1 三河島処理場最初の処理水再利用施設(S38.10撮影) 左: 砂ろ過池 右: 砂ろ過制御盤

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、 $450,000\text{m}^3/\text{日}$ 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： $10\text{mg}/\ell$ 、SS： $10\text{ mg}/\ell$ とした（写真4-2）。

2) 処理水供給装置

昭和55年には、下水管きょ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 $450,000\text{m}^3/\text{日}$ 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処理水供給装置が設置されている（写真4-3）。

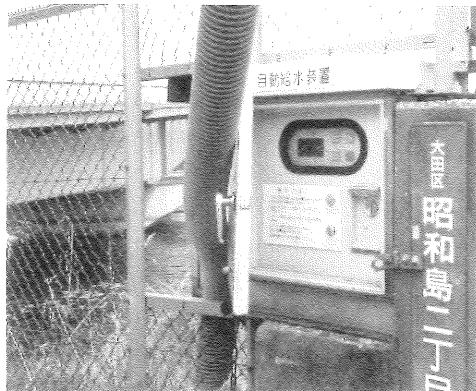


写真4-3 コイン式処理水供給装置

BOD8mg/ℓ，大腸菌群数30個/ℓ 处理水を流し，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附加して解決した。施設は、図4-1に示すように、移動床式砂ろ過900m³/日×48基(43,200m³/日)，オゾン発生器(10kg/時)で目標水質は、全りん：0.5mg/ℓ，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、25,000m³/日

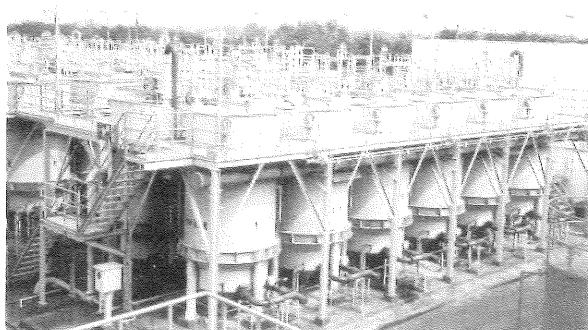


写真4-4 多摩川上流処理場移動床式砂ろ過機

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、86,400m³/日を

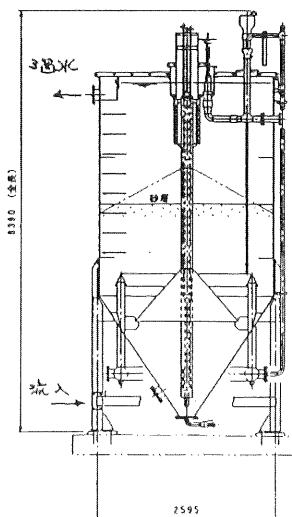


図4-1 移動床式砂ろ過機構造図

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

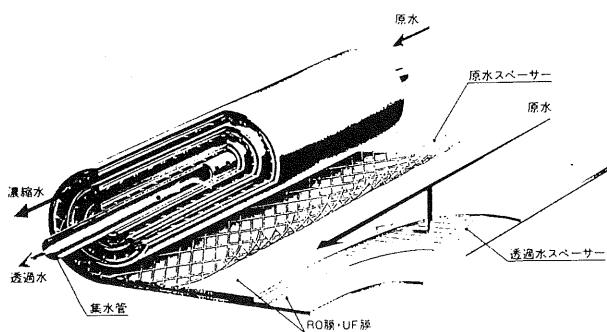


図4-2 スパイラル型逆浸透膜構造図

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）

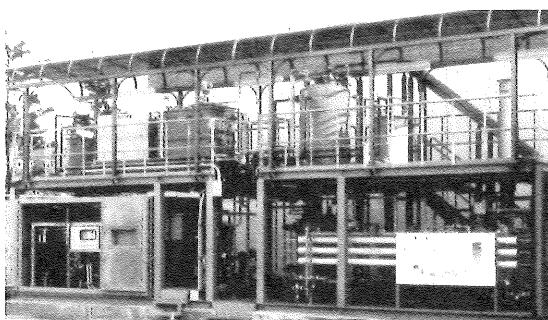
ろ過圧力：0.1～1.0Mpa

③MF膜…分離分子量：0.025 μm～10 μm（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

理場で開始した。膜の種類には、RO膜（図4-2）の他にMF膜（精密ろ過膜）、UF膜（限外ろ過膜）があり、水中の多種成分の同時除去が可能である。膜処理法は、①物理化学的処理法で処理水が安定している、②設置面積が小さい、

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

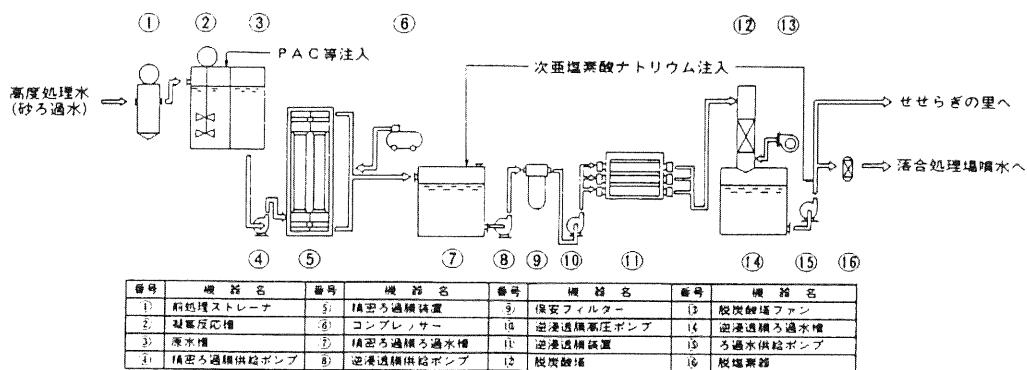


図4-3 逆浸透法フローシート

防止対策として、①凝聚沈殿法、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、りんと凝集剤でフロックを形成させ、このフロッ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8,800m³/日×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100m³/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（50m²上向流砂ろ過×脱りん材2.5m厚×LV120m/日×6,000m³/日×2池）が稼働した。目標水質はりん：0.1mg/ℓ以下で

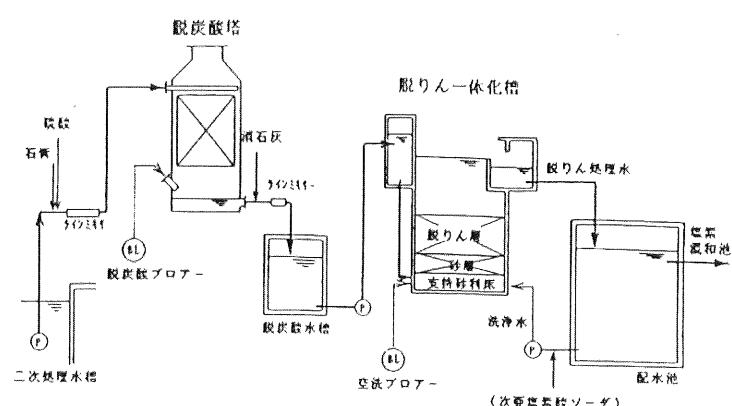


図4-4 接触脱りん法のフローシート

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氣槽を分割して、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。

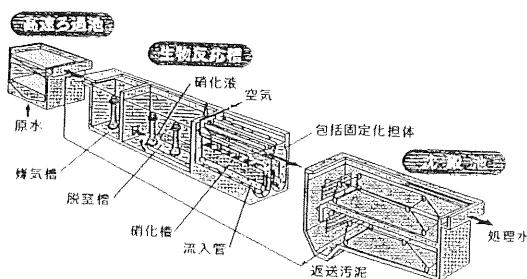


図4-5 高速ろ過と担体添加活性汚泥法のフローシート

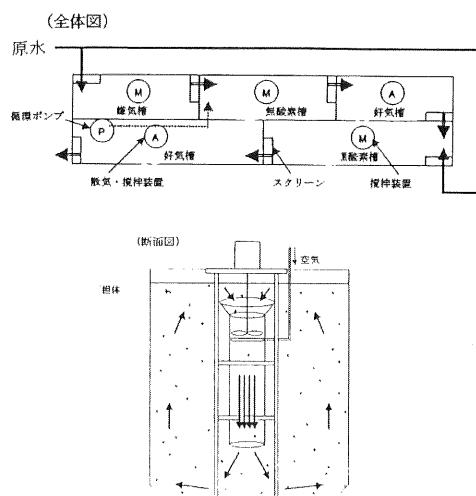


図4-6 改良担体添加活性汚泥法のフローシート

また、平成11年より深層ばっ気槽用の改良担体添加法の実験を三河島処理場で開始した。

2) 嫌気・無酸素・好気活性汚泥法(A₂O法)

A₂O法は、窒素除去法である循環式硝化脱窒法に、りん除去法である嫌気・好気活性汚泥法を組み合わせて生物学的に窒素、りんを同時除去するもので、生物反応槽の滞留時間は、16時間程度必要である。

平成9年に、有明処理場に図4-7に示すような、30,000m³/日で、後段に生物膜ろ過法とオゾン酸化（写真4-6）を付加した実

担体添加活性汚泥法は、合流式下水道の雨天時の高度処理運転を安定させるために、第一沈殿池で高速・効率的固液分離をして嫌気・無酸素・好気の反応槽に導く。反応槽には硝化菌群を保持した担体を投入して、硝化反応に必要な滞留時間を短縮し、高度処理施設のコンパクト化を図るものである。他都市では、既に実用化している。

担体としては、径3～5mmで水の比重より若干重いプラスチック製のモジュールを用いる。

水質目標は次のとおりである。

- | | |
|------|------------|
| ①SS | : 10mg / ℓ |
| ②BOD | : 10mg / ℓ |
| ③りん | : 1 mg / ℓ |
| ④窒素 | : 15mg / ℓ |

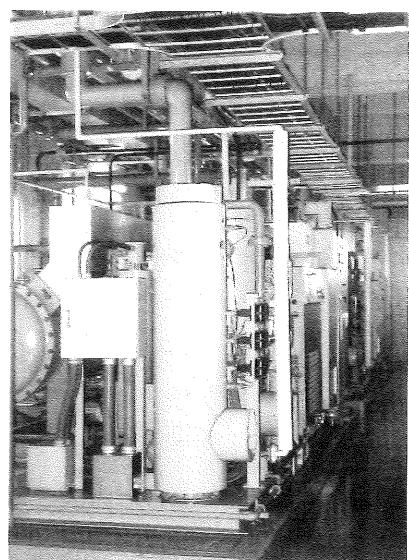


写真4-6 オゾン発生器

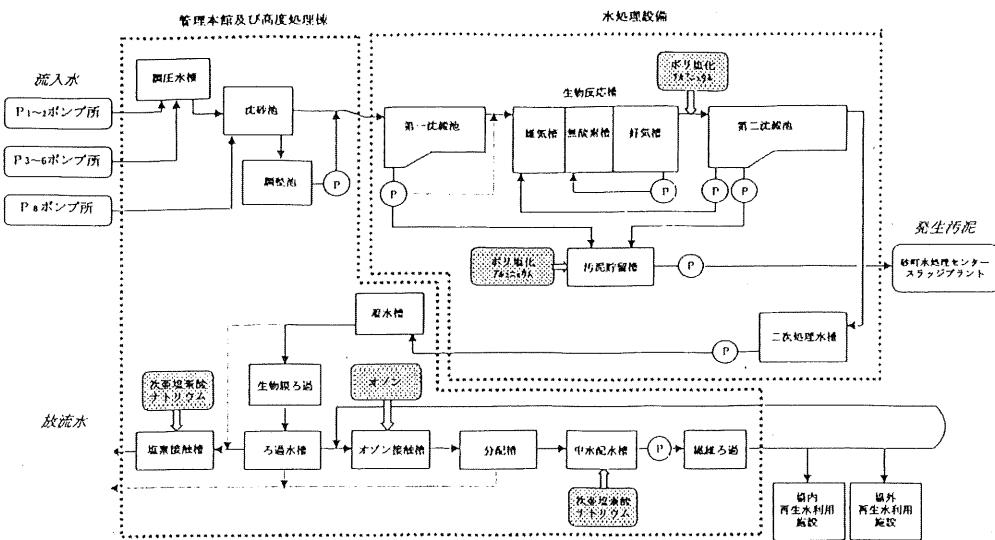


図4-7 有明処理場高度処理フローシート

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・好気法の水理学的滞留時間（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。

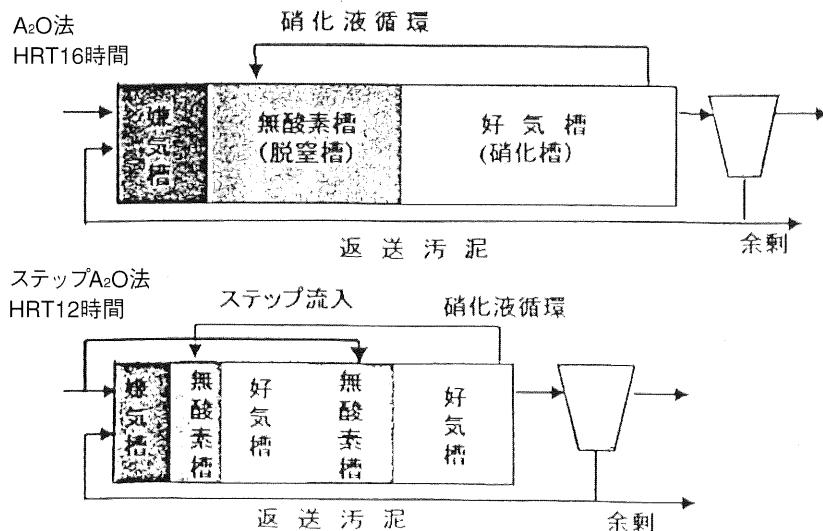


図4-8 ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法フローシート

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、污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问题や管理的问题で運転要員が少なくかつ維持管理費のかからない

ようによることである。

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。

第5章

汚泥処理設備

5.1 汚泥処理設備の歩み

汚泥の処理処分は、その時々の社会情勢の変化や関係法令等に従い変遷してきた。この技術の推移は概ね、海洋処分一天日乾燥—機械脱水—汚泥焼却の各時代に区分される。

大正11年に運転開始した三河島汚水処分場で発生した汚泥は、「さし散槽」に濃縮貯留され、ポンプで「さし船」と呼ばれた運搬船に積み込まれてお台場、品川、州崎沖の海中に散布された。

この海洋処分は、戦時中の重油入手難により運搬船の運航が困難となり、昭和18年に停止せざるを得なかった。

そこで応急策として、三河島及び芝浦の汚水処分場の空地に、急遽乾燥床を築造して天日乾燥による汚泥の肥料化がはじまった。昭和19年、三河島汚水処分場に汚泥天日乾燥床を増設して汚泥の肥料化を開始した。昭和21年には、芝浦汚水処分場にも汚泥乾燥床を設置し乾燥汚泥の生産を開始した。そして乾燥汚泥は有機肥料として農村に還元されたが、昭和30年代になると需要が徐々に低下してきた。さらに、乾燥時の臭気等の苦情もあり機械脱水が検討されるようになった。

一方、汚泥の嫌気性消化は、昭和3年頃から汚泥の有機分をガス化して汚泥量の減少と処分の衛生化を図るために、三河島汚水処分場にパイロットプラントが設置され研究が進められていたが、皮肉にも、し尿施設としてその第一歩を踏み出すこととなった。

昭和25年12月に経済安定本部資源調査会衛生部会は、政府に対して「し尿の資源科学的衛生処理に関する件」を提出した。これは、「し尿の科学的処理法は嫌気性消化法が最善である」として政府に勧告したものである。そして、消化機構

と経済性、特に汲み取りし尿処理を考慮して単槽室二段消化方式の二重式消化槽が考案された。昭和28年、わが国初のし尿消化槽が砂町下水処理場で稼働した。消化槽の下水汚泥への採用は、昭和35年の芝浦下水処理場からで、その後、砂町、小台の各処理場に順次採用されている。

天日乾燥床から機械脱水機への変遷は、昭和33年に砂町下水処理場し尿消化槽の汚泥脱水に導入されたヤングフィルター型真空脱水機であった。し尿の消化汚泥は纖維質が多いために無薬注でも脱水でき、さらにこの脱水汚泥を熱風乾燥することで取扱いに優れた有機肥料として農業従事者に重宝され、昭和57年3月末日、し尿処理の清掃局からの受託が終了するまで生産されていた。

下水汚泥における脱水処理の機械化は、昭和35年、芝浦下水処理場におけるオリバー型真空脱水機の採用からである。下水汚泥の処理は、嫌気性消化と機械脱水が標準化されて、それらの施設は、汚泥処理工場と呼ばれるようになった。昭和37年には砂町処理場の汚泥処理工場が稼働した。また同年に開設した小台処理場には、当初から汚泥処理工場が計画・建設された。これらの汚泥処理工場は、消化槽から発生する消化ガスによる発電計画を有していたが、当時の下水汚泥の有機分が50%程度と低く発生ガス量も少なかったので、発電計画の実施は延期されていた。実現したのは26年後で、小台処理場で消化ガス発電設備が昭和63年10月に稼働した。

嫌気性消化には広い用地と高額な建設費を要した。このため生活汚泥を消化処理せず直接脱水することが検討されていた。さらに昭和30年代の後期には、汚泥の最終処分地の確保が困難となり、汚泥の減量化及び質の安定化を目指した汚泥焼却が検討されはじめた。既に汚泥焼却炉を導入していた川崎市、一宮市、名古屋市等の運転実績を参考に検討を進め、昭和42年5月1日には小台処理場に100t／日（8段、外形5.71m、高さ11.58m）の立型多段焼却炉（以下「多段焼却炉」という）が稼働した。その後、汚泥焼却の効率化を図るために徐々に規模の大型化を図り、昭和48年8月に、砂町処理場で300t／日の多段焼却炉の運転を開始した。このように規模の拡大とともに汚泥の焼却処理が標準化されて、消化槽の建設は行われなくなってきた。

現在、汚泥焼却炉の主流となっている流動層式汚泥焼却炉（以下「流動焼却炉」という）は、昭和49年2月に、流域下水道の南多摩処理場で20t／日（内径2m、高さ7m）の流動焼却炉が運転を開始した。区部で最初に導入されたのは、昭和53年3月に稼働した小菅処理場の50t／日の流動焼却炉である。その後、規模の

拡大に努め、平成3年3月には、葛西処理場で300t／日の流動焼却炉が稼働している。

さらに高度成長期の昭和40年代になると、発生する下水汚泥の性状も変化し、汚泥の有機物が70%を超えると、濃縮・脱水が困難となり、従来の無機凝集剤を用いた真空脱水機では限界となってきた。昭和51年に、新河岸処理場に遠心分離式汚泥脱水機（以下「遠心脱水機」という）が、昭和52年には、ベルトプレス型汚泥脱水機（以下「ベルトプレス脱水機」という）が北多摩1号処理場に導入された。以来、砂町、葛西、芝浦、小台の各処理場にベルトプレス脱水機が導入され、有機系の高分子凝集剤を用いた汚泥脱水機が主流となっている。

昭和52年2月8日、「下水汚泥処理調査委員会」が発足して下水汚泥の処理処分方式に大きな変革期を迎えた。その一つは、従来の各処理場で処理する分散汚泥処理方式から集約汚泥処理方式への変革である。昭和54年3月29日、南部汚泥処理プラントの都市計画決定、昭和56年2月28日には東部汚泥処理プラントの都市計画決定を経て集約汚泥処理方式への第一歩を踏み出した。もう一つは、下水汚泥の資源化・再利用である。また汚泥処理は、水処理と異なり、どちらかといえば、物理・化学的処理が多いのでプロセス上、単位プロセスで構成されているので設備の役割が重要である。

5.2 汚泥濃縮設備

汚泥濃縮は、次に続く汚泥処理プロセスの小型化及び効率性を助長するため、汚泥性状を変えることなく含水率を下げて容積を減少させるプロセスで重力濃縮、加圧浮上濃縮、遠心濃縮等がある。

1) 重力濃縮

重力濃縮の歴史は古く、大正11年の三河島汚水処分場運転開始の当初より存在していた。当時の汚泥処理は上澄液を河川や海に放流し、底部に沈殿した汚泥を写真5-1のような船舶で運搬して海洋処分していた。

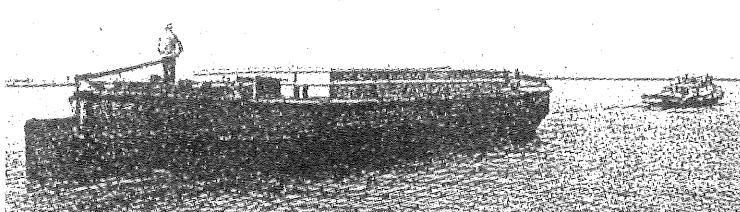


写真5-1 「さし船」と呼ばれる汚泥運搬・海中投棄船

その後、船舶用燃料油の不足により写真5-2のような天日乾燥床で乾燥し肥料化されてい

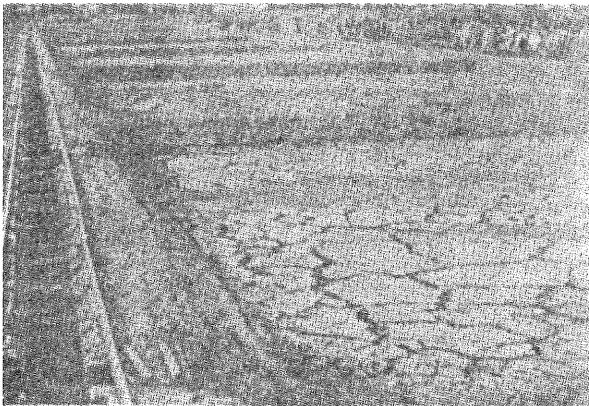


写真5-2 汚泥乾燥床（芝浦）

た。昭和36年に芝浦、37年に砂町の両下水処理場に相次いで汚泥処理工場が稼働した。汚泥処理工場は、汚泥消化、機械脱水方式を採用し、重力濃縮はこれらの前段処理として用いていた。重力濃縮は、水と汚泥粒子の密度差を利用して重力で濃縮を行うもので、操作が容易でランニングコストも安く経済的であったため、多数採用された。

昭和40年代後半から重力濃縮で所定の濃縮効果を得ることが困難になってきた。そこで濃縮槽の投入汚泥濃度を2%から1%程度に低くすることにより濃縮効果を増す方法の低濃度濃縮法が考案され一定の成果を得るとともに、重力濃縮の本格的調査の先鞭となった。

昭和59年に、下水道局技術委員会の「汚泥濃縮専門部会」では、「分流式下水処理場における混合汚泥について、重力濃縮法では濃縮汚泥濃度が4%に達しない。合流式の場合は、4%以上濃縮できるが、水温25°C以上では3%程度である。これらのことから分流式の処理場では新たな重力濃縮の採用を避け、合流式の処理場では、汚泥の特性により検討を行う必要がある」との報告が行われている。近年、この傾向はますます強まり、余剰汚泥単独の機械濃縮化を含め、機械濃縮が広く見られるようになってきている。

2) 加圧浮上濃縮

汚泥の粒子に微細気泡を付着させ、汚泥の水に対する見かけ比重を小さくして汚泥を浮上分離させる加圧浮上濃縮技術の調査を開始したのは、昭和40年代の後半であった。加圧浮上濃縮では適切な大きさの微細気泡を発生させること、汚泥の粒子に微細気泡を効果的に付着させることが重要とされていたが、工夫する余地があった。

そこで昭和53年、昭和54年に、余剰汚泥を対象とした本格的なパイロットプラントによる調査が実施された。その結果、従来、他都市の小規模処理場等で用いられていた減圧混合装置のニードルバルブをスプレーノズルに代える方が効率の良いことを発見した。そのスプレーノズルの分散角は100度、加圧水圧4~6kg/cm²のとき、気泡付着率は、従来の20~50%から85%に向上した。

昭和55年には、混合汚泥を対象とした加圧浮上濃縮技術の調査を開始した。その結果、浮上汚泥の掻き取り方式に「スキミング方式」を採用することにより、供給空気量のうち有効に使用される量と処理される固形物量との割合、即ち、気固比が 0.006 g/g 以上になると気固比に関係なく良い濃縮効果が得られた。また混合汚泥には夾雑物がありスプレーノズル式では詰まりの問題が生じたため、「全量加圧用円環分散ノズル型減圧装置」が開発された。このノズルは微細気泡の発生効率が高く、流量制御も可能な全量加圧法に適し、濃縮汚泥濃度の目標値4%，固形物回収率95%を達成した。

これらの基礎調査を基に、昭和56年に実用化調査に入り開発した図5-1に示すような加圧浮上濃縮技術を「東京型加圧浮上濃縮法」として発表している。昭和57年に小台処理場に実機を建設し、現在も落合処理場からの送泥汚泥を利用してその能力を遺憾なく発揮している。

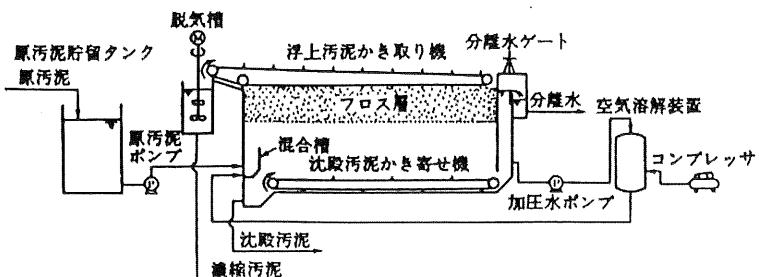


図5-1 加圧浮上濃縮の例

3) 遠心濃縮

遠心分離機が汚泥の濃縮に採用されたのは、比較的新しい。昭和54年から昭和56年にかけ下水道局の「汚泥濃縮分科会」は、汚泥の難濃縮化対策として遠心式の汚泥濃縮についての基礎調査を開始した。遠心分離機は、汚泥を遠心力場において水と汚泥粒子密度差を利用し、密度の大きな汚泥粒子の沈降速度を早めて無藻注で濃縮を行うものである。形式には、連続式の横型とバッチ式の立型があるが、昭和55年から余剰汚泥について両方式について調査した結果、バッチ式は、連続式に比べて排泥不可能成分が蓄積する恐れがあることがわかった。また、連続式の問題点であった処理能力については、大型機の開発が進んでいること等から、連続式の調査を続行した。

その結果、①遠心力が増加するほど処理能力が増すこと、②濃縮汚泥濃度は、給泥負荷とコンベヤ差速によること、③夾雑物による閉塞防止（スクリーニング）や濃縮汚泥濃度を一定に保つ自動制御装置が必要であること、④消費電力は、混

合汚泥の場合 $0.5\sim1.6\text{kW}/\text{m}^3$ 、余剰汚泥の場合は $0.5\sim1.0\text{kW}/\text{m}^3$ であったこと、⑤コンベヤ刃先等の摩耗の多い部分でも4,000時間以上の耐摩耗性があること等が判明した。これらの数値を最近のものと比較してみると、特に、コンベヤ刃先等の耐久性能の向上は著しいものがある。各社では様々な方法が考案された。例えば、タンクステンカーバイトタイルチップを用いたものでは、20,000時間以上の刃先チップ寿命を保証している。

昭和58年に改称された「汚泥濃縮専門部会」もこの調査業務を引き継ぎ、新たに開発された大容量高G型の遠心濃縮機についての実用規模の実験調査を開始した。調査は最も濃縮しがたいとされる余剰汚泥で行い4%程度まで濃縮することができた。昭和60年に第一沈殿池の生汚泥は、重力式で行い、余剰汚泥は、遠心濃縮で行う方式を分離濃縮方式と呼び分流式下水処理場に有効であると結論している。この分離濃縮方式は、最近では合流式下水処理場でも採用されてきた。昭和60年には砂町処理場に処理能力 $100\text{m}^3/\text{時}$ が、さらに平成8年には南部スラッジプラントに処理能力 $150\text{m}^3/\text{時}$ の大型遠心濃縮機が導入されている。

5. 3 汚泥消化設備

汚泥消化は、汚泥の生物化学的・衛生学的安定化及び有機分の減量化の直接目的と脱水時の汚泥性状調整の効果がある。現在、消化で発生するメタンガスの活用が注目されている。消化方式には好気性消化と嫌気性消化がある。

1) 嫌気性消化

嫌気性消化については、昭和3年頃から三河島汚水処分場に無加温式のパイロットプラントが設けられ研究が進められていた。戦後、三河島処理場の無加温方式の消化槽には温水コイルとボイラーを取り付けて加温式の消化槽に改造し、約8ヶ月間運転した結果、投入汚泥の有機物を50%減少させる消化日数について、 30°C で30日間、 45°C で9日間の結論を得た。このことを基本に経済性を考え、「 30°C で30日消化」を消化槽の設計標準値とした。

一方、米国では図5-2に示すような、昭和28年ハイレート消化法が開発された。これは消化槽を加温し、槽内部を急速に攪拌して消化日数を大幅に短縮する方法である。昭和28年稼働の砂町処理場のし尿消化槽（内径25m、有効深6~11.8m、消化温度 30°C 、公称消化日数30日）はハイレート法を採用することとなった。また、温度調節の自動化や遠方制御方式の採用等の技術的にも画期的なものであった。ところが消化槽を急速に攪拌すると消化汚泥と上澄液を分離するた

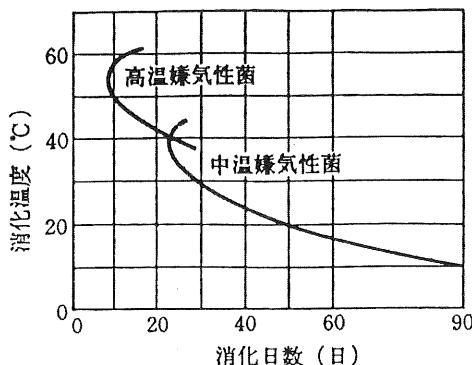


図5-2 消化温度と消化日数

ている。これは二つの同心円を重ねた平面構造で、内側が第一次消化槽、外側が第二次消化槽に対応する図5-3のような構造になっている。一次消化槽を加温・攪拌して、二次消化槽は加温せず静止状態にして固液分離を図る方式である。この二重式消化槽は、その後建設さ
れる下水汚泥消化槽にも採用され、昭和37年に稼働した砂町処理場の汚泥消化槽（内径25m、有効容量3,300m³、12槽）は、すべて二重式で建設された。

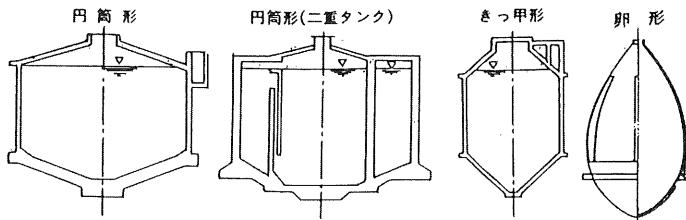


図5-3 汚泥消化槽の形状例

めの沈殿槽が必要となり、消化槽を2つのステージに分離することになった。今日、広く定着している「2段消化方式」である。

消化槽の設計では、用地の有効利用に優れ、建設コストが安く、保温性に優れ加温エネルギーが少なく維持管理コストを低減させた東京のオリジナル技術である「二重式消化槽」が誕生し

しかし、この二重式消化槽には弱点もあった。それは一次槽と二次槽とが組み合わせの一体となっていることから、保守点検時等に同時に運転休止せざるを得なかつたことである。このため、昭和36年に稼働した芝浦汚泥処理工場では、消化槽の数も砂町汚泥処理工場に比べ少なかったことから、消化槽の有効利用を重視し、一次消化槽と二次消化槽を分離した2段消化方式が採用されている。一次消化槽（内径25m、有効容量4,500m³、4槽）で加温と攪拌を行い、一次消化槽と同じ容量の二次消化槽（4槽）で静置させ、固液分離を行うものである。図5-4に示すように消化槽の付帯設備には加温装置、攪拌装置、ガス捕集装置等がある。

加温方式には、小規模消化槽用として蒸気を槽内に直接送り込む槽内加温と、汚泥と温水を向流させて加温する二重管式熱交換器による槽外加温用に分かれる。加温用ボイラーには、蒸気用として炉筒煙管式、炉筒水管式等がある。温水用としては、三胴水管式が主流であったが昭和40年代後半から、腐食に強い鉄

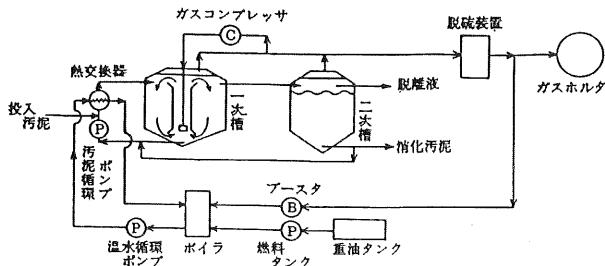


図5-4 消化槽付帯設備の例

拌であったが、腐食等により故障が多かったので、発生ガスを槽内に再び吹き込みガスドラフト効果による、ガス攪拌方式が主流となっている（写真5-3）。

昭和50年代になると発生する下水汚泥の有機分は、それまでの50～60%から70～80%まで増加してきた。森ヶ崎処理場では、生脱水汚泥を埋立地に投棄処分してきたが、有機分の増加により下水道法上で不可能となってきた。そこで有機分を減少させるため、焼却方式か消化方式かのどちらかを決めることが必要となった。森ヶ崎処理場は、羽田空港に隣接し、約15mの高度制限が課せられている。このため焼却炉の排ガスは、大気汚染防止法をクリアするために煙突が必要不可欠であったが、高さ制限で建設が困難となり、消化方式を採用することになった。同処理場は、都内でも最大の処理場であり汚泥の処理量も多い。そこで限られた用地では、消化日数も短く、多量の消化が可能な55℃の加温で、消化日数が9日間の高温消化方式が採用されて昭和55年に稼働している。消化槽は内径28m、有効容量12,000m³（4槽）で、投入汚泥は液体サイクロンで除砂して、槽内の有効容量の向上を図っている。その後、他都市では卵形消化槽を採用しているところもある。

2) 汚泥洗浄装置

消化汚泥には、アルカリ度3,000ppm程度と高くなるため、脱水効果を高めるためアルカリ度200～300ppmの処理水で希釈洗浄する洗浄装置が設置されている。洗浄装置は洗浄槽2槽を組み合わせて効率良く洗浄する2段向流洗浄方式が

採用されてきた。燃料は消化ガスで、補助燃料用として重油も使用できるようになっている。槽内攪拌は、当初は羽根車によるサーキュレータと呼ばれる機械攪拌である。

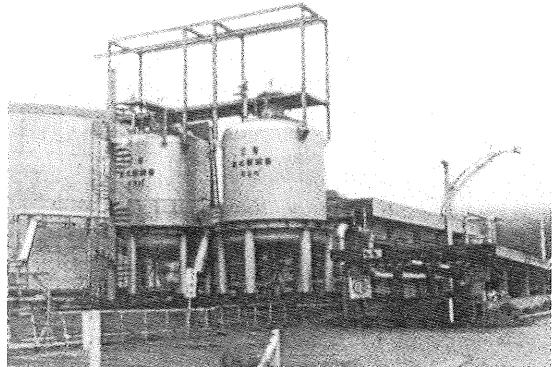


写真5-3 消化槽、脱硫塔、ガスタンク

ある。

5.4 汚泥脱水設備

汚泥の脱水は、汚泥処理・処分の効率性や処理コスト低減、ハンドリングの向上のため、機械的操作因子を加えて、汚泥中の水分を取り除く汚泥処理の基幹プロセスであり、機械脱水が主流を占めている。具体的には、真空ろ過式脱水機、加圧脱水機、遠心脱水機、ベルトプレス脱水機等が普及してきた。

1) 薬品注入装置

汚泥の脱水には、脱水効率を高めるため、汚泥の性状や脱水機種に適応した前処理として汚泥調質の必要がある。代表的なものは、消石灰と塩化第二鉄を組み合わせた無機凝集剤によるものと高分子凝集剤を主体とする有機凝集剤による調質がある。これらの調質を行うのが薬品注入装置である。消石灰は、粉体で注入していたが粉塵対策や注入制御面からミルク状にする等の改善をしてきている。また、高分子凝集剤は、カチオン系が使用されているが、近年多くの高分子が開発されたため2液注入等、色々な改善がされてきている。

2) 真空脱水機

最初の機械脱水機は、昭和33年の砂町下水処理場のし尿処理施設での図5-5に示すようなヤングフィルター型真空脱水機である。下水道に導入されたのは、昭和36年の芝浦下水処理場のろ過面積32m²のオリバー型真空脱水機、12台である。この脱水機は、昭和37年に、砂町、小台の両処理場にも導入されている。当時は、嫌気性消化汚泥をオリバー型真空脱水機で脱水していたが、小台処理場では導入当初から生汚泥による脱水実験が試みられ、昭和38年10月、「比抵抗は消化汚泥とほぼ同じ、汚泥の前洗浄は必要ない。生汚泥に伴う衛生学的問題はない」等の結果が報告され、生汚泥脱水への道を開いている。

オリバー型真空脱水機は、真空発生用ドラム表面のブロックにろ布を直接張り付ける方法で吸引ろ過、脱水を経てスクレッパにより、脱水ケーキを剥離する。このため、ろ布洗浄やろ布交換に難点があった。この点に注目して、次に導入さ

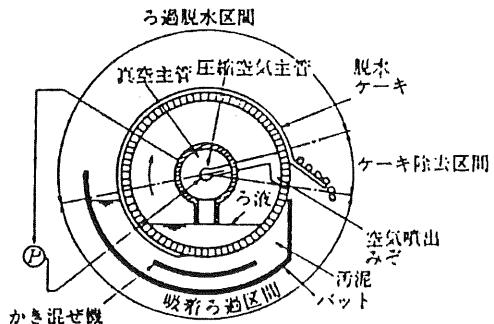


図5-5 オリバー型真空脱水機の例

れたのはエンドレスのろ布をドラムとロールに巻きつけた写真5-4のベルト型真空脱水機である。昭和40年に、浮間処理場にろ過面積32m²のベルト型真空脱水機、6台が採用され、ベルト型真空脱水機の全盛期を迎えていた。当時は自動制御技術も飛躍的に発達した時代であり、ろ布蛇行やろ布表面に発生するしわの防止等々の自動修正技術も数多く取り入れられた。

3) 加圧脱水機

加圧脱水機は、当初、1組のろ板、ろ枠とその内側にろ布を張ったものを1ユニットとする、ろ布固定型で汚泥を圧入、加圧、脱水後に、ろ枠を開き、空気圧によって脱水ケーキを剥離するもので、脱水工程は間欠である。

加圧脱水機が最初に導入されたのは、昭和46年に流域下水道の南多摩処理場で、写真5-5のろ過面積180m²である。本処理場は、家庭排水を主体とした分流式の

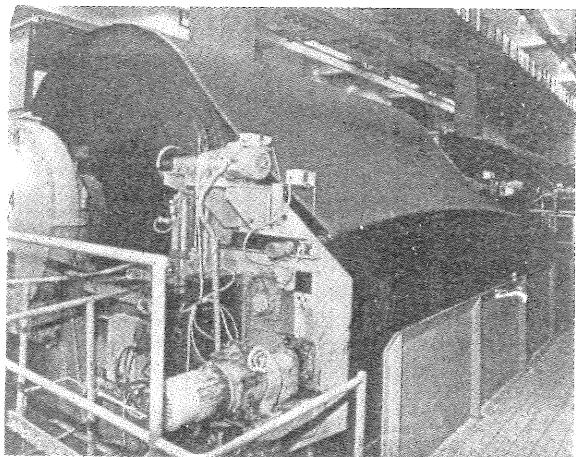


写真5-4 ベルト型真空脱水機の例

処理場で、発生する汚泥も有機分が高く汚泥の脱水性が悪くなることが予測され、脱水機選定の検討が行われた。その結果、難脱水汚泥に対しても脱水ケーキの水分が低く、補機類もなく、維持管理も容易であるとして、加圧脱水機に決定した。しかし、最初の1号機は手がかかるない機種といわれながら、ろ布固定式であったために、汚泥の剥離が悪く維持管理にも難点があった。このため2号機より、ろ布走行式の全自动型が採用され、当初の目的を達している。ろ布走行式全自动型加圧式脱水機は、昭和

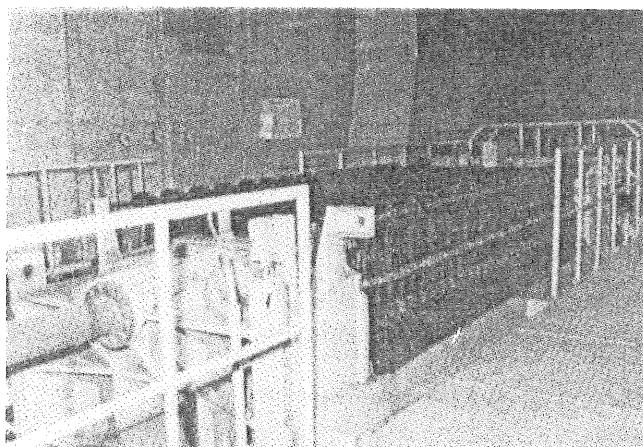


写真5-5 加圧脱水機の例

58

52年に小菅処理場で、ろ過面積98.5m²の加圧脱水機、4台が採用され、65～68%の低含水率の脱水ケーキを生産していた。

4) 遠心脱水機

遠心脱水機は、図5-6のようないわゆる横型遠心分離機で円錐形ソリッドボール、スクリューコンベヤ、流量調整板等で構成された回転体に汚泥を投入し、遠心力で脱水する方法で、脱水ケーキはスクリューコンベヤで機外に搬出される。

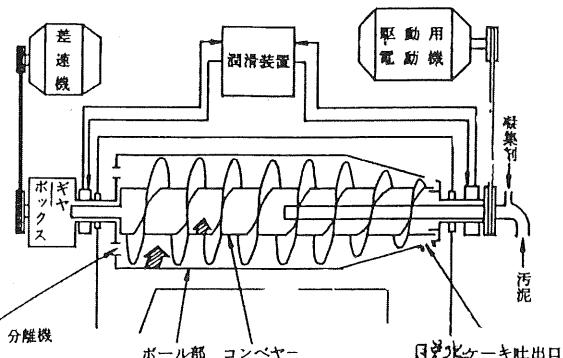


図5-6 遠心脱水機の例

昭和51年に、新河岸処理場で遠心脱水機がはじめて設置された。これはベルト型真空脱水機の更新にあたり、①維持管理や臭気対策が容易で補機類も少なく据付け面積も小さく、②SS回収率が高く汚泥の循環を断ち切ることが期待できること、③昭和49年8月の新河岸処理場焼却灰の六価クロム騒動に伴う調査・検討の結果、焼却時に六価クロムが発生し難くするためには、脱水過程にカルシウム（消石灰）を添加しない汚泥脱水機の設置が必要であったこと等による。

遠心脱水機は、昭和40年代に高分子凝集剤が国産化され産業排水、し尿、上下水道等の汚泥脱水に使われはじめられていた。その主な特徴は、①連続的な脱水ができる、②密閉構造のため臭気対策が容易なこと、③高分子凝集剤を用いることから消石灰、塩化第二鉄等の無機凝集剤を用いる脱水機に比べて薬品注入設備が簡便で発生する焼却灰量が少ないと、④補機が少なく据付け面積が小さいこと、⑤固形分回収率が比較的高いこと等であった。

しかし、欠点は、①高分子凝集剤が高価なこと、②スクリューの摩耗のため耐久時間が短いこと、③汚泥中の夾雜物による閉塞が生じること、④所用動力が大きいこと等であった。その対策としては、高分子凝集剤の使用量を低減するために、薬品注入の機外注入方式から機内注入方式への変更や、運転制御を差速を変化させてトルク値を一定の範囲に収める方法から、運転経験に基づき、トルク値を一定に設定して汚泥性状の変化時に回転数を変える「差速機トルク一定制御装置」を考案して実施している。また、スクリューの摩耗対策は、液体サイクロンによる除砂設備を前処理に設置し、さらにスクリューに超硬質合金を3層に溶

着して硬度を高め、それまでの耐久時間4,000時間から10,000時間に高めた。その後、タンクステンカーバイトタイルのチップ張りとなり、耐久時間も20,000時間以上となってきている。夾雑物による閉塞対策としては、破碎機を前処理に設置して対応した。

導入当初は、各種のトラブル発生もみられたが、最近はそれらもほぼ解消している。さらに、汚泥処理施設の集約化に伴い大型の汚泥脱水機への要望は高く、他の機種に比べ大型化への対応が進み、平成2年には、南部スラッジプラントに処理量50m³/時の大心脱水機、4台が、さらに、平成8年には、東部スラッジプラントに処理量80m³/時、3台が稼働して、維持管理の容易な脱水機として評価されている。

5) ベルトプレス脱水機

ベルトプレス脱水機は、写真5-6のように、2枚のエンドレスろ布を使用してロールの組み合わせによって、重力、圧搾、せん断の各脱水工程で脱水する。昭和52年に、砂町処理場ではオリバー型真空脱水機の更新時期を迎えていた。さらに埋立地対策で脱水ケーキの一層の減量化が求められていた。このような状況で新型脱水機の導入が検討された。当時、汚泥は

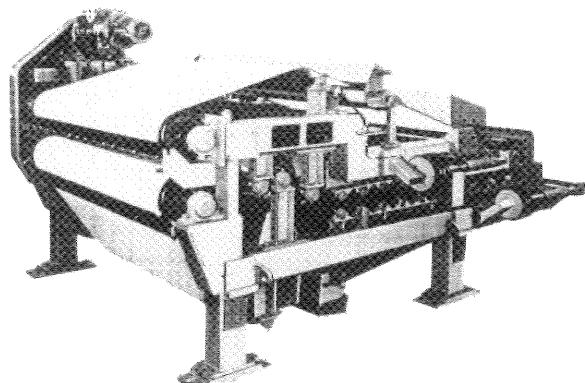


写真5-6 ベルトプレス脱水機の例

難脱水化していたことから無機凝集剤を使用するベルト型真空脱水機や加圧脱水機は、石灰の薬注率も40~50%に増大していたこともあり、脱水ケーキ量の減量、特に焼却灰量の減量化は、限界となっていた。遠心脱水機は、前年新河岸処理場に導入されていたがトラブルが頻発していたこともあり見送られた。ベルトプレス脱水機は、既に産業界で廃水からパルプを回収する等、広く利用され下水汚泥の脱水機としても利用されはじめていた。そこで現地調査を含めて検討の結果、ベルト幅3mのベルトプレス脱水機の採用を決定した。

導入当初の初期トラブルとしては、ペアリングの故障やろ布寿命が予定より大幅に下まわった。そこで、ペアリングを大荷重仕様のものに交換したり、ろ布洗浄水を処理水から砂ろ過水に変更したりして解消した。その後、臭気の発生や金

属部分の腐食が問題になってきた。これはベルトプレス脱水機には、石灰を添加しないため、重力脱水ゾーンに汚泥を直接流し込む過程で、汚泥中の硫化水素ガスが分離放出することが原因であることが判明した。そこで過酸化水素の添加や防食塗料の施工等を行い解決した。

その後、昭和56年～昭和59年にかけ、葛西、芝浦、小台の各処理場に導入し、流域下水道では昭和52年に北多摩1号処理場に、そして多摩川上流、清瀬処理場等にも採用されている。

各処理場の運転経験の積み重ねにより、汚泥に合ったろ布や高分子凝集剤の選定、脱水ケーキ剥離の改善・工夫等が実施された。現在も稼働している小台、葛西の両処理場では、ろ布の寿命が5,000～6,000時間で高分子凝集剤の添加率は0.3～0.4%，脱水ケーキの含水率も78%程度であり、ランニングコストのより一層の低減に努めている。昭和60年代には、高効率ベルトプレス脱水機が開発され、低含水率化等の性能向上が図られている。

5.5 汚泥焼却炉設備

汚泥焼却は、汚泥中の有機物を燃焼させ焼却灰にすることによって、汚泥を画期的に減量する方法である。下水道局の汚泥焼却炉設備の技術的変遷は、多段焼却炉の採用とその大型化、排ガス処理施設の改良と高度化、流動焼却炉の採用と大型化、省エネルギー・創エネルギーの流れである。

汚泥焼却炉の採用にあたり、下水道局に「汚泥焼却炉調査委員会」が設けられ、調査・検討を実施した。昭和41年7月に同委員会より「汚泥焼却炉の調査について」が報告されている。その概要は、じんかい焼却炉を調査した。既存のじんかい焼却炉を汚泥焼却炉に使用するためには、基礎的研究が必要であり、当時の汚泥焼却炉に近似するものと思われるため除外した。汚泥焼却炉には、ロータリーキルン、フラッシュドライヤー、多段焼却炉、ジンメルマンプロセス、流動焼却炉等があり、これらを調査した結果、ロータリーキルン、フラッシュドライヤー、多段炉焼却炉等以外の焼却炉は、わが国に汚泥焼却炉としての実例がなく、運転データによる実績調査ができないため除外された。実績のある3機種については、他都市の現況調査等、さらに調査を進めた結果、操作の確実性及び故障頻度等の総合的見地から多段焼却炉が最も優れていると判断された。

1) 多段焼却炉

多段焼却炉は、鋼板製シェルに耐火材を巻いた10段程度の炉床があり、その中

心にセンターシャフトにラブルアームを取り付けて、炉床ごとに脱水ケーキを搔き寄せて上段から下段へと乾燥、燃焼、冷却させるものである。特徴は、①燃費が少ないとこと、②安定性、柔軟性に富み、過負荷対応に強く運転が容易なこと、③起動・停止に時間がかかることがある（図5-7）。

昭和42年5月に、小台処理場にわが国最大規模の100t／日（8段、外形5.71m、高さ11.58m）の多段焼却炉が稼働した（写真5-7）。その後、この1号炉で運転経験を積み重ね、昭和44年に150t／日の多段焼却炉が砂町処理場に、そして昭和46年に200t／日の多段焼却炉が新河岸処理場に建設された。これらの実績から、数々の新技術の導入や改良が加えられて昭48年8月には、砂町処理場で東洋一の300t／日（12段、外形7.84m、高さ18.37m）の多段焼却炉が運転を開始した。

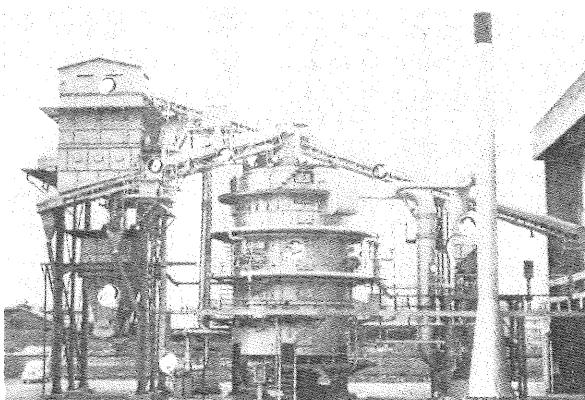


写真5-7 昭和42年稼働の100t／日多段焼却炉

（以下「排ガス」という）処理能力や性能の向上、耐震性能や異常燃焼時における各種安全装置の追加及び性能向上、焼却灰の積み込み・運搬時の「灰カグラ」対策等である。昭和40年代末に、無機凝集剤を使用した脱水ケーキの焼却灰からの六価クロムが社会的問題となり、その対策として乾留操作や低空気操作が採用された。

2) 流動焼却炉

流動焼却炉は、円筒形炉内にけい砂を入れて炉の下部から熱風で炉内を700～

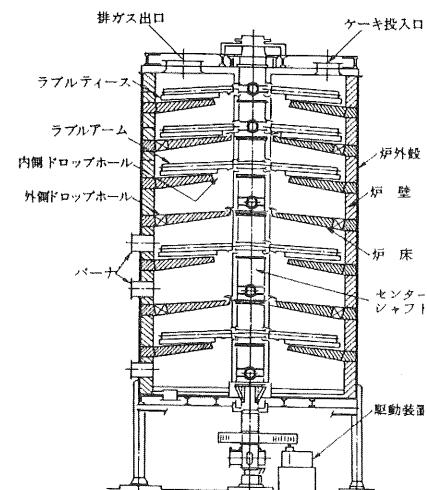


図5-7 多段焼却炉の構造の例

大型化の過程での経験を基に、その主な改善点は、燃焼装置を直たき方式から熱風炉を介した間接たき方式の採用、軸、アーム、テース等の材質や冷却方式等を改良して、耐熱強度の向上、耐火レンガの材質や形状変更等によって、炉内レンガ積み構造物全体の強度を向上、燃焼排気ガス

800°Cの高温流動状態とし、その中に脱水ケーキを投入し、瞬間に乾燥粉碎されて迅速かつ完全に焼却するものである。焼却灰は排ガスとともに排出されてサイクロンで回収する。

流動焼却炉は、昭和48年12月に流域下水道の南多摩処理場で焼却能力20 t／日（内径2 m、高さ7 m）の流動焼却炉が運転を開始した。流動焼却炉は、①炉内に機械部品がなくシンプルな構造であること、②炉出口の排ガス温度が750～800°Cと高温のために発生する臭気が酸化分解されること、③流動砂層の蓄熱容量が大きく間欠運転が容易なこと、④燃焼用空気量が少ないと等、多段焼却炉にない利点がある。

しかし、炉からの排ガスは、高温で多量のエネルギーと灰を含んでいるため、その熱と灰の回収方法に解決しなければならない課題があった。そこで煙突下部の煙突入口には、サイクロンで捕そくされなかつた粉じんを除くため、水噴霧とアルカリ洗浄併用型スクラバーを設けた。さらにスクラバーを通過した排ガスには、多量の水蒸気を含み煙突から白煙がたなびくため、排ガスの熱を一部熱交換器で回収・活用した白煙防止装置を設置した。流動焼却炉設備の全景を写真5-8に示す。

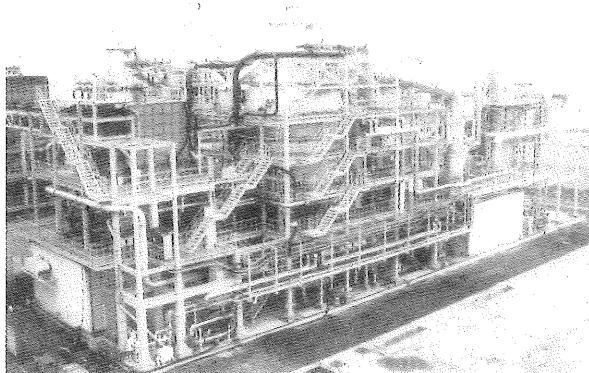


写真5-8 流動焼却炉の例

いで清掃できるようにした。また、将来の脱水効率の向上や汚泥中の有機物含有量の高まり対策として、炉頂散水装置を設けた。さらに流動焼却炉への流動用砂の供給装置も新たに設置した。

昭和54年6月に小菅処理場に区部で初の50 t／日流動焼却炉が稼働した。当該処理場の焼却炉用地は狭く、排ガス処理施設も含めた流動焼却炉施設全体のコンパクト化を実現した最初の施設である。その後流動焼却炉も大型に挑戦してきた。昭和61年3月に新河岸処理場で250 t／日が稼働し、平成3年3月に葛西処理場

昭和49年6月に北多摩1号処理場で焼却能力40 t／日の流動焼却炉が稼働した。炉の規模が南多摩処理場より大きく、熱交換器の構造や補助燃料燃焼用のオイルガンの取り付け位置と個数が再検討され、運転中でもオイルガンを取り出して炉を運転停止しな

で300t／日が稼働して流動焼却炉も300t／日の時代の到来である。

3) 排ガス処理装置

焼却設備の排ガスは、大気汚染防止法等の規制を受ける。排ガス処理装置は、規制の改訂等に対応すべく大きく改善されてきている。昭和48年に稼働した300t／日多段焼却炉の排ガス装置は、スクラバー、水幕式除塵機、ミストセパレータとシンプルなものであった。その後、排ガス規制値の強化に伴い、昭和52年に砂町処理場に完成した150mの煙突や電気集塵機の導入で排ガス対策と同時に、排ガス処理施設の性能・能力の向上が大きく図られている。昭和54年6月に稼働した小菅処理場の流動焼却炉の排ガス処理施設は、図5-8のよう、サイクロ

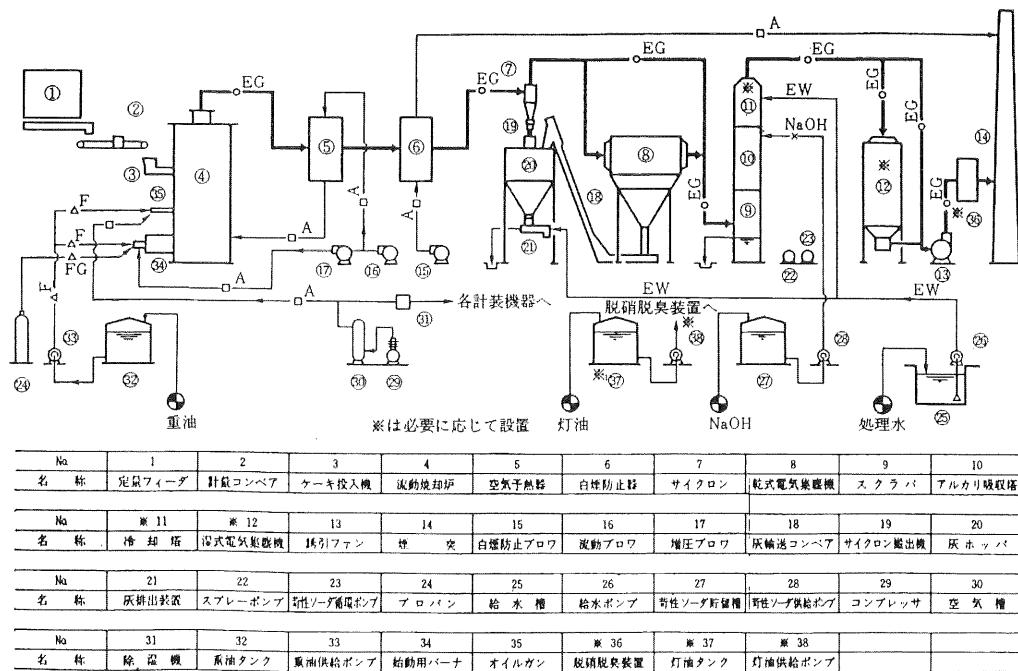


図5-8 流動焼却炉フロートシート

ンの後に乾式電気集塵機、スクラバー、湿式電気集塵機と重装備となり、加えて焼却汚泥が無機凝集剤を用いた加圧脱水機による脱水ケーキであるため、昭和50年から昭和53年に技術開発した脱硝設備も備えていた。

平成9年3月、東部スラッジプラントに完成した処理能力300t／日の流動焼却炉には、これまで進めてきた省エネルギーから一歩進んだ創エネルギーへの道を開いている。これは流動焼却排ガス出口に従来の熱交換器と並列に廃熱ボイラーを設置して高温廃熱により蒸気を発生させ、蒸気タービンにより発電するもの

である。

平成11年3月に南部スラッジプラントに設置された処理能力300t／日の新しいタイプの流動焼却炉には、高価な電気集塵機に代わりバッグフィルターを用いて、性能低下を伴わず建設コストの削減を図った。その構成は熱交換器以降に冷却塔、バッグフィルター、スクラバーと簡略化されてはいるが、ダイオキシン対策にも適合したものである。さらに平成13年3月に南部スラッジプラントの処理能力300t／日の流動焼却炉には、建設コスト削減を実現しつつ排ガス処理性能を向上させたハニカム形のセラミックフィルターを採用している。熱交換器以降は、セラミックフィルターとスクラバーだけで構成されている。従って、これまでの排ガス処理装置に比べて大幅に簡略化され、維持管理も容易になってきている。

5.6 今後の動向

これまでの汚泥処理設備は、それぞれの時代の課題に対して、先人たちの果敢で勇気ある対応、緻密な調査・検討、そして、それらの実証・確認を積み重ねた。このことが下水道局の高い技術水準を支えているものと確信する。

これから汚泥処理設備は、地球環境問題を軸にしてよりグローバルに発展していくものと推測する。また、さらなる高効率化の挑戦、ライフサイクルコストや地球環境を視野にしたトータルコストの低減等の方向へ進んでいる。これらの要請に応え、濃縮技術の大幅な改善、消化技術が今日的にクローズアップアップされているバイオガスとしての有効活用や焼却設備の新たなシステムの確立、地球温暖化防止対策として、ごみと汚泥を一緒に焼却する等、目を見張る技術的進歩が期待される。そして忘れてはならないのは、下水道局の技術者と民間技術者が、時には競い合い、時には協力し合い、切磋琢磨しながら技術向上に貢献してきたことであり、この環境が今後も重要となる。

第6章

資源化設備

6. 1 資源化設備の歩み

東京都区部で処理する下水量は、平成14年度の年間を通じて、概ね日量4,650,000m³の規模になっている。初めて汚水処理を開始した当時の三河島汚水処分場の施設規模は、日量約60,000m³だったのと比べると隔世の感がある。大正11年からの80年間で処理水量や処理技術は、変化してきた。大きく変わったものといえば、技術的な進歩の応援を受けながらではあるが、下水を資源として捉える意識の変化ほど大きなものはない。昭和50年代になって下水道の普及率の向上と大量生産、大量消費、大量廃棄による社会情勢の変化による環境破壊は、下水道の資源化を促進してきた。

下水道の資源化としては、①再生水（処理水）利用、②汚泥の利用、③下水エネルギーの利用、④その他の利用に大きく分類することができる。初步的な資源化は、三河島処理場において、昭和26年より砂ろ過実験を行い、昭和39年8月から水道局南千住浄水場に工業用水として送られて、塩素滅菌等の処理をした後に、墨田区、江東区、荒川区等の工場へ有料（基本料金、1m³あたり25円・基本料金）で供給された。昭和63年度には10,000,000m³の実績となっている。昭和30年代には各処理場で機械の冷却用水及び雑用水にも利用されはじめた。その後、再生水は清流復活用水、防火用水、トイレの水洗用水等に拡大していった。

汚泥は、海洋投棄をしていた歴史がある。昭和10年代後半にエンジンの燃料油が不足したことから船が運航できなくなり、新たな方法として天日乾燥が行われ、乾燥してひび割れた汚泥が肥料として有効に使われていた時期が汚泥の資源化（利用）のはしりである。

下水道の普及率が高まるにつれて、下水汚泥量も増加してきたため、昭和36年

には芝浦処理場に汚泥消化、機械脱水の採用等、新たな汚泥処理プロセスが導入された。翌年には、砂町処理場や小台処理場に同様な汚泥処理プロセスが稼働した。小台処理場で汚泥焼却設備が稼働したのは昭和42年である。汚泥の資源化には、汚泥の脱水及び焼却の技術開発が大きく寄与している。すなわち、脱水・焼却は、汚泥の減量化と運搬の容易化に大きく貢献した。当時、汚泥焼却は、80%も水分を含んだ汚泥を燃やすことについて、一般的な感覚で常識の転換であり画期的であった。それでも増えつづける汚泥のため、処分地は切迫してきたため、資源化に拍車がかかる時代となった。

汚泥処分地の延命化と処分の容易化に向けて、脱水ケーキは、焼却灰と特殊セメントで混練固化するミキシングプラントが昭和53年3月に稼働した。この緊急避難的措置は、資源化のため時間を稼ぐのに有効であった。本格的な汚泥の資源化は、汚泥コンポスト化の技術開発にはじまる。下水道局では、昭和52年の南多摩処理場でのコンポスト化の実験設備の稼働である。昭和58年8月には、焼却灰を原料とした軽量細粒材設備が小台処理場で稼働した。これ以降、汚泥の資源化は、色々のメニューが技術開発されてきている。

昭和48年のオイルショック以来、省エネルギー指向が高まる社会状況で、下水の年間を通しての処理量と温度の安定及びヒートポンプの進歩により、昭和62年に落合処理場で処理水の下水熱を利用した冷暖房設備（下水道局ではアーバンヒートと呼んでいる）が稼働して脚光を浴びたものである。昭和63年6月には、生下水を熱源としたアーバンヒートが湯島ポンプ所で稼働したことによって、アーバンヒートが需要者近くで利用が可能になったことは技術の進歩によるものである。平成4年にはアーバンヒートを利用した地域冷暖房が後楽ポンプ所周辺地域を対象に事業化した。さらに昭和63年には、消化ガス発電設備が小台処理場で稼働した。平成2年に稼働した汚泥の燃料化は資源化の代表の一つであろう。

その他の利用は、施設の上部利用、建設残土の利用、下水管のスペースを活用した光ファイバーケーブルの利用等がある。このように下水の資源化は種々の分野で拡大してきている。しかし、コスト面や社会の要請に合わなくなつたものもあるが、現在でも多くのものが技術開発されておりゼロエミッションや地球温暖化防止、循環型社会の形成等の社会的要請と相まって、さらに充実するであろう。

下水処理の副産物ともいえる資源化は、下水道関係者からは規模が大きく見えても、社会的取引の通念からすれば、需要量を満たせないこともあります、需要があっても、取引が成立しない状況や化学的分析技術の進歩によって有害物質の検出

が可能となり、新たな社会問題へと進む面での注意も必要である。

一方、下水及び汚泥の素材としての価値は少ないので、価値ある資源化にはどうしても高コスト構造になってしまい、市販の資源化製品との競争には、厳しいものがある。資源化は、当初に脚光を浴びたが、その後停滞、あるいは休止しているものもある。しかし、循環型社会が叫ばれている今日、さらなる資源化技術の開発が期待される。

6. 2 処理水の資源化設備

工業用水としての利用は、さらに拡大され、芝浦処理場からJR新幹線の車両洗浄用への供給や、森ヶ崎水処理センターの処理水を大井ふ頭の大井清掃工場へ場内清掃用や焼却灰の冷却用に使用する等で、昭和48年には日量約500m³を供給してきている。平成元年からは日量約1,000m³に増量する等、各方面での需要が多くなってきている（表6-1）。

表6-1 再生水の用途別水質基準

項目		水洗用水	散水用水	修景用水 ^{*1}
基準水質 目標水質	大腸菌群数(個/mL)	10以下	検出されないこと	検出されないこと
	残留塩素(結合)(mg/L)	保持されていること ^{*2}	0.4以上	—
	外観	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
	濁度(度)	—	—	10以下
	BOD(mg/L)	—	—	10以下
	臭気	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
pH		5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6

*1 修景用水とは、住宅団地等において人工的につくられた池、壁泉、小川等に利用する水をいう。

*2 衛生上必要な措置として塩素消毒を行うが、その場合、使用場所に最も近い受水槽付近等における再利用水が残留塩素を保持するよう努めること。

1) 新宿副都心超高層ビル群へ

昭和53年、昭和54年の水不足による制限給水を契機として東京都は、節水型都市づくりを目指して一定規模以上の建築物に雑用水の循環利用を指導しており、新たな高層ビルには、雑用水系と飲料水系の二重配管が行われるようになった。昭和59年10月には、新宿国際ビルの地下4階に、下水処理水の利用施設（水リサイクルセンター）を建設し、新宿副都心超高層ビル群に落合処理場の処理水を砂ろ過及び消毒した再生水を供給したのが、広域循環方式のはじまりである（図6-1）。

広域循環方式とは、ビルで使用した下水を別の場所で処理して、また、再使用することである。開始当初は、供給水圧の変動、残留塩素の未検出、水洗トイレの汚れ等の問題を創意工夫で解決した。昭和62年に落合処理場で450,000m³/日

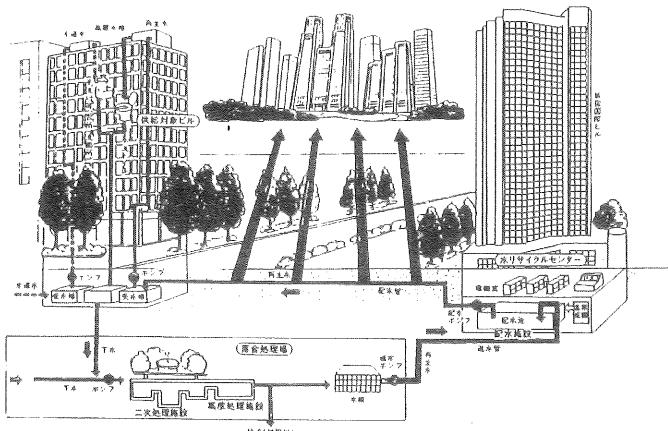


図6-1 広域循環方式

2) 清流復活用水

再生水は、清流復活用水にも利用されている。昭和59年8月に多摩川上流処理場の処理水を利用して写真6-1のように野火止用水の清流は復活した。当時センセーションを巻き起こしたものである。昭和61年8月には玉川上水が、平成元年3月には千川上水が復活した。野火止用水、玉川上水、千川上水は、歴史的に見ると江戸時代に造られた上水路で、飲料水や生活用水、灌漑用水等に利用され、江戸の発展や武蔵野台地の開発に大きな役割を果してきた。

時代が変わり水道の普及により、その使命は終えて一部の区間の暗きよ化や雑排水路と化していた。武蔵野市の水辺として復活した玉川上水、千川上水の全地点で鯉が見られたほか、千川上水ではメダカの姿もあり、期待どおりの清流が蘇っている反面、水が汚れている、臭いがする等の苦情もあった。そこで多摩川上流処理場では、処理水のイメージをさらにアップするため、昭和63年よりPAC(ポリ塩化アルミニウム凝集)注入とオゾンを使った処理の実験をして、色度、りん、臭気等の除去に良好な結果が得られたので、初期の清流復活施設に、このシステムを加えて、課題の解決を図っている。

の急速砂ろ過の高度処理施設が完成して、水質はより安定することになった。詳細は「第4章 高度処理設備」を参照願います。その後、広域循環方式は、西新宿の中野坂上、臨海副都心、品川駅東口地区、大崎地区等に拡大させてきている。



写真6-1 野火止用水

平成7年3月には、都心部の河川である城南三河川（渋谷川・古川、目黒川、呑川）に落合処理場の高度処理水を放流して河川に潤いを与えた。各河川の放流直前で紫外線消毒を採用して生態系の維持に配慮している。また、この送水管を利用して防火用水にも利用できるようにして都市の安全度を高めている。

6. 3 汚泥の資源化設備

汚泥の資源化は、大きく分けて、汚泥（焼却灰含む）を加工してコンポストや建設資材に加工するものと、民間会社に焼却灰を提供して資源化に活用する方法がある。汚泥の資源化には埋立処分地の延命化、自然環境の保全、循環型社会への貢献、下水道事業のPR等の意義がある。具体的対応には、①各都市の事情に適したものであること、②大量の汚泥を処理できる方法であること、③重金属等について充分な安全性を確保した製品・資材であること、④将来的にも安定した需要が見込まれる製品・資材となる方法であること、⑤資源化コストが安いこと等が求められる。

1) コンポスト化（堆肥化）

昔は、よく農家の庭隅などに稲わら、木の葉、雑草等を積み重ねてし尿をかけて、ときどき切り返しを行っていたのを見かけた。これは有機物肥料（堆肥）を自前で作るための発酵過程であった。汚泥には肥効成分である窒素、りん酸等が含まれているため農業に利用することは古くから実施されていた。そのため下水道局は、昭和51年度当初より汚泥の堆肥化実験（1回分100kg程度）に取り組み、発酵を十分に行うための基礎的データの条件、すなわち、汚泥（脱水ケーキ）の含水率、コンポスト返送率、通気量、発酵時間、切り返し回数、汚泥深等を求めた。その結果、コンポスト返送率は約62%，通気量は $0.26\text{m}^3/\text{分}$ 、ベッド、発酵時間は15～20日間、切り返し回数は2回／週、汚泥深は約1.5mという貴重なデータを得た。昭和55年5月に南多摩処理場に図6-2に示したフローシートのコンポスト化施設が稼働した。

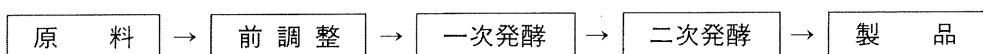


図6-2 コンポスト化基本フローシート

南多摩処理場では、昭和63年度実績で2,200tの脱水ケーキから840tのコンポストを生産し、このうちの780tを出荷していた。コンポストは含水率27.5%，有機分約33.5%，pH7.9であり、有害物質は肥料取締法の規制値をクリヤしてい

る。南多摩処理場で生産されていたコンポストは「南多摩汚泥石灰処理肥料」として、東京都経済農業協同組合連合会から各農業協同組合を通じて、都内の野菜栽培農家を中心に販売・使用されていた。

2) スラジライト（軽量細粒材）

軽量細粒材は、汚泥焼却灰の資源化のため研究・開発されたもので、汚泥焼却灰100%の製品で「スラジライト」と命名された。製品は0.3~5 mmで、市販の軽量細粒材と比較して吸収率8.4~9.2% (15.4~11.1)，ただし（）は市販製品の値を示す。乾燥比重1.57~1.21 (1.64~1.6)，圧縮強度1.7~5.3kg／粒 (1.8~9.73kg／粒) のような物性があり、軽くて丈夫で無害かつ粒がそろっているという特徴を有している。昭和58年から小台処理場内のスラジライトプラントで月産50~70 t (3 t／日) の生産を開始した。用途はろ過材、植樹盆材等の用土のほかに、消防庁からスラジライトを「充填砂とみなしてさしつかえない」と保証されたので、危険物地下タンクの充填材、軽量ブロック等多く使われている。

スラジライトは、頁岩の成分に類似した高分子凝集剤を使用した脱水ケーキの焼却灰を原料として図6-3に示すフローシートで製造される。ポイントは、軽くするためアルコール廃液をバインダーとして混合し造粒して焼成する。材料は1,100~1,150°Cに急加熱して一挙に材料内部にガスを発生させる。ガス発生と発泡

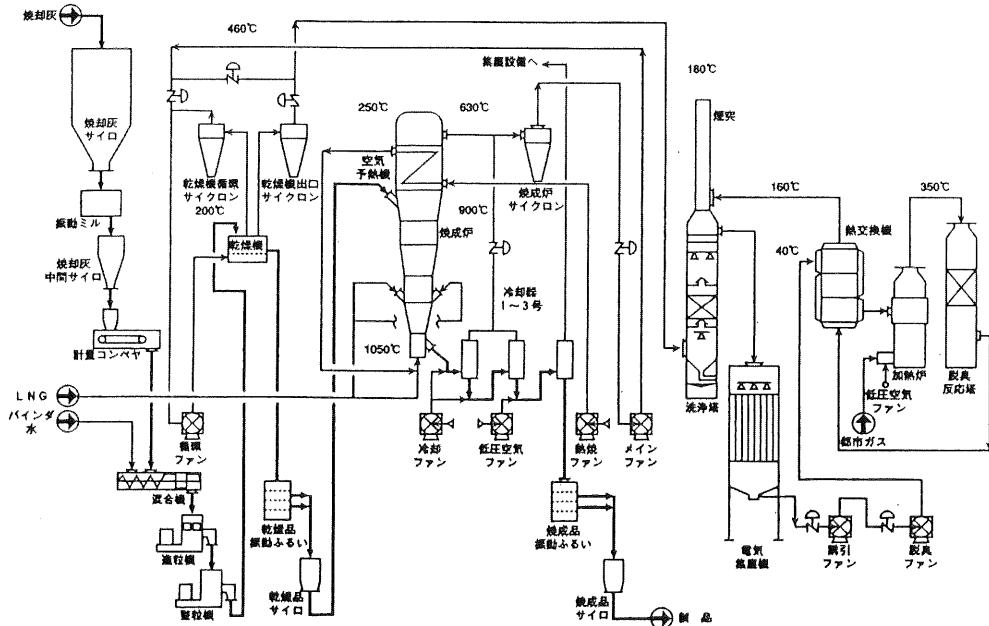


図6-3 スラジライトフローシート

の条件は表面が半溶融しなければならないが、半溶融状態だと粒がくっつき易いので、激しく動かす必要がある。炉には多段噴流炉を使用して材料を対流させ熱ガスと向流させて熱効率の向上を図っている。昭和61年に都市高速道路王子線が小台処理場用地の一部を通過するため、軽量細粒材化施設は撤去され、小台処理場から南部汚泥処理プラントへ移設されて平成8年4月から新たに稼働している。

3) 汚泥燃料化システム

汚泥燃料化システムは、既存のCGプロセスを応用したもので、パイロットプラントの実験結果を踏まえて、昭和61年に建設に着手して平成2年3月に南部スマッシュプラントで稼働した。汚泥燃料化システムは、高分子凝集剤を使用した脱水ケーキの発熱量約4,000～5,000kcalの可燃分に着目して、汚泥の減量化と燃料化を図ったものである。

このシステムは、汚泥燃料 (Sludge, Fuel) の頭文字をとって「SFシステム」と命名されている。システムの心臓部は、図6-4に示すように多重効用蒸発缶である。

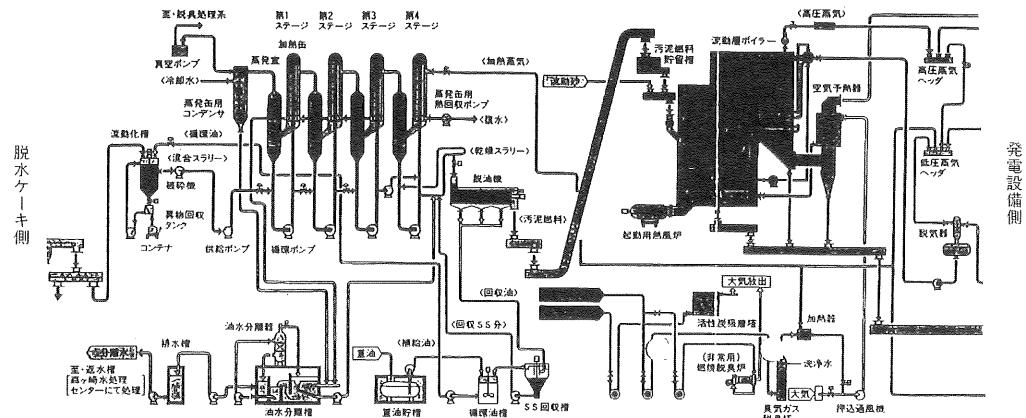


図6-4 汚泥燃料化システムフローシート

る。これは含水率80%の脱水ケーキに重油を添加して、多重効用蒸発缶の伝熱管にスケールが付着しないように流動性を良くしている。真空状態の多重効用蒸発缶は、蒸発管の圧力が減少するほど水の沸点が低くなることを利用して一定量の加熱蒸気で効率良く水分のほとんどを除去する。添加した重油は、脱油機（スクリュー式高压プレス）で絞り取って、低品位の石炭程度のカロリー（4,000kcal/kg, 重油分9%, 固形分87%, 水分4%程度）を有する汚泥燃料を生産する。回収した重油はSS回収槽でSS分を分離して、それをスラリー槽に戻して固形分回収率を高めている。SS分を除去した重油は循環油槽に集められ、循環油として流動化槽へ

送られて再利用される。製造した汚泥燃料は流動層ボイラーで燃焼させる。流動層ボイラーは、高温高圧の蒸気を作り加熱用として使用するほかに、抽気復水蒸気タービンで発電機を回転させ発電するシステムである。

稼働直後の課題は、事前の脱水ケーキと重油の混合、乾燥ケーキからの重油分離、蒸発管の摩耗対策等であった。施設の処理能力は、脱水ケーキ250 t／日で約50 t／日の汚泥燃料を生産して1,700kWの電力を発電する。付帯設備の概要は次のとおりである。

①流動層ボイラー

流動層ボイラーは、汚泥燃料を効率的に燃焼させて蒸気を発生させるもので排ガスは、フリーボード部で適正な温度と滞留時間を取りることにより、臭気成分や一酸化炭素(CO)及びシアン化水素(HCN)の分解が可能で公害を発生しないようとしてある。

②蒸気タービン

蒸気タービンは、蒸気の一部をタービン中段から抽気する抽気復水型タービンで、その蒸気も乾燥工程での加熱蒸気として利用している。

③発電設備

発電機は三相交流同期発電機で6,000V, 50Hzである。発電した電力は場内で使用している。表6-2に汚泥燃料化施設物質収支を示す。なお、本システムは現在休止している。

表6-2 下水道汚泥燃料化施設物質収支

脱水ケーキ	循環油	混合スラリー	乾燥スラリー	乾燥ケーキ	焼却灰	排ガス	高圧蒸気	分解水	捕給油
10,417kg/h 含水率-80%	16,009kg/h	26,426kg/h	18,189kg/h	2,396kg/h 含水率-4% 4,040kcal/kg	640kg/h	22,469Nm ³ /h	11,700kg/h 圧力-40kg/cm ²	8,237kg/h	217kg/h A重油

4) メトロレンガ施設

焼却灰を廃棄物として捨てることから資源として活用する。こうした視点に立って、軽量細粒材に統一して下水道局が採用したものは、焼却灰からのインターロッキングレンガの製品化である。焼却灰の非常に細かな粉末粒子をシリンドー容器に入れて、大きな力で圧縮すると、分子が変形や破壊によって相互に絡み合い、分子間に結合力が働き成形される。この成形体を高温で焼成すると灰の組成分子が溶融して結合する。

インターロッキングレンガ技術は、この原理を応用したもので、図6-5に示すように焼却灰を金型に入れ、約1t/cm²の圧力で圧縮成形して都市ガスを燃

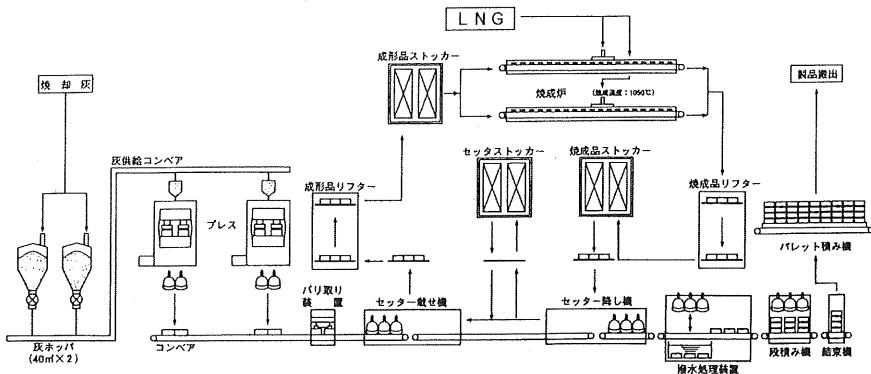


図6-5 メトロレンガフローシート

料とした焼成炉（ローラハースキルン）で約1,000～1,200°Cの温度で8～9時間焼成し、レンガを連続的に造る技術である。平成3年7月に南部スラッジプラントに、平成5年4月に北多摩1号処理場に焼却灰で各々処理量10t／日の施設が稼働した。下水道局では、このレンガを「メトロレンガ」と呼んでいる。焼却灰を圧縮・焼成することにより、容積は約4分の1に減容化する。製品には、基本型、1型、花型の3種類がある。1tの焼却灰を全量利用してインターロッキングレンガ（10×20×6cm）を300個生産できる。

デモンストレーション用としては日本ビル中央玄関前に敷設した面積が36m²で、6tの焼却灰を使用している。この量は、脱水ケーキ量で108t、約160,000m³の規模の処理場に相当する。梅田ポンプ所場内での使用では「アピール下水道」の一環として建設省モデル事業に指定された。

メトロレンガをポンプ所の場内に使用することは、汚泥の資源化、再利用及び地球環境への配慮から見て大いに意義がある。梅田ポンプ所においては、約120,000個のメトロレンガを場内道路、門柱、花壇等に使用している。場内道路には、1型のメトロレンガを敷き詰めて公園を思わせる暖かみのある舗装となっている。

レンガの色調は、焼却灰の中に含まれている鉄分やマンガンの含有率によって赤みがかったり黒みがかったりするため、各処理場の焼却灰ごとに製品の色は違ってくる。メトロレンガの耐摩耗性、曲げの強さ、圧縮強さ及び滑り抵抗は市販のレンガのそれより優れている。しかし、メトロレンガの毛細管現象により、表面に水が湧き出て冬場の外気の低下に伴い表面凍結する問題が当初発生したが、低吸水率レンガを作成し、表面にシリコンを塗布して解決した。

設備は灰供給装置、成形装置、成形品搬送装置、焼成炉、焼成品搬送装置、包装装置等により構成されている。主な設備の概要は次のとおりである。

①圧縮成形装置（圧縮圧力600 t／基×2基）

圧縮成形装置は、焼却灰をレンガの形に約1t/cm²の圧力で圧縮成形するもので、成形体に空気が混入しない特徴を持つプレス装置を採用している。

②焼成装置（全長約35m）

焼成装置は、プレスされた成形体をローラハースキルン形の連続炉で約1,050°Cの温度で焼成する。成形体は炉内の乾燥・焼成・徐冷の各ゾーンを約8時間かけて移動して、レンガに生まれ変わる。

③搬送・梱包装置（一式）

圧縮成形体と焼成レンガは、ベルト及びローラーコンベヤで搬送し、チェックエアシリングを採用した自動機械で梱包を行っている。

5) 汚泥溶融システム

汚泥溶融システムは、脱水ケーキを高温で燃焼させることによって、汚泥中の無機分を溶融させ冷却後スラグとして取り出すものである。溶融化技術により、焼却灰の一層の減容化と安定化を図ることができる。溶融方式には、表面溶融方式、コークスベッド溶融方式、旋回溶融方式、アーク溶融方式等がある。下水道局では昭和54年以来、数々の基礎調査を経て旋回溶融方式に決めた。昭和58年～昭和60年のパイロットプラントの実験結果に基づき、平成3年10月に南部スラッジプラントで実施設が稼働した。

本施設では、図6-6に示すように脱水ケーキを水蒸気乾燥機で水分20%程度に乾燥させた後、熱風粉碎機を用いて水分10%以下に乾燥・粉碎する。粉碎された脱水ケーキは、排ガスとともにバッグフィルターで分離捕捉後に100μmの微

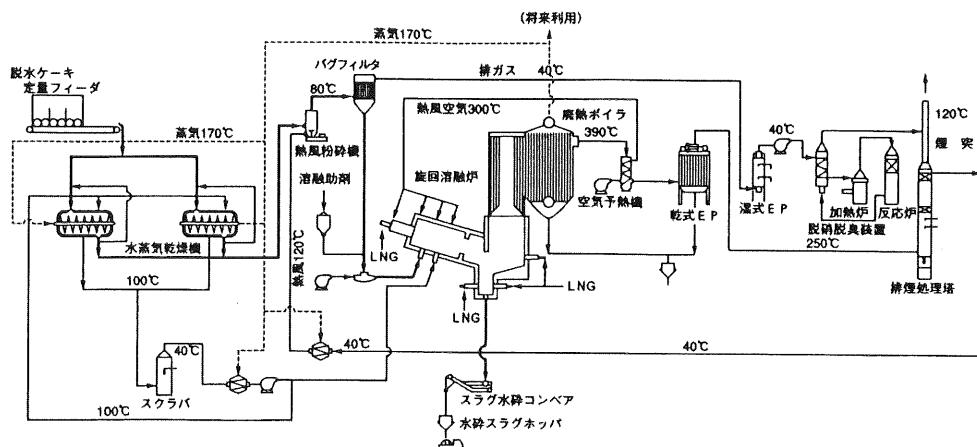


図6-6 汚泥溶融システムフローシート

細にして旋回溶融炉へ空気輸送され、1,400～1,500℃に加熱して有機分を燃焼させると同時に、無機分を溶融スラグ化する。溶融スラグは、水中で急冷する水碎スラグと大気中で徐冷する結晶化スラグとがある。旋回溶融炉から発生する排ガスは、廃熱ボイラー、空気予熱機で熱回収後に排ガスとして放送出する。廃熱ボイラーで加温された空気は、水蒸気乾燥機の熱源として有効利用する。熱風乾燥機は、旋回溶融炉発生排ガスを脱硫後、100～150℃に昇温して下部から吹き上げて乾燥しながらハンマーで粉碎する。旋回溶融炉は、炉壁の高温と焼却灰による損傷対策が重要である。施設の処理能力は、脱水ケーキ160t／日でスラグ製造量は、約10t／日で、16分の1に減容化される。透水性ブロック材、道路路盤材等に利用されていたが、今日では休止している。

6) 結晶化ガラス

溶融技術の応用として、結晶化ガラスを製造する技術を下水道局で確立している。これは焼却灰と副資材を調合した原料を1,400～1,450℃の高温で1～2時間かけて溶融・均質化した後、成形、冷却して一度ガラスにする。このガラスを旋回溶融炉の排ガスを利用して再加熱して均一に結晶を析出する。製品は、圧縮・曲げ強度、耐酸性、耐熱性、光沢等に優れている。下水道局で実施設は建設されていない。

7) 焼却灰等を民間企業に提供して資材化

焼却灰や溶融スラグを民間企業に提供して、資源化の材料として有効活用している。焼却灰は石灰系焼却灰と高分子系焼却灰とで特性が異なるため、用途も若干異なっている。石灰系焼却灰は路盤材や土質改良材に利用されている。近年、脱水助剤に高分子凝集材を使用した脱水システムが多くなってきている。一方、高分子系焼却灰は、コンクリート二次製品として、早くからレンガ、タイル、陶管、ヒューム管、軽量骨材等に使用されている。

民間企業での資源化には、マーケット戦略、販売手法等のノウハウを有効に活用できる。一方行政側は、廃棄物から有価物となり、資源化に利用される利点がある反面、需要の安定性にリスクを伴う面がある。大量に利用されている点では、セメントの原料としての資源化がある。セメントの原料は、石灰石、粘土、シリカ、鉄分等で構成されている。汚泥焼却灰は、 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 等を主成分として粘土に近い成分でありセメント原料に利用できる。

下水道局では、昭和60年より人工軽量骨材の原料として民間企業に焼却灰を提供している。平成9年度の実績は約5,000tを処理している。また、平成10年よ

りセメント原料として民間企業と提携をしている。

6.4 下水エネルギーの利用設備

下水には多くの未利用エネルギーが存在している。下水及び汚泥の潜熱、消化ガス、焼却炉の廃熱、小水力落差等である。

1) アーバンヒート

都市排熱を含んだ下水は、温度レベルが低いため、これまであまり注目されてこなかったが、石油危機以来の省エネルギー指向とヒートポンプの技術的進歩により、熱として取り出して利用することが可能となった。ヒートポンプの原理を図6-7と写真6-2に示す。下水に導入するに当たり、①下水処理水に対して

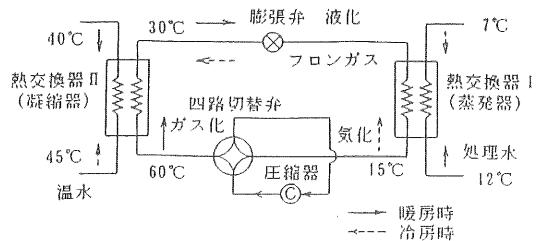


図6-7 ヒートポンプの原理

長期間使用に耐える熱交換器材料としてりん脱酸銅管の選定、②熱交換器へのスケールスライムの付着防止の検討、③冬期の下水処理水温度の一時的低下への対応等を検討調査の上、昭和62年1月に落合処理場に処理水を利用した冷暖房システムが稼働した。このシステムはアーバンヒート(Urban Heat)と名付けられている。

アーバンヒートは、処理水を熱源としてヒートポンプの熱効率を高めて温水、または冷水を作り、各部屋のファンコイルユニットへ送水して暖冷房を行う方式である。冬場対策としては安全のため、補助ボイラーを設置して熱源である処理水を加温できるようになっている。設備の規模は次のとおりである。

- ①空調対象建物 : 落合処理場管理棟
- ②空調面積 : 2,270.7m²
- ③空調能力 : 暖房時498,000kcal／時

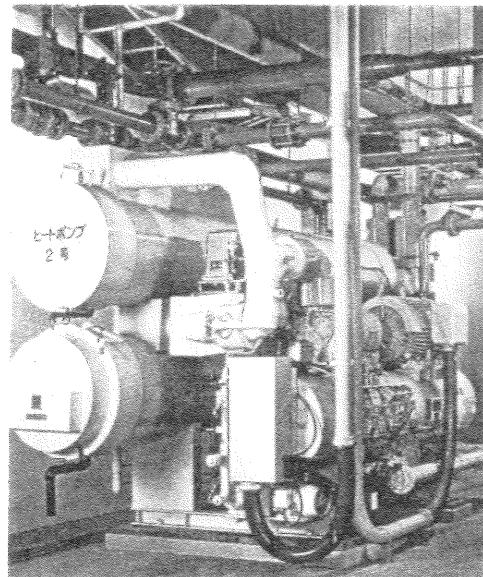


写真6-2 ヒートポンプ

冷房時530,000kcal／時，(176USRT)

④使用処理水量：約1,000m³／日

アーバンヒートは，①安定した下水の供給量と温度の有利性，②危険物の減量，③大気汚染と都市過熱化の防止，④維持管理費の削減等の特徴がある。

昭和63年4月には，流入下水を熱源としたアーバンヒートが湯島ポンプ所で稼働した。本システムでは，流入下水を熱源としたため下水の取り入れに極細スクリーンの設置等の工夫をしている以外は，基本的に処理水のヒートポンプと同じである。湯島ポンプ所で冷水の一部は，ディーゼル発電機の冷却用に使用している。この技術を持って下水道局は，後楽ポンプ所に大型ヒートポンプを設置して後楽一丁目の地域冷暖房事業をはじめた。平成4年5月に東京下水道エネルギー(株)を設立した。その後，処理場及びポンプ所に設置したアーバンヒートは，平成12年3月現在12ヵ所となっている。また，アーバンヒートの熱源にヒートポンプの代わりにガス吸収冷温水機を採用したものがある。これは水と吸収液(臭化リチウム)の科学的性質を使い蒸発器，吸収器，再生器，凝縮器で構成されている。ガスは臭化リチウムを再使用する際に加熱の熱源とする。平成14年にガス吸収冷温水機を採用したプラントが新砂3丁目地域冷暖房事業として稼働している。

本プラントの温水は汚泥焼却炉の洗煙水を用いている。

2) 消化ガスの熱利用

芝浦処理場では，汚泥処理過程から発生する消化ガスを利用した脱臭設備と冷暖房設備を行っていた。この2つの設備は，汚泥処理工場に設置したもので脱水機室や屋外での臭気も大幅に改善するとともに，既設の脱臭施設の薬品消費量が削減される等，経済的な効果も出ていた。冷暖房設備の稼働によって電力費の節減と，より快適な職場環境の向上が達成された。

消化ガスは，消化タンクの加温用熱源として使用しても，なお多量に余剰分が生じていた。余剰ガスは季節変動があるが，概ね7,000～12,000Nm³／日程度で冬場に少なく夏に多い傾向がある。消化ガスの含有成分は，メタン約60%，二酸化炭素約40%，平均発熱量は5,000kcal／m³の熱量を有している。

一方，消化ガス発電は昭和48年の第一次石油ショック以来，省資源・省エネルギー，創エネルギー等各種の施策が唱えられ，その一例として，昭和63年9月に小台処理場の消化ガス発電設備が稼働した。更新された汚泥焼却炉と汚泥脱水機の機種の変更により，脱水ケーキを自燃させることができるように熱回収技術の確立が加わって，発電のガスエンジンの排ガス廃熱を消化槽(5,000m³ × 8

槽) の加温に利用することが可能になった。消化槽を設置した時には、外国の例から消化ガス発電スペースが確保されていた。この26年間に日本の食生活が向上して、発電できるようになったのは感無量の思いがする。

従来、消化槽加温用と焼却炉の助燃用として利用してきた消化ガスの全量を新たな施設に利用できるようになった。これにより脱水ケーキ→焼却炉の廃熱→消化槽加温→消化ガス→発電という変換が完成して創エネルギーが実現した。当設備は、発電機を3台設置して電気事業法で定める常用発電所扱いで契約電力と電力費用の節減効果を図ることができた。設備概要及び主要機器を表6-3に、フ

表6-3 設備概要と主要機器

公称能力	定格出力680kW×3台
主 燃 料	消化ガス(低位発熱量5,400kcal/Nm ³) 8,600kcal/日・台
補助燃料	都市ガス(13A)
稼働時間	24時間連続運転
運転方法	商用電源並列運転
ガスエンジン	電気着火式、水冷4サイクル、無過給エンジン、1,100PS・1,030rpm、圧縮空氣始動、V列16気筒密閉強制注油式発電機3台
	横軸保護防滴自由通風かご形三相誘導発電機、連続、F種680kW
脱硝装置	3台
	NOx120ppm以下(O ₂ 12%換算)、三元触媒、ハニカム式

ローシートを図

6-8に示す。

本設備の特徴は、商用電源と並列運転が可能で消化ガスの季節変動に対して安定した発電ができるように、都市ガスを希釈して消化ガスに混入させている

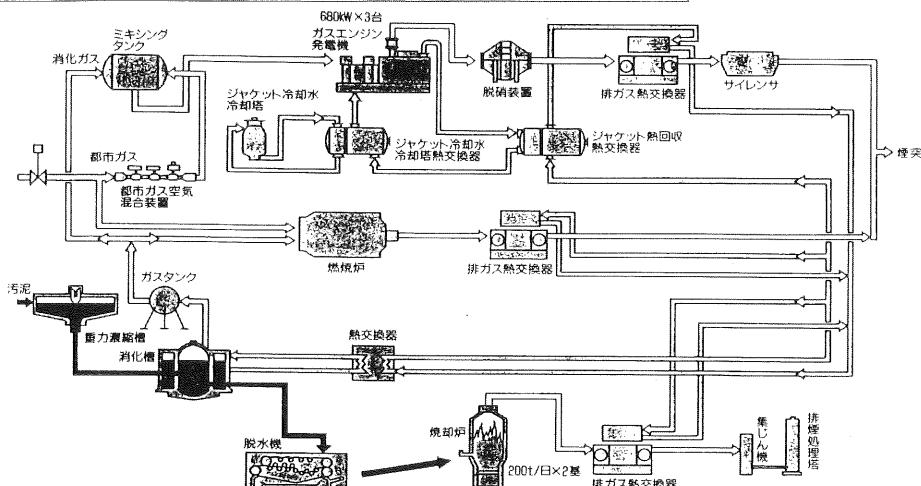


図6-8 消化ガス発電フローシート

ことである。なお、平成9年には消化ガスを利用して燃料電池で発電している都市もある。

3) 汚泥焼却廃熱回収蒸気発電設備

汚泥焼却炉の廃熱は、余熱空気の加温用や脱水ケーキの乾燥用等に用いられてきたが、汚泥の低位発热量の増加と汚泥脱水技術の向上により、汚泥焼却炉で自燃が可能で、以前にまして大量の廃熱が出るようになった。これを活用するため流動焼却炉と廃熱ボイラーを組み合わせた廃熱回収蒸気発電設備は、平成9年4月に東部スラッジプラントで稼働した。この設備は単基でわが国最大のものである。設備のフローシート及び機器仕様を図6-9及び表6-4に示す。

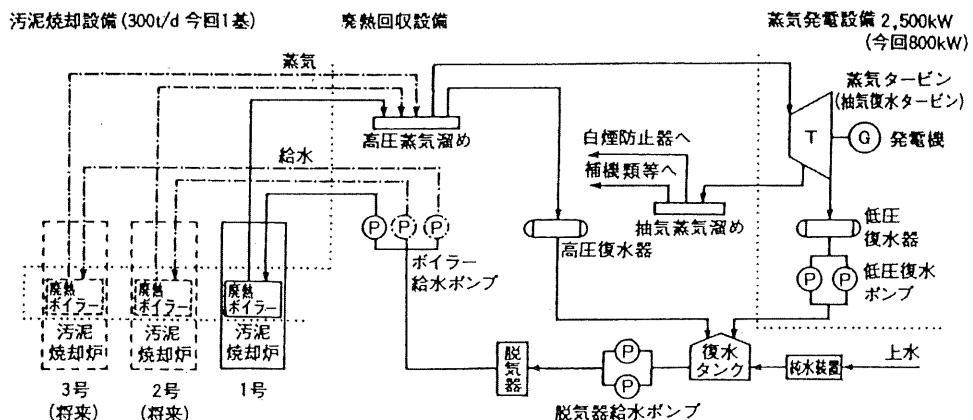


図6-9 廃熱回収蒸気発電フローシート

表6-4 主要機器仕様

機器名称	数量	仕 様
汚泥焼却炉	1基	流動焼却炉 处理量：300t/d, 燃焼温度：約830°C, 空気比：1.3
廃熱ボイラー	1基	蒸気発生量 常用：6.8t/h, 最大：10.3t/h
蒸気タービン	1基	抽気復水タービン 出力：2,500kW
発電機	1基	空冷式 出力：2,500kW (今回認可出力：800kW)
低圧復水器	1基	水冷シェルアンドチューブ式 处理量：15t/h, 圧力：0.15ata (絶対気圧)
高圧復水器	1基	水冷シェルアンドチューブ式 处理量：40t/h
ボイラー給水ポンプ	2台	横軸多段ポンプ 吐出圧力：38kgf/cm ²
低圧復水ポンプ	2台	横軸渦巻ポンプ 揚程：50m
備 考		数量は今回工事分を示す

本設備は、焼却炉3基の廃熱合計で2,500kW(第1期は800kW)の発電を行う。本設備の特徴は、①廃熱回収システムの導入、②抽気復水タービンの採用である。メリットは、①所内動力の自給、②ヒートアイランドの抑制効果、③CO₂の削減効果等である。一方、将来の課題は図6-10に示すように、まだ廃熱エネルギー

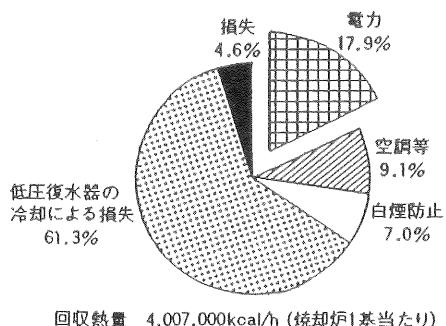


図6-10 回収熱量の利用割合

の61.3%が捨てられているので、熱効率を上げる必要がある。なお、平成13年4月には焼却炉3台が稼働した。

6. 5 その他の利用

その他の利用としての代表的なものとしては、処理場やポンプ所施設の上部利用、設備に関係があるものとして

建設残土改良プラントと光ファイバーケーブル敷設が画期的なものである。

1) 建設残土改良プラント

建設残土は、下水道管を敷設する際に余剰土として発生するが、そのままでは含水率が40%と高い上、粘土が混じっているので再利用できない場合が多い。そこで残土を粉碎して生石灰（平均配合率3%）を加えて最大粒径13mm以下に改良し、埋め戻しに使用するための建設残土改良プラントが中川処理場内で昭和63年7月に稼働した。処理能力は150t／日である。建設残土改良プラントは処分地の負担の軽減、山砂採取地の環境保全、山砂や発生土の運搬車両の減少等効果があり、建設残土処分問題の解決の切り札として登場した。なお、本プラントはリニューアルして平成15年3月に再オープンした。

2) 光ファイバーケーブルの敷設

自然流下を原則として使用している下水道管の頂部は、空間として存在している。この空間を利用することで通信施設構築の費用を軽減できると同時に、光ファイバーケーブル敷設工事に対する制約を大幅に解除できる。下水道管に光ファイバーケーブルを敷設して利用したのは昭和61年6月に、梅田ポンプ所に流入幹線水位を表示したのが最初である。

下水道局、東京都下水道サービス株式会社、民間企業と共同開発した小口径下水道管きょに光ファイバーケーブルを敷設するロボットの試作機が完成したのは、昭和62年1月である。ロボットの完成で下水道管きょに光ファイバーケーブルを敷設する方向が一挙に高まった。ロボットの特許は、外国特許も取得しており、外国企業が利用している。このロボットを用いて平成元年に後楽ポンプ所と湯島ポンプ所間の2,640mにおいて、光ファイバーケーブルを下水道管頂部に固定して敷設した。敷設した光ファイバーケーブルを用いて、後楽ポンプ所から湯島ポンプ所を遠方監視している。ロボットで敷設する下水道管は、内径250mmから700mmまで

あり、管種には陶管、ヒューム管等に使用できる。平成8年の下水道法の改正により国、地方公共団体、通信事業者が下水道管きょに光ファイバーケーブルを敷設できるようになった。写真6-3に光ファイバーケーブル敷設口ボットを示す。下水道局は、「下水道構想2001」で従来の敷設予定距離を800から1,200kmに拡大した。平成13年度で既に600kmを敷設して民間企業への貸し出しやソフトプランに有効活用されている。

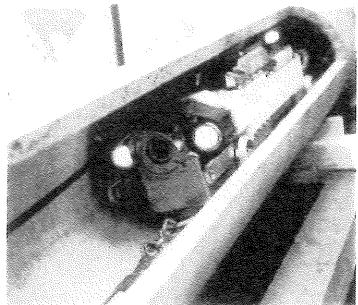


写真6-3 光ファイバーケーブル
敷設口ボット

6. 6 今後の動向

資源化技術の歴史は、短くかつ社会的状況に影響されながら、昭和50年代から本格的に技術開発がなされ色々のメニューが実用化してきている。従来、下水道は、普及に大きなエネルギーが使われてきた。その中でも、汚泥の処理・処分は大きな課題であったが、下水道局では平成15年度に脱水ケーキの100%焼却が達成され、減量化面では、大きく前進するであろう。地球環境保全を考えるとゼロエミッションや地球温暖化防止は、待ったなしである。さらに下水道事業を取り巻く厳しい財政状況の今日、資源化の方向も転換点を迎えている。例えば、PFI事業による資源化の推進や新たな技術開発が求められている。このような状況で下水道局は、PFIによる消化ガス発電事業の実施、焼却灰を粉碎処理して粒度を調整して利用し易いようにした粒度調整灰施設の建設、アスファルトフィラーへの需要拡大等を実施している。また、再生水では従来の急速砂ろ過を発展させたオゾン耐性膜ろ過設備の開発・実用化を図っている。これらの状況を鑑み、環境に配慮し、持続可能なシステムとするために省エネルギーを進め、下水道の健全な発展のためには、経済的にも安価でなくてはならない。汚泥処理を物理的な側面から見ると、発掘するところは、掘り尽くしたという感じはあるが、常に、社会の動向を敏感に反映させるための努力が素晴らしい資源化設備を醸成されていくであろう。

第7章

脱臭設備

7.1 脱臭設備の歩み

下水処理施設の長い歴史にも関わらず、悪臭対策が遅れた要因は、都市施設の中でし尿処理施設、ごみ焼却炉、火葬場等からの臭気の方が下水処理施設よりもはるかに苦情が多く、かつ深刻であったためである。また、わが国の下水道の整備水準が低かったために、関係者の努力が一刻も早く整備水準を高める方向で進み、悪臭対策まで手が回らなかったことも一因となっている。

昭和30年代に入り、高度経済成長と東京への機能集中に伴い公害が発生し、河川や海などの水質汚染が進行し、住民の下水処理施設自体のイメージに対する抵抗感と悪臭や汚泥焼却とともに重金属性等の2次公害への不安感、さらに住民の公害意識の向上とあいまって下水処理施設建設反対や悪臭に対する苦情が増加しはじめた。

臭気発生源であるポンプ所・処理場が、近接する住民にとって迷惑施設ではなく、周辺環境と調和し親しまれる施設としていくために、周辺環境や作業環境の改善を行う必要性が求められた。昭和40年代に入り本格的に悪臭対策に取り組みはじめた。

一方、悪臭に対する規制は、昭和42年に制定された公害対策基本法で大気汚染、水質汚濁、土壤汚染、騒音、振動、地盤沈下とともに典型7公害として定められた。東京都は昭和52年に東京都公害防止条例（現：都民と健康と安全を確保する環境に関する条例）を改正し、新たに臭気濃度（三点比較式臭袋法）を加え、指定区域ごとに悪臭に対する規制強化を図ってきている。

下水道局の臭気対策の変遷は、昭和41年のマスキング法（スクラバー式）による志茂ポンプ所の脱臭設備がはじまりである。臭気をスクラバーに導き、水道水

で稀釀した芳香剤でマスキングして大気に開放するもので、あくまでも臭気を芳香剤の匂いで代替えさせるもので本格的な脱臭設備とはいえたかった。

昭和43年には清掃局からの受託事業である砂町処理場のし尿処理において、し尿消化槽の調整槽・スクリーン室等からの臭気を水道水で吸收させ、水道水で吸収できない臭気は酸+アルカリの2液で臭気成分を吸収する本格的な脱臭設備が稼働した。

昭和45年にはオゾン脱臭が湯島ポンプ所ではじまったが、トラブルが続き短期間で運転停止となった。この年、落合処理場の水処理施設において、下水道局では初めての脱臭効果に優れメンテナンスが容易な、ヤシガラ活性炭吸着法による脱臭設備が稼働した。

昭和51年に森ヶ崎水処理センター汚泥処理工場の除砂設備系臭気を対象に、土壤中に生息する微生物により、臭気を浄化させる土壤脱臭設備が導入された。昭和51年から東雲ポンプ所で、2液洗浄（酸+アルカリ）+活性炭吸着法による組み合わせ方式が沈砂池臭気の脱臭に、どのような効果を持つかという実験がはじまつた。この調査では、脱臭効果、吸収塔の液ガス比、pH、スプレーサイズ、スプレー量等の最適化、活性炭の寿命、臭気成分除去率等を追跡調査し、活性炭を加えることにより脱臭効果が高くなることが判明した。昭和52年には、流域の北多摩一号処理場の水処理施設で、薬液洗浄法（酸、アルカリ、次亜塩素酸ソーダ）+活性炭吸着法の組み合わせ方式が運転を開始した。

昭和50年代中頃からヤシガラ活性炭に代わり、活性炭の吸着力を高めた添着炭吸着法（酸性用+塩基用+中性用）が使われはじめた。昭和61年には下水道局技術管理委員会臭気対策専門部会から「下水道脱臭技術調査報告書」の成果品が提出され、初めて脱臭技術のマニュアル化が図られた。

昭和60年に、微生物の働きによって臭気成分を分解する生物脱臭装置の開発に取り組み、装置のメインである担体の選定調査では、ピート充填式、PVA粒子充填式、セラミック粒子充填式、木炭充填式、樹脂系充填式の担体が評価された。これらの調査に基づき、平成元年に森ヶ崎水処理センター汚泥処理工場の洗浄槽用の脱臭設備として、生物脱臭設備が稼働した。

最新の脱臭方式では、平成11年にヨウ素酸と無機酸を添着した1種類のみの添着炭で複合臭気を脱臭することが可能なヨウ素酸添着炭脱臭設備が、南多摩処理場の水処理施設をはじめとして、流域を中心に普及した。平成13年には、砂町水処理センターの沈砂池室の臭気を対象に、活性炭より安価でかつ効率的に臭気除

去ができる可能性の高い放電式脱臭設備の運転をはじめた。

7.2 脱臭設備の基本

脱臭設備の基本は、臭気発生源と主な臭気成分の分析からはじめて、関連法をクリアすることは当然であるが、臭気は個人差があり機器分析だけでは満足されない場合がある。従って、脱臭方法により脱臭効果やコストが大きく変わるので、適切な脱臭方法の選定と的確な維持管理が求められる。下水道局は、平成13年度には設計の平準化を図るため、「脱臭設備設計マニュアル」を制定した。

1) ポンプ所・処理場の臭気発生源と主な臭気成分

ポンプ所・処理場の臭気発生源と主な臭気成分は、表7-1のとおりである。水処理系では、臭気の発生源面積が広く、臭気成分も多種多様で低濃度かつ大量である。一方、汚泥処理系は、主に硫化水素等の硫化物系成分で高濃度のため、施設・設備の腐食、劣化や作業上の安全性に問題が生じており、脱臭設備の開発が求められていた。

表7-1 臭気発生源と臭気成分

施設場所	臭気発生源	主な臭気成分	濃度
沈砂池	沈砂池、しさ・沈砂ホッパ、しさ仮置場、揚砂・しさ搔揚時、滞流水の腐敗時	硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル、アンモニア	低濃度
第一沈殿池	生下水臭、休止時の汚泥腐敗時	同上	
反応タンク	空気攪拌時	同上の他、多成分含む	
汚泥濃縮槽	機械攪拌時、汚泥腐敗時	主として硫化水素、メチルメルカプタン	高濃度
汚泥貯留槽	貯留槽	同上	
汚泥脱水機	密閉型脱水機以外の機種	高分子凝集剤の場合は、硫化水素、メチルメルカプタン等の硫黄化合物が高い	
汚泥焼却炉	脱水ケーキ搬送設備、貯留設備、排出口	同上 主として硫化水素、メチルメルカプタン、NO _x	

2) 悪臭防止法関連

臭気は、受け手側の感じ方で異なることや臭気分析センサーによる臭気判定が難しいことから、臭気強度を感覚的に定めた表7-2の「六段階臭気強度表示法」で判定し、臭気濃度を官能的に定めた「3点比較式臭袋法（臭気指数規制）」によって判定する方法が確立している。

悪臭防止法では、悪臭の原因となる気体や水の排出を規制する地域を都道府県知事が指定し、不快な臭いの原因となり、生活環境を損なう特定悪臭物質（22物質）を定め、当該事業所の敷地境界線の地表、気体排出施設の排出口、排出水の

表7-2 六段階臭気強度表示法

臭気強度	内 容
0	無 臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）
2	何のにおいであるか判る弱いにおい（認知閾値濃度）
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

敷地外における規制基準が昭和46年に制定された。

しかし、最近の臭気は、色々な物質が混ざった複合臭であり、指定以外の物質が原因で苦情が増加している。このため、人間の嗅覚測定法を用いて

悪臭の程度を判定する臭気指数規制が平成8年に定められた。臭気指数とは、臭いのついた空気や水を臭いが感じられなくなるまで無臭空気（水）で薄めたときの希釈倍率（臭気濃度）を求め、その常用対数値に10を乗じた数値で、臭気指数を算出するものである。

3) 東京都条例

昭和52年に、東京都公害防止条例（現：都民と健康と安全を確保する環境に関する条例）を改正し、人間の嗅覚による測定法である3点比較式臭袋法による表7-3に示す、指定区域毎の規制基準を悪臭防止法の改正に先駆けて制定した。

4) 脱臭方法

表7-3 区域別3点比較式臭袋法の値

区 域 の 区 分	種 别	第一種区域	第二種区域	第三種区域
該当区域	1. 第1種住居専用地域 2. 第2種住居専用地域 3. 住居地域 4. 無指定地域（第2種区域及び第3種区域に該当する区域を除く。）	1. 近隣商業地域 2. 商業地域 3. 準工業地域 4. 前各号に掲げる地域に接する地先及び水面	1. 工業地域 2. 工業専用地域 3. 前2号に掲げる地域に接する地先及び水面	
排出口から大気中に排出される悪臭の1作業期間の平均の状態	臭気濃度 300	臭気濃度 500	臭気濃度 1,000	
工場の敷地と隣地との境界線の地表における悪臭の状態	臭気濃度 10	臭気濃度 15	臭気濃度 20	

人の感じる匂いの中には、不快な臭いがあり長時間嗅ぎ続けると精神的・肉体的に大きなストレスを与え、正常な日常生活の妨げとなる。良い香りと感じる匂いでも長時間嗅ぐと悪臭となり、微量であれば芳香でも多量となると悪臭になる。下水処理過程で発生する悪臭は、止めることができないので、発生源から空気中に飛散する臭気物質を捕集、分解、吸着、中和などの脱臭方法により臭気成分を人間がやっと感知できる濃度（人間臭覚閾値）以下までに、無臭化、消臭化する装置が脱臭設備である。下水道局が実施してきた脱臭方法は図7-1に示すとおりである。

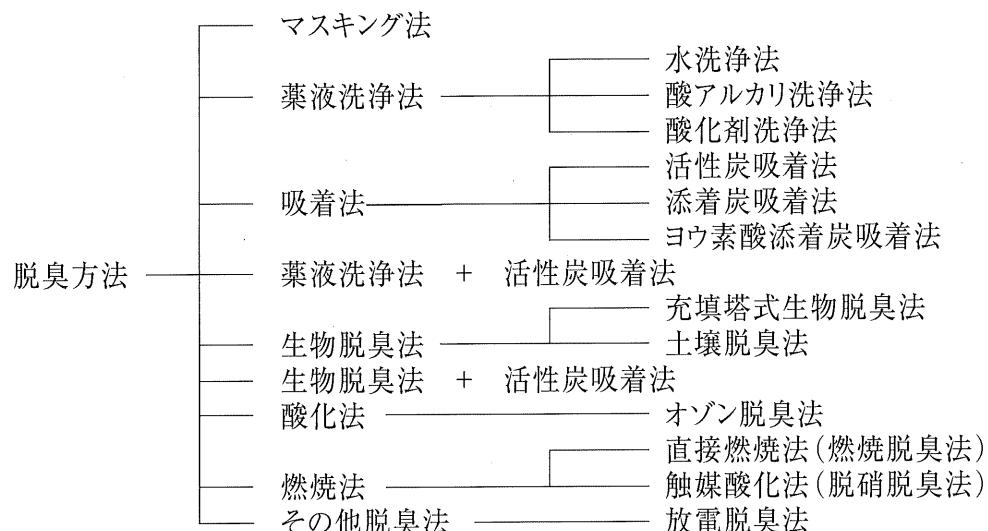


図7-1 脱臭方法

7.3 脱臭設備

脱臭設備には、マスキング法、薬液洗浄法、吸着法、生物脱臭法、酸化法、燃焼法等があり、かつこれらの組み合わせで対応されている。「脱臭設備マニュアル」によれば、沈砂池・水処理系統では活性炭吸着法、または生物脱臭法を、汚泥処理系統では生物脱臭法と活性炭吸着法の併用、汚泥焼却系統では燃焼法を採用することが標準化されている。

1) マスキング法

マスキング法の脱臭原理は、図7-2に示すように、悪臭の分子を芳香成分で包み込むか、その周りに点在させて、悪臭成分より強い芳香分子で悪臭成分を覆い隠す方法であり、噴霧方式、充填塔方式（スクラバー方式）がある。この方式



図7-2 マスキング法模擬図

の分析や特性の計量化技術が進んでいない時代の昭和41年に志茂ポンプ所において、1年間で主ポンプの羽根が溶けてしまうほどの悪い水が流入していたため、アルカリ剤で中和するとともに、汚水沈砂池を覆蓋し、ダクト・送風機（処理風量400m³/分）で臭気を捕捉し、写真7-1のマスキング用スクラバーで芳香剤と接触させる方法を下水道局としてはじめて取り入れ、当時としては画期的なものであった。脱臭設備の効果としては、現在の脱臭設備に較べると不十分であった。

2) 薬液洗浄法（水洗浄法・酸アルカリ洗浄法・酸化剤洗浄法）

東北大学の沢谷次男教授が「臭いの3原則」として「アンモニア等の水溶性成分は、水で吸収し、トリメチルアミン・硫化メチル等の塩基性成分は、硫酸等の酸性溶液で中和吸収して、硫化水素・メチルメルカプタン等の酸性成分は、苛性ソーダ溶液で中和吸収方法」を発表した。

この方法はし尿処理場、ゴミ焼却場、水産加工場等の採用に引き続き、下水道分野にも使用されるようになった。薬液洗浄法は、「臭いの3原則」に基づき水洗浄法、酸アルカリ洗浄法、酸化剤洗浄法に分けられるが、一般的には各方法を単独では採用せずに、これらを組み合わせて使用する例が多い。

①水洗浄法

水洗浄法は、下水臭気中のアンモニア、硫化水素等の水溶性成分や法定成分ではないが有機酸のような分子量の少ない臭気成分を水と接触させることによって、水に溶解させて除去する方法である。水溶性成分以外は除去できないため、

の特徴は、弱い臭気に限定され、用途によっては、簡単で効果がある。しかし、悪臭成分がなくなるわけではないので、脱臭の根本的な対策とはならない。この方式は、悪臭成分

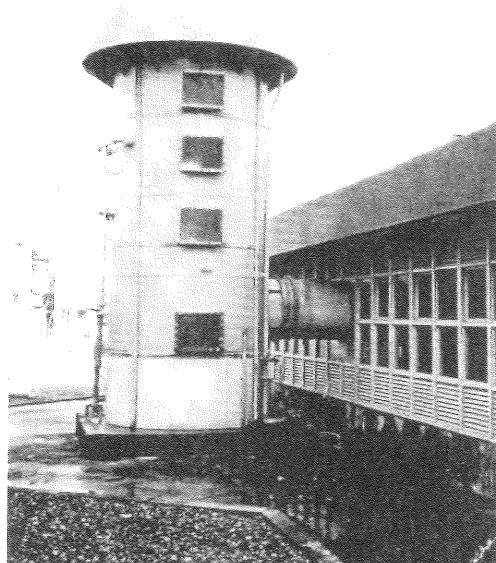


写真7-1 マスキング用スクラバー

薬品による中和吸収方式の酸アルカリ洗浄法が開発された。水洗浄法方式には、充填方式（スクラバー）や噴霧方式、水中通気方式がある。

②酸アルカリ洗浄法

酸アルカリ洗浄法は、トリメチルアミン、硫化メチル等の塩基性臭気成分を硫酸等の酸性液で中和吸収して硫化水素、メチルメルカバタン等の酸性臭気成分を苛性ソーダ溶液で中和吸収して脱臭する方法である。しかし、この方式は強度な臭気を有する硫化塩基性成分の除去には限界がある。

③酸化剤洗浄法

酸アルカリ洗浄法には限界があるため、酸化剤洗浄法が新たに開発された。この原理は、酸化力の強い酸化剤である次亜塩素酸ソーダを利用し、苛性ソーダのアルカリ液と混合使用することによって、二硫化メチル、トリメチルアミン等の中性・塩基性成分の化学構造を変えることによって無臭化を行い、あるいは減臭して除去するものである。表7-4に代表的な臭気成分を次亜塩素酸ソーダ溶液で酸化した時の反応を示す。

表7-4 次亜塩素酸ソーダによる臭気成分の分解

洗浄法		水洗浄	アルカリ性次亜塩素酸ソーダ洗浄	中性次亜塩素酸ソーダ洗浄
薬液		水	NaOH, NaClO	NaClO
悪臭物質		pH	9~10	7
塩基性ガス	アンモニア NH ₃	水溶性	2NH ₃ +3NaClO→N ₂ +3NaCl+3H ₂ O	NH ₃ +HClO→NH ₂ Cl+H ₂ O NH ₂ Cl+HClO→NHCl ₂ +H ₂ O NHCl ₂ +HClO→NCl ₂ +H ₂ O
	トリメチルアミン (CH ₃) ₃ N	水溶性	(CH ₃) ₃ N+3NaClO+2NaOH→(CH ₃) ₂ NH+Na ₃ CO ₃ +2H ₂ O+3NaCl (CH ₃) ₂ NH+3Na ₂ CO ₃ +2NaOH→CH ₃ NH ₂ +Na ₃ CO ₃ +2H ₂ O+3NaCl 2CH ₃ NH ₂ +9NaClO+4NaOH→N ₂ +2Na ₂ CO ₃ +7H ₂ O+9NaOH	(CH ₃) ₃ N+2HClO→(CH ₃) ₂ NCl+HCHO+HCl+H ₂ O
酸性ガス	硫化水素 H ₂ S	水溶性	(H ₂ S+2NaOH→Na ₂ S+2H ₂ O) Na ₂ S+4NaClO→Na ₂ SO ₄ +4NaCl Na ₂ S+NaClO+H ₂ O→S+NaCl+2NaOH	H ₂ S+4HClO→H ₂ SO ₄ +4HCl
	メチルメルカバタン CH ₃ SH	水溶性	(CH ₃ SH+NaOH→CH ₃ SNa+H ₂ O) 2CH ₃ SH+NaClO+H ₂ O→(CH ₃) ₂ S ₂ +NaCl+2NaOH (CH ₃) ₂ S ₂ +5NaClO+H ₂ O→2CH ₃ SO ₃ H+5NaCl	CH ₃ SH+3HClO→CH ₃ SO ₃ H+3HCl
中性ガス	硫化メチル (CH ₃) ₂ S	難溶性	(CH ₃) ₂ S+NaClO→(CH ₃) ₂ SO+NaCl (CH ₃) ₂ SO+NaClO→(CH ₃) ₂ SO ₂ +NaCl (CH ₃) ₂ SO ₂ +NaClO→(CH ₃) ₂ SO ₃ +NaCl	(CH ₃) ₂ S+2HClO→(CH ₃) ₂ SO+HCl
	二硫化メチル (CH ₃) ₂ S ₂	難溶性	(CH ₃) ₂ S ₂ +NaClO→(CH ₃) ₂ S ₂ O+NaCl (CH ₃) ₂ S ₂ O+NaClO→(CH ₃) ₂ S ₂ O ₂ +NaCl	(CH ₃) ₂ S ₂ +5HClO+H ₂ O→2CH ₃ SO ₃ H+5HCl
	アセトアルデヒド CH ₃ CHO	水溶性	CH ₃ CHO+NaClO+NaOH→CH ₃ COONa+NaCl+H ₂ O	CH ₃ CHO+HClO→CH ₃ COOH+HCl
	スチレン C ₆ H ₅ CHCH ₃	難溶性	反応せず	C ₆ H ₅ CHCH ₃ +HClO→C ₆ H ₅ CHOHCH ₃ Cl
塩素 Cl ₂		難溶性	反応せず	反応せず
一酸化二塩素 Cl ₂ O		水溶性	反応せず	反応せず

酸化剤洗浄法方式のフローシートを図7-3に示す。薬液洗浄法の特徴は、①ミスト・粉塵を同時に除去できること、②高濃度臭気の前処理として適していること、③薬品使用のため酸系では腐食対策、アルカリ系では臭気中のCO₂と反応して苛性ソーダ、次亜塩素酸ソーダを多量に消費すること、④次亜塩素酸ソーダの性質上、溶液延命用に耐光性材質の貯留槽設置、耐食性材質のポンプ・配管類の使用、アルカリ溶液中に塩類析出によるpH計不良、pH酸性による塩素ガスの遊離等、維持管理面の配慮が必要であること等である。

薬品による洗浄法を下水道局が最初に導入したのは、清掃局の受託事業として、

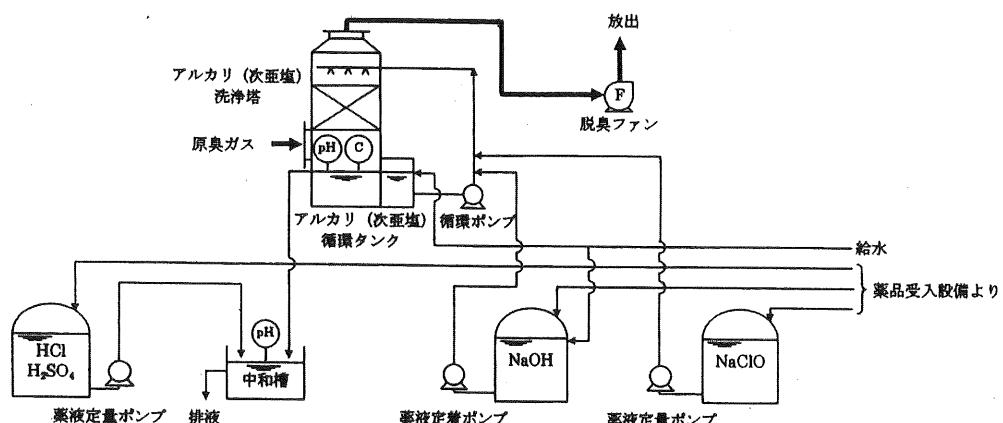


図7-3 酸化剤洗浄法フローシート

生し尿を処理するために、処理過程の移送、スクリーン室、貯留槽等で発生する高濃度臭気を消臭する目的で、昭和43年にマスキング法の噴霧方式、水洗浄法の充填塔方式、及び写真7-2に示す酸アルカリ洗浄法の充填塔方式（処理風量560m³/分）を設置した。昭和50年には、同脱臭設備の更新時に酸アルカリ法+酸化剤洗浄法（処理風量500m³/分、360m³/分、175m³/分）を導入した。この他に、区部で5施設、流域で1施設に導入された。

3) 吸着法（活性炭吸着法、添着炭

吸着法、ヨウ素酸添着炭吸着法）

昭和30年代に入りヤシガラ炭を使用した冷蔵庫の脱臭器が発売され、活性炭の優れた脱臭能力が証明され

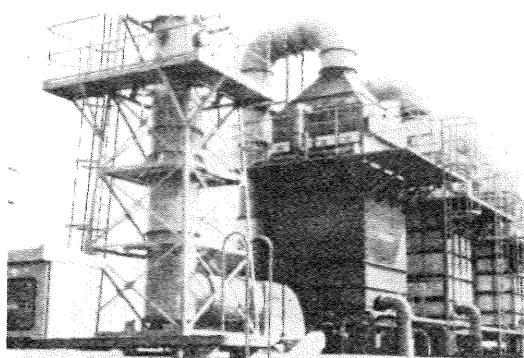


写真7-2 酸アルカリ洗浄の充填塔

た。昭和40年代には、し尿処理場、ゴミ焼却場の脱臭装置に使われはじめた。吸着法は、活性炭、シリカゲル、アルミナ、樹脂等の無数の微細孔を有する吸着剤の吸着力（分子間の結合力）によって、吸着剤表面の微細孔に気体、液体物質を物理的に吸着させる方法で、有害大気汚染物質、悪臭、悪水等の処理に採用されている。図7-4の吸着概要に示すように、分子量の大きい分子は、分子間力が強く働くため、吸着剤表面の微細孔に効率良く吸着する。この原理で臭気成分の分子を吸着させて脱臭する方法である。時代に沿って、活性炭吸着法、添着炭吸着法、そしてヨウ素酸添着炭吸着法が開発された。

①活性炭吸着法

活性炭吸着法は、臭気成分をヤシガラ炭の粒状活性炭に通過させると、活性炭表面の微細孔が持つ吸着力によって、臭気成分を吸着捕捉して除去する方法である。図7-5の活性炭吸着法フローシートに示すように、水分の付着により吸着能力が低下するので、ミスト除去の前処理が必要である。この特徴は、①薬液洗浄法に較べ、運転操作・装置が簡単なため維持管理が容易であり、活性炭が目詰まりや破過状態（吸着限界）

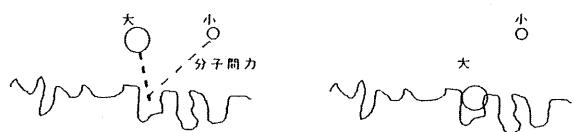
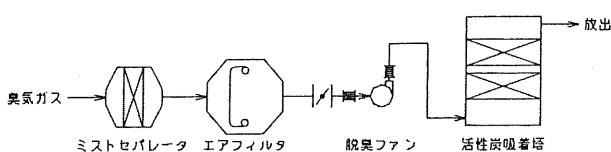


図7-4 活性炭表面における臭気吸着概要図

図7-5 活性炭吸着法フローシート

により吸着能力が低下した場合、加熱処理により再生利用が可能であること、②アンモニアは吸着しないので除去効果はないが、炭化水素系には除去効果は高いこと、③高濃度臭気の場合には、活性炭の寿命が短くなり交換頻度が多くなること等である。従って、活性炭吸着法は、低濃度臭気や臭気規制が厳しい場所に適している。

活性炭吸着法は、昭和45年に落合処理場第一沈殿池、反応タンクの水処理系用脱臭設備（処理風量31m³/分×32基）が第1号である。昭和52年から7年間にわたり技術開発部が森ヶ崎処理場で活性炭吸着法、酸化剤洗浄法、オゾン脱臭法等の実証実験を続け、活性炭吸着法、添着炭吸着法が維持管理性や除去率面で安定した脱臭が可能という結果を得た。それ以来、区部では60施設、流域では30施設に導入され、写真7-3の活性炭吸着塔のように現在では、脱臭設備の主流となっている。



により吸着能力が低下した場合、加熱処理により再生利用が可能であること、②アンモニアは吸着しないので除去効果はないが、炭化水素系には除去効果は高いこと、③高濃度臭気の場合には、活性炭の寿命が短くなり交換頻度が多くなること等である。従って、活性炭吸着法は、低濃度臭気や臭気規制が厳しい場所に適している。



写真7-3 活性炭吸着塔

酸性・アルカリ性・中性臭気成分の除去効果が高く、ヤシガラ炭では処理できないアンモニアも除去できるようになったこと、②ヤシガラ炭より高価ではあるが高濃度臭気にも適し、臭気成分に合った添着炭を選択することも容易となったこと等である。

添着炭吸着法は、昭和52年に落合処理場でヤシガラ炭に代えて採用されてから、区部では8施設、流域では6施設に順次導入されている。

③ヨウ素酸添着炭吸着法

ヨウ素酸添着炭吸着法は、水源の滅菌、宇宙船の生活排水浄化等に既に利用されているヨウ素の持つ強力な酸化力で脱臭するものである。平成4年にヨウ素酸をヤシガラ活性炭に添着した実証実験が開始され、平成7年には日本下水道事業団で、平成11年には、芝浦ポンプ所で吸着性能、ライフ延長が立証された。この特徴は、1種類の添着炭で高濃度の複合臭気を除去できることである。

ヨウ素酸添着炭吸着法は、区部で8施設、流域で6施設に導入されている。

4) 薬液洗浄法+活性炭吸着法

水処理、汚泥処理における高濃度臭気の場合、薬液洗浄法だけでは脱臭限界があるために、活性炭吸着法を組み合わせた方式が昭和50年代から導入されるようになった。この方法は、活性炭吸着法の前に薬液洗浄法を設置するため、活性炭に負荷がかからず活性炭の寿命が延びること及び薬液自身の臭いも除去できることを目的としていた。しかし、昭和51年から東雲ポンプ所で調査実験を行ったところ、3年間の実験では、活性炭の寿命には大きな変化はなかったが、幅広い臭気の脱臭効果について良好な結果を得ている。

この組み合わせた方式は、昭和52年に北多摩一号処理場において、熱処理施設からの排水が水処理施設に返流することによる高濃度臭気を除去するために、処

②添着炭吸着法

添着炭吸着法は、活性炭の表面に酸性・アルカリ性・中性の化学物質を添着することによって、臭気成分との化学反応による脱臭能力と活性炭本来の吸着能力を併用するため、臭気成分を効率的に除去できる方法である。この特徴は、

①ヤシガラ炭の活性炭吸着法より

理風量550m³/日が最初に導入された。その後、区部では、水処理系で3施設、汚泥処理系で5施設に、流域では汚泥処理で4施設に導入している。

5) 生物脱臭法

①充填塔式生物脱臭法

充填塔式生物脱臭法は、図7-6に示すように、生物脱臭塔内の充填材に原臭ガスを通すと、充填材表面に生息している微生物が原臭中の悪臭成分を酸化分解して、エネルギーあるいは増殖に利用する。この微生物の分解作用の働きを利用して、原臭中の臭気を除去するものである。除去された分解生成物は水中に排出され、散水によって洗浄されて、ドレンとして系外に取り出される。

薬液洗浄法は、pHが上がるとガス中のCO₂を吸収して薬液が大量に消費される等の問題点がある。しかし、生物脱臭法は、薬液等を使用しないため安価で、運転上安全であるが、高濃度臭気や原臭濃度の変動が大きい場合に生物脱臭法単独では、臭気除去が充分できない。現在、水処理の低濃度臭気にも利用拡大できるかの試験が進められている。平成元年に写真7-4のように森ヶ崎水処理センターの洗浄槽等の脱臭用（処理風量400m³/分）に採用された。

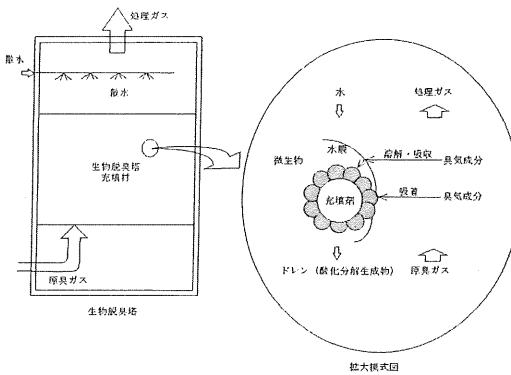


図7-6 生物脱臭塔の処理機構



写真7-4 充填塔式生物脱臭装置

②土壤脱臭法

土壤脱臭法は、図7-7に示すように、臭気ガスを湿った土壤層に通過させた時、臭気ガスが土壤粒子に吸着あるいは土壤水分に溶解して、土壤中に捕捉、保持された後、さらに細菌等の微生物の働きにより、酸化分

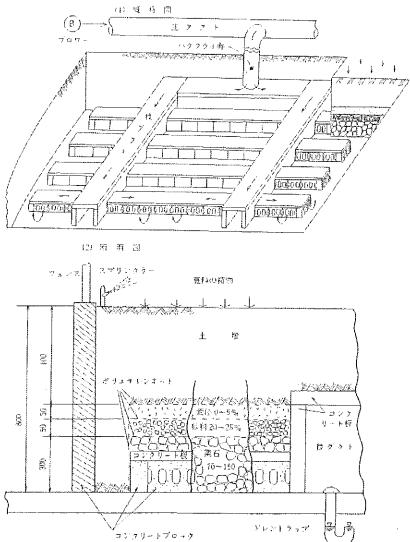


図7-7 土壤脱臭装置構造例

6) 生物脱臭法 + 活性炭吸着法

本方式の原理は、図7-8に示すように、臭気中の臭気物質濃度が低い場合に、生物脱臭法単独での臭気除去は可能であるが、臭気の濃度変動が大きい場合や臭気濃度が高い汚泥系では、生物脱臭法単独では臭気除去に限界があるため、活性炭吸着法との組み合わせで臭気除去を行うものである。この場合、生物脱臭塔での散水時のミストが活性炭吸着能力の低下の要因となるので、活性炭吸着塔の手前にミストセパレータを設ける必要がある。平成4年に南部スラッジプラントの焼却処理設備系（処理風量 $100\text{m}^3/\text{分}$ ）に、平成7年に有明処理場の沈砂池系（処理風量 $150\text{m}^3/\text{分}$ ）等、区部では8施設、流域では6施設に導入している。

7) 酸化法（オゾン脱臭法）

オゾン脱臭法は、オゾン自身の持つ強力な酸化力で悪臭物質を分解するものである。特徴は、①オゾンは活性酸素を有するため、特にイオウ系臭気物質に対して有効に作用すること、②硫化水素やメチルメルカプタン等の主要な悪臭成分は除去されにくいため、活性炭吸着法と併用して採用される。この場合、臭気ガスに添加するオゾンの量が多いほど、悪臭成分の除去効果は良くなるが、活性炭の

解し原臭中の臭気を除去するものである。

特徴は、①薬剤等を使用しないため運転コストが安く、維持管理が容易であるが、高濃度の臭気成分には適用できないこと、②土壤の厚さに制限があるため広い面積を要すること等である。昭和51年に森ヶ崎水処理センターの除砂設備や計量槽の脱臭用（処理風量 $300\text{m}^3/\text{分}$ ）に導入された。設備上の問題点は、大雨が降ると土壤下部からのガス圧と上部からの雨水の圧力が均等してしまうため、雨水が抜けず水溜りができる、ガスは通気抵抗の弱い箇所からショートパスすることである。

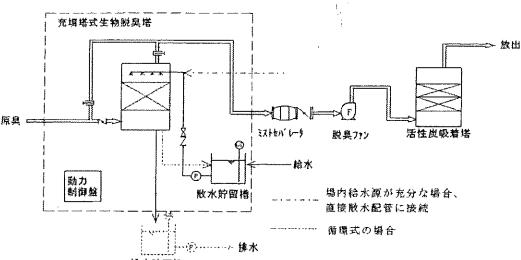


図7-8 生物脱臭法+活性炭吸着法フローシート

余剰オゾン分解能力の寿命が短くなること等である。

昭和45年に湯島ポンプ所に導入され、運転当初はオゾンの脱臭効果に期待がもたれたが、臭気の濃度変動にオゾンの発生量が対応できず、また、ダクトの腐食や残留オゾン処理設備がないためオゾン臭が溜まる等の諸問題が発生して、短期間で運転を停止した。

8) 燃焼法

①直接燃焼法

直接燃焼法は、図7-9に示すように臭気ガスを燃焼炉の給気に混入、または単独で吹き込み、ガスの臭気成分を燃焼の高温で炭酸ガスと水に酸化分解し、臭気を除去するものである。

特徴は、①最も高い脱臭効率が得られ、信頼性が高い。炭化水素ガスには最適である、②アルカリ性臭気ガスの分解はやや困難であること、③大風量、湿りガスの場合は、燃料費が増大する等により、高濃度、小風量のガス処理に用いられていること等である。

下水道局は、汚泥脱水設備等の臭気を流動焼却炉の流動用空気として利用している。下水道局では本方式を燃焼脱臭法と呼び、汚泥焼却炉を有する施設で本方式を採用していて良い効果が出ている。

②触媒酸化法

触媒酸化法は、白金やパラジウム等の貴金属系触媒を使用して、直接燃焼より低い温度(150~500°C)で臭気ガス中の可燃性物質を炭酸ガスや水に酸化分解し、臭気を除去するものである。直接燃焼法と比較してランニングコストは安いが、イニシャルコストは高い。触媒酸化法が水処理施設に用いられている事例はほとんどない。

下水道局で焼却炉排ガスの調査中で、脱臭と脱硝が極めて近い関係にあることがわかった。そこで昭和54年、写真7-5のように、砂町水処理センターの多段焼却炉排ガス(排ガス量100,000Nm³/時)の窒素酸化物及び悪臭物質の除去設備として、触媒酸化法を採用した。

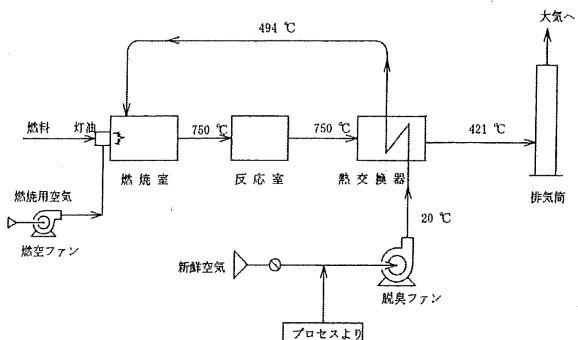


図7-9 直接燃焼法の一般的なフローシート

システムの構成は、図7-10に示すように、脱臭法の触媒酸化法と脱硝法の乾式接触還元選択法とを合理的に組み合わせたものである。この触媒には、チタン等の卑金属のハニカム触媒を使用し、排ガスを350°C程度の昇温状態にした中に適量のアンモニアガスを注入し、ハニカム状触媒筒を通過させるものである。表7-4に臭気成分の触媒面での分解時の反応を示す。

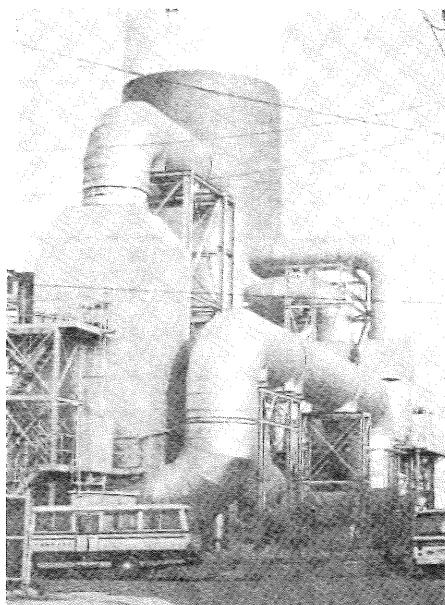


写真7-5 脱硝脱臭装置

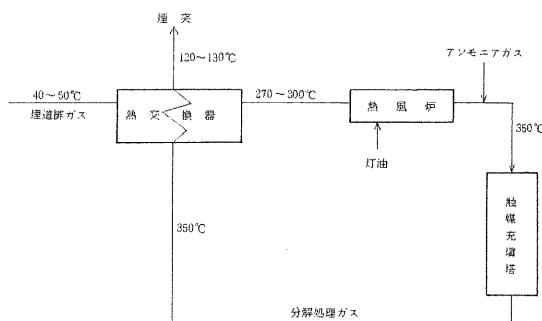


図7-10 脱硝脱臭設備フローシート

表7-4 臭気成分の触媒面での分解

	物質名	反応前	反応後
脱臭	メチルメルカバタン	$\text{CH}_3\text{SH} + 3\text{O}_2$	$\rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	硫化水素	$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2$	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$
	硫化メチル	$2(\text{CH}_3)_2\text{S} + 9\text{O}_2$	$\rightarrow 4\text{CO}_2 + 2\text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
	二硫化メチル	$2(\text{CH}_3)_2\text{S} + 11\text{O}_2$	$\rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
	トリメチルアミン	$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 21\text{O}_2$	$\rightarrow 12\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 18\text{H}_2\text{O}$
	アセトアルデヒド	$2\text{CH}_3\text{CHO} + 5\text{O}_2$	$\rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
臭	スチレン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2 + 10\text{O}_2$	$\rightarrow 8\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
	アンモニア	$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2$	$\rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

9) その他脱臭法（放電脱臭法）

放電脱臭法は、図7-11に示すように、放電と触媒の二つの処理により、臭気成分を分解し脱臭を行うものである。放電部では、臭気ガスに直接放電することにより、活性分子、ラジカル、オゾン等を発生させ臭気物質を酸化分解し、さらに触媒槽では、放電で分解できないアンモニアや余剰オゾン等を分解除去して脱臭を行う。

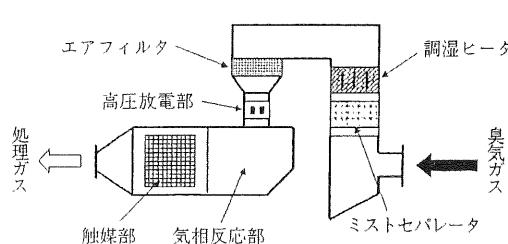


図7-11 放電式脱臭設備概要図

特徴は、①低濃度から高濃度まで広範囲な臭気処理が可能であること、②通気抵抗が少ないため運転コストが安価であること、③放電電極や触媒等の消耗品の交換が必要であること等である。

本方式は、活性炭の破過や再生交

換費が高い等の課題を抱えている活性炭吸着法に変わる脱臭方法として、メーカーの開発努力により、平成12年から13年にかけて下水道局と共同研究に取り組み、平成13年に砂町水処理センターの沈砂池の臭気を対象に、写真7-6のように実

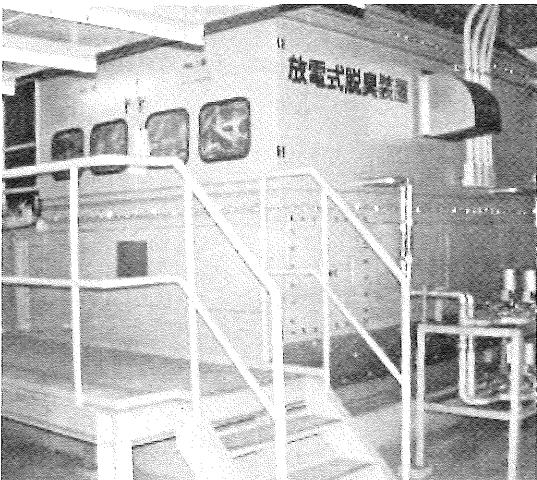


写真7-6 放電脱臭装置

用機（処理風量856m³/分）が導入された。処理性能は追跡調査の結果、臭気濃度300を上回ることなく良好な運転が続いている。

一方、設計当初に予想していなかったユスリカ等の侵入により、放電部への悪影響や接触部への目詰まりが生じ、簡易フィルターを追加した。しかし、ユスリカ等が予想以上に多く、現在、フィルターの改良やロール巻き上げ式フィルターの採用等を検討している。

7.4 今後の動向

臭気対策は、下水道施設周辺住民の生活と環境を守るサービスの一環として必要不可欠な対策の一つである。～臭気を制するものは、下水を制する～、臭気に対する意識は個人差があり、どこまで対応すれば良いかという難しい一面も抱えているが、まずは、関連法の規制を遵守することは最低限である。しかも、これからの臭気対策は、臭気を高濃度化・小風量化した上で環境面、経済性及び効率性の面を追及した脱臭設備の開発が要求される。

今後の動向は、既に下水道局で導入している脱臭法の一つであるヨウ素酸添着炭吸着法では、従来のヨウ素酸添着炭よりアンモニアを含む複合臭気の除去効果を高めた新炭を低コストで提供できる開発の努力が進んでいる。また、放電脱臭法では、低濃度臭気の適用範囲を超えた高濃度臭気においても、安価で効率的な臭気除去の適用可能に向けた開発が進んでいる。

最新技術の動向は、二酸化チタンを利用した光触媒の脱臭が脚光を浴びている。光触媒が今日、最も注目されている点は、化学的に安定し、環境に無害で、ランニングコストをかけることなく、紫外線（太陽光、蛍光灯）の光を当てることにより活性酸素等を発生し、強い酸化分解力で臭気物質を酸化分解するものであり、

脱臭効果だけでなく、汚れ防止効果や抗菌・防カビ効果もあることが知られている。この光触媒を利用した下水道向け脱臭装置の早期開発が待たれている。

一方、脱臭設備の臭気測定センサーは各種開発されているが、自動運転に適したセンサーは開発されていない。例えば、発生源の臭気濃度が規制値以下の場合、脱臭ファンの自動停止ができる自動臭気濃度測定装置の開発や敷地境界上の固定センサーにより、規制値を超えた場合には該当脱臭設備が稼動するシステム開発がコスト縮減になると期待される。

昨今、処理施設の効率的な運営、維持管理費の抑制、作業環境の改善等の社会的要請の高まりの中、これからは、脱臭設備の総コスト（イニシャル+ランニング）が低く、脱臭効果の高い装置の技術開発が求められている。

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

下水道の電気設備は、大正11年に運転開始した三河島汚水処分場にはじまる。電気設備は、電力、鉄鋼、鉄道、その他重工業や一般産業の設備として発達してきた。下水道事業は比較的後発のため、下水道のために研究・開発された電気設備は少ないが、民需で開発された技術を応用し、下水道施設から発生する腐食性ガス等、下水道特有の環境への対応や、浸水被害防除のため雨水ポンプが確実に稼働すると同時に、安全性、保全性、信頼性の高い電気設備の確立に向けて、たゆまぬ努力を行ってきた。

電気設備は、受変電設備、配電設備、自家発電設備、監視制御設備、計装設備等で構成されている。受変電設備は、電気設備の中で重要な設備で電力会社から供給された電気を主ポンプ、送風機、水処理機械設備、汚泥処理機械設備、照明、換気機械等の使用電圧に変圧器を用いて降圧し、負荷に供給する設備の総称をいう。また、受変電設備は、電力会社から電力供給を受ける方式（契約電力、受電電圧、受電回線数等）による分類と、受変電設備の閉鎖配電盤方式、オーブンストラクチャー方式、SF₆絶縁開閉装置（GIS）等、構造的な面からの区分と、さらに遮断器、変圧器等の設備を構成する機器からも分類される。

受変電設備の大きな進歩は、昭和30年代に入って産業の発展により需要電力量の増加に伴い、電力損失の削減、安全性及び信頼性の向上、省面積化等のため電圧の昇圧、受電方式の多様化、受変電設備及び配電設備の高度化がある。これは、安全面を最優先した絶縁技術の研究・開発によるところが大きい。

配電設備は、高圧配電設備と低圧配電設備に分類される。高圧配電設備は、特別高圧受変電設備で各機器の使用電圧（6 kV、または3 kV）まで降圧（変成）

した電気を、主ポンプや送風機等の高圧負荷設備に電力を供給するものと、さらに低圧負荷設備用の電圧（400, 200, 100V負荷）に降圧する高圧変圧器に電力を供給するものである。低圧配電設備は、低圧に変成された電力を低圧負荷設備に供給する設備で、電源群を管理する低圧電源盤（金属閉鎖形スイッチギヤ、低圧フィーダ盤、ロードセンター等、呼称多数）や低圧負荷を運転停止するためのコントロールギヤ、コントロールセンター等で構成される。

自家発電設備は、電力会社から停電等で送電が停止したときに、ポンプ所では雨水ポンプ用電源に、処理場では、雨水ポンプ用電源及び最小限の水処理用電源を確保するために設置するもので、発電機、原動機（ディーゼルエンジン、ガスタービン等）、配電盤等で構成される。下水道局では、非常時の最適な電力供給システムを確保するため、買電と発電の2重母線で負荷を任意に使い分けるシステムを採用している。

その他、受変電設備には、効率改善や特別管理産業廃棄物であるPCB（ポリ塩化ビフェニール）の扱い等がある。下水道施設はエネルギー大量消費型施設である。平成14年度末で下水道局（ポンプ所81ヵ所、処理場20ヵ所、その他7ヵ所）では、年間100億円超の電気料金を支払っている。電気料金の低減を図るために効率改善、さらに省エネルギー機器の採用が近年、重要視されてきている。電気設備のオイルレス化や小型化は、絶縁物の発達の歴史でもあるが、昭和28年頃、その絶縁性能の良さ等から登場したPCBは、昭和49年にその毒性から使用禁止となり油入変圧器、コンデンサ等PCB含有機器は、特別管理産業廃棄物として管理されている。

8. 2 受変電設備の基本

受変電設備の分類は、専門的に行うのが好ましいが、分かりやすく日常使っている分類に整理して記述することにした。専門的に考察すると違和感がありますが、ご容赦を願いたい。

受変電設備の基本である受電方式は、ポンプ所、処理場に設置される主ポンプや送風機等の負荷設備から計画最大需要電力を算定し、電力会社の電気供給約款等に基づき表8-1に示すように契約電力、受電電圧と、施設の重要性に合わせて受電回線数及び遮断機の遮断容量を決定する。

1) 受電電圧と契約電力

契約電力は、下水道整備がはじまってしばらくの間、ポンプ所、処理場や流入

表8-1 契約電力と受電電圧

契約電力 (kW)	受電電圧 (kV)	契約種別
5～50	6	高圧電力A
2,000未満	6	高圧電力B
10,000未満	20	
50,000未満	60	
50,000以上	140	特別高圧電力

伴う汚水量、雨水流出量の増大等とともに、ディーゼルエンジン直結雨水ポンプの騒音対策や信頼性の確保、操作性の改善のため、電動機直結雨水ポンプを多く採用するようになった。その結果、需要（契約）電力が大きくなり受電電圧も60kV・140kVといった特別高圧受電も増加し、受変電設備も大型化してきた。140kV受電の第1号は、昭和49年の砂町処理場での採用である。

2) 受電回線数

受電回線数は、電力の信頼性の向上と安定化のため、戦前に設置された日本堤、木場、吾嬬の各ポンプ所等は2回線受電を行った。図8-1に2回線受電単線接続図の例を示す。

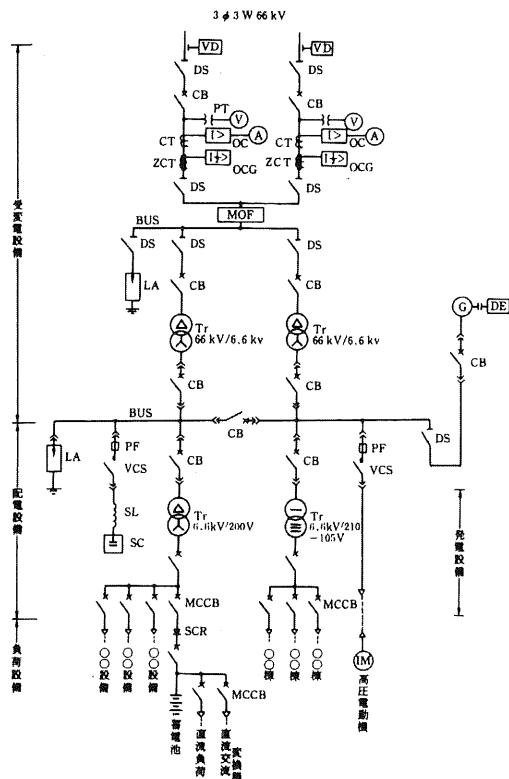


図8-1 単線接続図

する幹線の埋設深さも比較的浅いことから雨水ポンプの容量も小さく、また、ディーゼル機関を使用したエンジン直結雨水ポンプ等を多く採用したことから比較的少なかった。

その後、生活水準の向上や都市化の進展に

その後、ポンプ所は、①電力会社や下水道局側の保守点検等の計画停電時に、一時的に揚水機能が停止しても、あらかじめ停電対策がとれること、②晴天時の稼働機器数も少ないこと、③信頼性の向上した発電設備により突発的な停電にも対応が可能になったこと、等から自家発電設備の設置を前提に1回線受電を採用するようになった。昭和37年頃から以降のポンプ所は、1回線受電を原則としている。処理場は、施設規模も大きく停電による処理機能停止の影響範囲も広く、万一処理機能が停止すれば、その運転再開から安定状態まで多くの労力や時間を要する。このため短時間停電でも、施設が全停止とならないように2回線受電と

してきた。

発電機については、近年、原動機として航空機用エンジン（ガスタービンエンジン）が採用されるようになり、単機容量25,000kVAといった大容量発電機が導入された。

昭和52年に森ヶ崎処理場に、昭和62年に砂町処理場に設置されたが、より電源の信頼性向上のため2回線受電を引き続き採用している。

3) 受電方式

受電方式は、供給信頼性向上のため色々な方式が提案されてきている。具体的には、特別高圧及び高圧受電ともに1回線受電方式、2回線受電方式、ループ受電方式、スポットネットワーク受電方式等がある。また、2回線受電方式でも計器用変成器（VCT）が1台と2台の方式がある。

① 1回線受電方式

1回線受電方式は、1回線で受電し、主回路は1台の断路器（DS）、遮断器（CB）、計器用変成器で構成され、もっとも簡単な方式で設備費も安いが、電源系統や受変電設備の故障時には、長時間の停電となり供給信頼度は低い。特別高圧受電で本方式を採用している施設は、60kV級で梅田ポンプ所、加平ポンプ所等6ヵ所、20kV級では三ノ橋ポンプ所、六郷ポンプ所等9ヵ所である。高圧受電では、1回線受電が主流であるので40数ヵ所と約半数を占めている。

② 常用・予備2回線受電方式（1CB方式）

常用・予備2回線受電方式は、常用と予備の2回線で受電し2台の断路器と1台の遮断器、1台の計器用変成器で構成され、常用回線の故障時には一旦停電にはなるが、予備線に切り替えて停電時間を短縮できる。将来、発電機を設置して1回線受電に変更する場合や電力会社側に頻繁に停電が予想される場合等に採用される。60kV級では、熊の木ポンプ所等2ヵ所、20kV級では、木場ポンプ所等2ヵ所と比較的少ない。

③ 常用・予備2回線受電方式（2CB方式）

常用・予備の2回線受電方式は、各回線毎に断路器や遮断器で構成され、常用回線の故障時には、一旦停電にはなるが予備線に切り替えて受電できるので供給信頼度は高い。この方式には、供給変電所が同じ予備線と供給変電所が異なる予備電源方式があり、無停電切り替えのためには予備線が望ましい。予備線契約であれば計画停電の場合は、切り替えが無停電で行える。また、図8-1に例示した単線接続図は、計器用変成器が1台であり、計器用変成器を受電回路毎に設け、

計量法に基づく計器用変成器の取り替え時も停電せずに交換できるようにする場合もある。本方式を採用している施設は、60kV級以上で芝浦処理場等17カ所、20kV級では1カ所である。

④ループ受電方式（20kV級）

ループ受電方式は、図8-2に示すように、常時2回線で受電し、受電回路ごとに断路器、遮断器、計器用変成器等で構成される。両線とも閉路され、受電部が電力会社のループ送電線の一部となっている。需要家内の故障でないかぎり無停電で供給されるので供給信頼度は高い。本方式の採用はまだ少なく、昭和41年に

銭瓶ポンプ所（20kV）、平成元年の浜町第二ポンプ所（22kV）の2カ所である。

⑤スポットネットワーク受電方式（特別高圧受電）

スポットネットワーク受電方式は、同一変電所から通常3回線で受電し、それぞれの回線に変圧器を設置、その2次側を並列に接続する方式で、受電方式の中で最も新しいものである。1回線が停電しても、他の回線が健全であれば無停電で運転が継続できる極めて信頼度の高い方式である。自家発電設備が周辺環境等の要件で設置できず、しかも供給信頼性を重視する施設に採用している。平成4年に大森東ポンプ所（22kV）、平成7年に有明処理場（22kV）に導入した2カ所である。今日まで、トラブルは発生しておらず信頼性は高い。

8.3 受変電設備

受変電設備は、図8-1に示すように、断路器、遮断器、変圧器、計器用変成器等で構成される。一般に、これらの機器を編成し収納するものを特別高圧（高圧）受変電設備と称している。受変電設備は、特別高圧受変電設備（20kV级以上）で、機器の縮小化、オイルレス化、保守の省力化、安全性等の社会的要請から、近年では受変電設備の開閉装置は、ガス絶縁開閉装置（GIS）が主流である。また、20kV級の特別高圧受変電設備及び高圧受変電設備（6kV級）では気中絶縁キュービカル形開閉装置が多く採用されている。

1) 開閉装置

開閉装置は受変電設備の中でも電源を入り・切りするもので非常に重要なもの

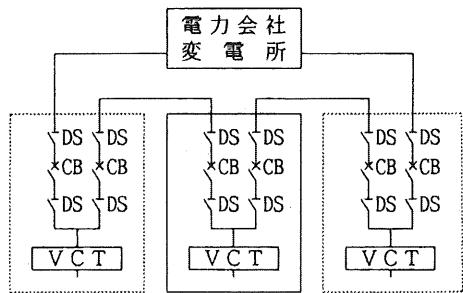


図8-2 ループ受電

で、オープンストラクチャー方式、気中絶縁キュービカル形開閉装置、ガス絶縁開閉装置等がある。

①オープンストラクチャー方式

オープンストラクチャー方式（以下「開放型」という）は、受変電設備を構成する断路器や遮断器等の機器を鋼製架台上や、鋼製パイプや山形鋼で組んだ架構に取り付け、機器相互間を架構に取り付けた支持碍子に銅丸棒、銅より線、銅帯、アルミパイプ等の導体を取り付け接続したもので、基本的には大気露出構造であり、気中絶縁（空気を絶縁体とする）方式である。

閉鎖型配電盤が採用されるようになるまでは、全て開放構造であり、現在でも特別高圧受変電設備では数多く使用されている。昭和30年以前に設置された受変電設備はすべて開放型であったので感電事故が発生した。鋼製パイプや山形鋼で組み上げた架構に、手動操作式の油入遮断器、断路器等を取り付けたもので、手を伸ばせば充電部に接触する危険のあるような構造であり、安全対策として周囲を金網で囲ったりした。開放型（写真8-1）は受変電・配電設備の原型といえるものである。

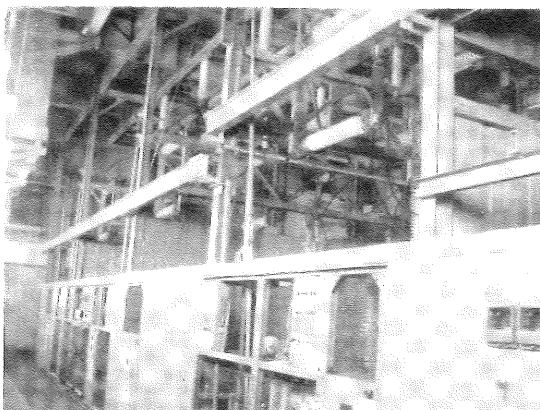


写真8-1 開放型の例

パートメント型受電設備（20kV級）が導入された。コンパートメント型は、屋内開放型といえる方式で、コンクリート壁で仕切った部屋を多数作り、その各部屋に、断路器や遮断器、計器用変成器等を個別に収納設置するもので、短絡時のアーカや火災事故の波及、拡大を防ぐため採用された。充電部に人が接触しないよう部屋の高さは、5m位あった。芝浦、小台、三河島の各処理場の他、日本堤ポンプ所で導入されたが、現在、小台処理場（20kV）で稼働されているのみである。

昭和48年に、砂町処理場で140kV受電がはじまった。このような超高压で受電

開放型は、据付面積が大きく機器や導体が露出しているため危険であるが、施設費は比較的安く、屋内形と屋外形がある。屋内形は建物内に収納したものであり、塩害や汚染を防ぎ飛来物による危険等に対し防護し、あわせて保全管理の向上を図ったものである。

昭和34年、芝浦処理場にコン

するのは、下水道局にとって初めてであった。導体の絶縁は、気中絶縁であるため受変電設備が非常に大型になり、専用の変電所棟を建設して内部に特別高圧受変電設備を設置した。変電所棟は、鉄骨構造にコンクリート板を張り付けた建物（いわゆるコンクリートキュービクル）で、この建物が「盤」そのもので、機器の据え付け方法は屋内開放型である。通称「コンクラ」と呼んでいる。

続いて、昭和53年、新河岸処理場においても140kV受電を開始し、屋内開放型の変電所（写真8-2）として稼働している。特に、新河岸処理場の受電には、当時この送電線が停止すると都心の3分の1が停電するといわれた重要送電幹線からの直接分岐であったが、下水道局の技術的信用を理解され、電力会社から許可がでた。2台の変圧器は屋外設置である。この変電所の稼働を機に電気の保安体制を、さらに充実するために「電気保安担当主査」が処理場に設置された。

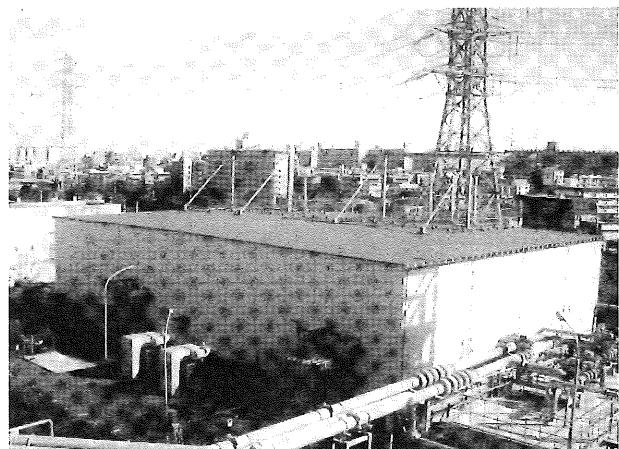


写真8-2 新河岸処理場コンクラ

②気中絶縁キュービクル形開閉装置

気中絶縁キュービクル形開閉装置（以下「閉鎖配電盤」という）は、断路器や遮断器等の機器及び機器間をつなぐ導体等をすべて金属製の箱内に収納し、設備全体が外部から閉ざされる形にしたもので、いわば、開放型設備を丸ごと金属製の箱内に納めたものである。塩害やじんあい等は大気開放型のものより心配が少ない。また、機器間を接続する導体は気中絶縁であるが、盤内に納められているため感電の危険が少なく安全性の高い構造であり、列盤にして設備全体をスッキリした配置にできる。設備費は開放型に比べ高価である。閉鎖配電盤には、単位閉鎖配電盤（スイッチギア）と一括閉鎖配電盤（キュービクル）があり、前者は、各機器が金属製の箱内に収納されており、かつ単位回路毎に接地金属隔壁により離隔されているものをいい（JEM規格）、単に金属製の箱内に各機器を収めたものをキュービクル（写真8-3、JIS規格）という。この稿では、両者を分類して使用していない。

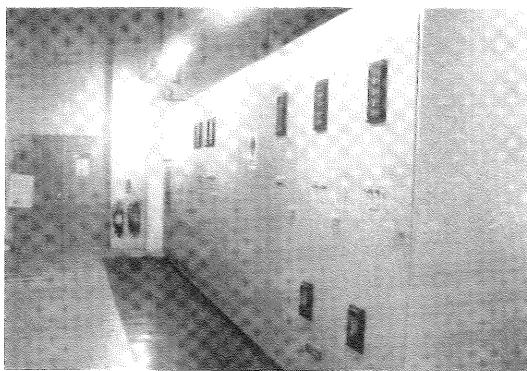


写真8-3 キュービクル

高圧受電では昭和29年に、廃止された月島ポンプ所（3kV受電）に金属製の閉鎖型盤が採用された。昭和30年以前に建設されたポンプ所のほとんどは、開放型であった。昭和34年当時の芝浦処理場の主ポンプ用電源の開閉装置（高圧負荷設備）は、全て開放型で極めて安全性、操作性に乏しいものであった。主ポンプ用

電源の開閉装置では、断路器10数台が隔壁もなく露出して並び、停止している主ポンプの断路器を開操作する時、誤って隣接する運転中の主ポンプの断路器を開くなどのミスも犯しかねない危険性の高いものであった。この設備は昭和47年頃まで使用されていた。

閉鎖配電盤の採用は、昭和30年代後半から建設されたポンプ所にはじまり、今日では全て閉鎖配電盤方式である。昭和44年、湯島ポンプ所（20kV受電）に、初めて特別高圧受変電設備の閉鎖配電盤方式が採用された。同ポンプ所は、公園の地下に建設されたもので、狭い室内に受変電設備を設置するためコンパクトなものと、火災防止の観点から遮断器は、オイルレスの空気遮断器（ABB・定格電圧24kV・定格電流600A・遮断容量1,000MVA）を、変圧器も同じくオイルレスの乾式変圧器（定格電圧24kV／3.15kV・容量1,500kVA）を採用した（写真8-4）。

③ガス絶縁開閉装置

ガス絶縁開閉装置（GIS）は、空気より絶縁性能に優れているSF6ガス（六フッ化硫黄ガス）を、金属ケース内に封入し、その中に断路器、遮断器、母線等の開閉装置の充電部を組み込んだもので、機器の小型化が可能となり、従来の設備に比べ、据え付け面積は3分の1から7分の1に縮小される。また、SF6ガスは、不燃性、非爆発性、不活性であるので安全性と保全性が飛躍的に増大するとともに、従来の気中絶縁方式の受変電設備で問題となっていた用地問題、



写真8-4 旧配電盤写真

塩害、塵害、気象の影響、安全上の問題等の制約を解決するので、近年多用されるようになった。しかし、SF₆ガスは、温室効果ガスに指定されたので、今後の動向が注目される。

昭和44年、日本で初めて60kV級のガス絶縁開閉装置が電力会社で使用された。下水道局での使用は、昭和55年に森ヶ崎処理場で大森南ポンプ室（受電電圧60kV・変圧器容量9,000kVA）での設置を皮切りに、昭和58年に篠崎ポンプ所（60kV・2,000kVA）、新小岩ポンプ所（60kV・7,500kVA）、昭和59年に南多摩処理場（60kV・1,500kVA）、昭和63年に小岩ポンプ所（60kV・7,000kVA）等で次々と採用された。

ガス絶縁開閉装置には、単相形と3相一括形があり、3相一括形は円筒形とキュービクル形に分類される。単相形は、電力事業用の超高電圧系で使用され、自家用で使用するのは、ほとんど3相一括形である。円筒型は、各構成機器を3相一括して円筒形容器に収納し、これらを組み合わせたもので、大森南ポンプ室、篠崎ポンプ所、小岩ポンプ所等で採用されている。キュービクル形は、ガス絶縁された主回路及び機器間導体を鋼製角形容器（キュービクル）内に収納したものである。見た目は、気中絶縁閉鎖配電盤と何ら変わることろはなく、この方式は、新小岩ポンプ所をはじめ10数カ所で採用されている。ガス絶縁開閉装置は、SF₆ガス漏れを監視する程度で保守点検は比較的簡単である。森ヶ崎処理場のGISを写真8-5に示す。

④遮断器（特別高圧用・高圧用）

受変電設備には、受電線路を安全に開閉することができる開閉器（DS）と負荷電流及び故障電流を安全に遮断できる遮断器（CB）を設けている。遮断器の変遷は、受変電設備の発展の歴史でもある。遮断器は、負荷電流や故障電流を遮断する際に発生するアークを消す（消弧）方式で、開発順に特高用では油入遮断器（O C B），空気遮断器（ABB），ガス遮断器（GCB）

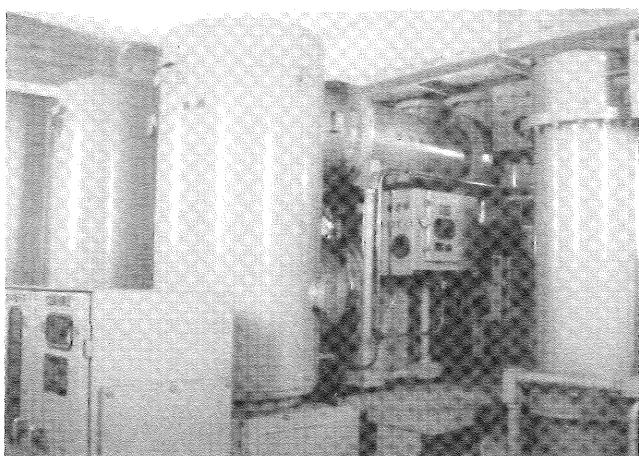


写真8-5 森ヶ崎処理場GIS

表8-2 各種遮断機の特徴

	油入遮断器	空気遮断器	磁気遮断器	真空遮断器	ガス遮断器
消弧方式	油中の消弧室内でアークを作ると、その高温で油が分解し、水槽などの熱伝導度のよいガスを発生し、アークを冷却消弧する。	圧縮空気	ソレノイドによって発生した磁界でアークを消弧室内で引き伸ばし消弧する。	密封したインターラック内で電流を遮断し電子の拡散により消弧する。	遮断時にピストンで遮断部に封入した他ガス(六ふつ化硫黄ガス)を圧縮しながらアークに吹き付け消弧する(ハッファ型)。
遮断性能	普通	普通	普通	優れている	優れている
発火危険性	ある	少ない	少しある	少ない	少ない
騒音	少ない	大きい	操作音は小さい	少ない	少ない
据付面積	小さい	普通	普通	普通	きわめて小さい
保守	操作機の保守及び絶縁油の交換を要す	操作機の保守及び空気圧力の管理を要す	操作機の保守及び絶縁物の汚損が無いよう管理	操作機の周囲の注油程度	操作機の保守及びSF ₆ ガスの水分管理

に、高圧用は油入遮断器（OCB）、磁気遮断器（MCB）、真空遮断器（VCB）、ガス遮断器（GCB）の順に移り変わっている。各遮断器の原理、特徴を表8-2に示す。機器のオイルレス化や省力化の要請から特別高圧用、高圧用ともガス遮断器や真空遮断器が多用され、空気遮断器、磁気遮断器の採用は少なくなっている。

油入遮断器は、最初に開発された遮断器であり、昭和30年代以前は主流を占めていた。昭和40年頃、絶縁油量を少なくした小油量遮断器が開発され小型化が一層進み、配電用遮断器として多く採用された。

昭和49年に、新装なった芝浦処理場では、特高用油入遮断器（定格電圧23kV・定格電流600A・遮断容量1,000MVA）が設置され、同時に稼働した送風機用遮断器等にも油入遮断器が使用された。昭和41年には錢瓶ポンプ所で、昭和44年に湯島ポンプ所で空気遮断器が採用された。また、湯島ポンプ所では、配電用遮断器に磁気遮断器を採用した。特別高圧用（20kV級）の真空遮断器は、昭和49年に、堀切ポンプ所で最初に採用されたが、近年は、60kV級でも真空遮断器が多く採用されている。

ガス遮断器は、昭和54年に、前述のように森ヶ崎処理場でガス遮断器（GCB：定格電圧72kV・定格電流800A・遮断容量2,500MVA）が導入された。昭和55年に大森南ポンプ室、昭和59年に篠崎ポンプ所、昭和63年に小岩ポンプ所でガス遮断器が採用された。

その後の60kV級の施設では、ガス絶縁開閉装置（GIS）が採用されており、組み込む遮断器は真空遮断器、またはガス遮断器が使われている。高圧受変電設備で受電遮断器には、ほとんどの施設で真空遮断器が採用されている。遮断器の投入、開放（切）の操作方式は、昭和30年頃まで、ハンドルを握って梃子の原理で

直接入り・切りする手動操作方式が多く、操作性や安全性に劣るものであったが、その後遠隔電磁操作に変わって取り扱いが容易になった。

2) 変圧器

変圧器の分類には、単相か3相かの相数による分類、絶縁方式による分類、冷却方式による分類等がある（表8-3）。

表8-3 変圧器の特徴

	ガス絶縁変圧器	油入変圧器	モールド変圧器
概略構造	変圧器の外箱を密封し電気絶縁性の良いSF ₆ ガスを充填、絶縁並びに冷却用として使用した構造。	ガス絶縁変圧器の構造と同じで、絶縁並びに冷却用として絶縁油を使用したもの。	巻き線を樹脂で注型または含浸モールドした構造。樹脂絶縁で冷却は空気による。
適用電圧	22kV・66kV	22kV・66kV・140kV	22kV
絶縁の種類	E種	A種	F種・H種
耐震性	油入変圧器に比べ軽量であり耐震性に優れる。	乾式変圧器に比べ耐震性に劣る。	ガスや油を密封しない構造なので耐震性に優れる。
据付面積	やや大きい	普通	小さい
安全性	不燃性・非爆性	可燃性	難燃性・非爆性
騒音	外箱が遮音効果を発揮するので、比較的小ない。	変圧器に油が満たされているため、遮音効果はない。	鉄心・巻き線が露出しており、油入変圧器より高い。
冷却方式	SF ₆ ガスの熱容量が小さいので3MVA程度以上は他冷式となる。	絶縁油を媒体としており自冷式が標準である。	空気を媒体としているため一般に1,000kVA以上は強制風冷式である。
保守点検	完全密封であるため点検は容易。ガス漏れ監視を要する。	通常点検は、容易である。（内部点検は期日を要する）	保守点検は最も容易で、風冷の場合ファン・フィルタの清掃が必要。
経済性	最も高価である	安価である	高価である
製作上限	77kV・25MVA	500kV・100MVA	33kV・10MVA

① 単相変圧器と3相変圧器

変圧器には、単相変圧器と3相変圧器がある。昭和40年以前は単相変圧器が主流で、1964年版（昭和39年版）の下水道施設基準においても、3相変圧を行う場合には、単相変圧器3台1組で1バンクとし、1バンクに予備器1台を置く方式が標準であった。

当時は、単相変圧器を標準としていたが、信頼性の点から単相変圧器3台を△結線で使用し、1台故障の場合にはV結線で使用することができるようになっていたのであった。昭和34年に、新装なった芝浦処理場の受変電設備は、単相変圧器7台（一次電圧20kV・二次電圧3kV・容量2,000kVA）で2バンクを構成し、残り1台を各バンクの共通予備とした。昭和37年に稼働開始の小台処理場でも同様の構成（20／3kV・単相2,000kVA）で現在も使用中である。

3相変圧器は、絶縁材料や製造技術が著しく向上して、故障もほとんどなくなってきたので、経済性、保守性、省スペースを考慮して、その採用を標準にすることに変わっている。それ以降の受変電設備においては、3相変圧器が主流であ

る。

(2) 絶縁方式

変圧器の絶縁方式は、絶縁材の発達により、油入式、乾式、モールド式、SF6ガス式等に分類される。この中で、樹脂等でモールド加工したモールド式変圧器の出現は、当時センセーションを起こした記憶がある。また、冷却方式は、自冷式、他冷式等に分類される。変圧器の絶縁は油入自冷式でスタートしているが、油温の変化により絶縁油が膨張・収縮し、その呼吸作用の際、絶縁油と空気が接觸、空気中の湿気と酸素が取り込まれ、絶縁油が劣化して絶縁性能が落ちるため、絶縁油の耐圧試験や交換が比較的頻繁に必要であった。この防止策としては、変圧器タンク内に窒素ガスを封入し、絶縁油と外部空気が直接接觸しないようにしたもののが開発された。これが、窒素封入式油入変圧器である。現在、ポンプ所、処理場で使用されている変圧器は、そのほとんどが窒素封入式油入自冷式変圧器である。60kV級の特別高圧変圧器では、油入変圧器とガス絶縁変圧器を比較すると、価格面で油入方式が有利である。

自冷式は、変圧器の表面に冷却用のフィンを付けたり、外部に冷却用パイプ群を設け絶縁油を循環させて空冷するもので、他冷式は、ファン等で強制風冷するものである。ちなみに、超大型変圧器では、水冷のものもあるが下水道局では採用された例はない。昭和34年に三河島処理場で初めて窒素封入式油入自冷式変圧器が採用された。

乾式強制空冷式変圧器は、H種絶縁を採用し、キュービクル内に変圧器を納めファンで強制的に冷却する型式である。昭和40年に銭瓶ポンプ所、昭和44年に湯島ポンプ所において、乾式強制空冷式変圧器（各1,500kVA）が採用された。銭瓶ポンプ所は共同ビルの地下、湯島ポンプ所は全地下室のポンプ所であることから、遮断器と同じく火災等の防災を考慮して乾式変圧器を採用したものである。その後の更新工事で、昭和62年に湯島ポンプ所は乾式自冷モールド変圧器（20／3kV・容量2,000kVA）に、平成11年に銭瓶ポンプ所は、SF6ガス絶縁変圧器（20／3kV・容量2,500kVA）に更新されている。

昭和57年、大森南ポンプ所（60kV場内変電所）で、SF6ガス絶縁変圧器が採用された。SF6ガス絶縁変圧器は、窒素封入式油入自冷式変圧器より軽いので更新工事等の際、変圧器容量を増加したいが、荷重がもたない等の場合を除き、価格の面から窒素封入式油入自冷式変圧器の採用が多いだろう。

3) 配電設備

配電設備（高圧・低圧配電設備、動力設備）には、高圧で電力を供給する高圧配電設備と低圧に変成された電力を低圧動力設備（沈砂機械設備や汚泥処理設備の低圧負荷）及び建築付帯設備に給電する低圧配電設備がある。昭和40年代に高圧及び低圧動力の電圧は、送電損失を少なくするためとケーブルを細くして、工事の作業性及び工事コストの削減のため、高圧で3kVから6kVに、低圧は200Vから400Vに昇圧している。また、低圧の400V化は高容量の電動機を低圧で運転できるようになり、取り扱いが容易になった。

高圧配電設備は、金属閉鎖型コントロールギヤ（JEM1425）（以下「高圧配電盤」という）及びコンビネーションスター等がある。低圧配電設備は低圧金属閉鎖形スイッチギヤ（以下「低圧配電盤」という）及びコントロールセンター（運転操作用の盤）や手元操作盤で構成される。

①高圧配電設備

昭和30年以前に設置された施設では、高低圧配電設備は開放型が主流で、鋼製パイプや山形鋼で組み上げた架構に、開閉器として手動操作式の油入遮断器や断路器等を取り付けたものであった。現在は、全て高圧遮断器が閉鎖配電盤に収納され充電部が隠蔽されて、安全性は非常に高いものになっている。写真8-6に旧配電盤を示す。

昭和30年代、芝浦水処理場の主ポンプ設備の油入遮断器を「弁当箱」と呼んでいたが、概略寸法30cm×40cm×50cmほどの中に刃形開閉器を組み込んだもので、遮断容量も定かでないようなもので、絶縁油の交換や刃を磨く（接点調整）等の作業を頻繁に行っていた。高圧動力の開閉装置には、金属閉鎖形スイッチギヤ、コントロールギヤ（以下「高圧配電盤」という）（JEM1425）及びコンビネーションスターの使用を標準としている（1994年度版下水道施設設計指針と解説）。

高圧配電盤は、遮断器により短絡保護と過負荷保護を同時に行わせるものである。また、遮断器の小型化等により、遮断器の保守点検を容易にするため、引き出せる構造や多段積み構造のものが出てきている。

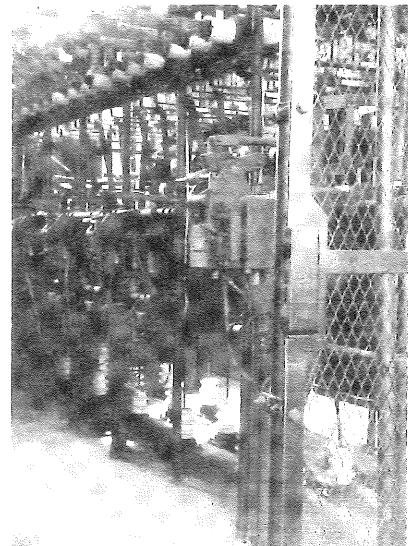


写真8-6 旧配電盤写真

高圧コンビネーションスターは、昭和40年頃から高圧負荷用開閉器で、力率調整用の進相コンデンサの制御用として使われはじめ、真空電磁開閉器と電力ヒューズを組み合わせたものである。通常の負荷電流の開閉と過負荷保護は、真空電磁開閉器で短絡事故時の異常電流を電力ヒューズが受け持つ方式である。この方式は、真空電磁開閉器の耐高開閉頻度や電気的・機械的寿命が真空遮断器に比べ格段に良く、安価で、かつ小型化ができて多段積みを可能にした。しかし、遮断器を使用しないため短絡領域の保護協調が難しい面がある。

②低圧配電設備

低圧配電設備には、低圧金属閉鎖形スイッチギヤ、コントロールセンター等がある。低圧配電設備は、高圧配電盤と同じく昭和30年頃までは、大理石板に穴を穿ち、ナイフスイッチやヒューズを取り付け、電磁開閉器と組み合わせ運転、停止操作をしていたが、操作時に感電の恐れもあった。

昭和30年以降、大理石が鋼板に変わり、これまでの自立開放型から金属製箱内に納めた閉鎖型配電盤に変わり、安全性、保全性は向上したが、盤内に組み込む機器は、区画せずに任意に配置してあるため、ナイフスイッチの開閉操作や点検作業には、慎重を要するものであった。

昭和40年に入ると、ナイフスイッチとヒューズに変わり配線用遮断器（MCB）が開発・導入された。低圧配電盤は、配電用遮断器の操作面のみを前面に出し、配線等の充電部を金属板で遮蔽した、より安全性を増したスイッチギヤが使用されはじめた。また、機器数が多くなった対応として、画期的なのは、配線用遮断器と電磁開閉器等を用途により組み合わせ、一つのユニット内に収納し、それを4段から6段に積み上げたロードセンター（写真8-7）やコントロールセンター（写真8-8）が出現したことである。コントロールセンターは、主回路と制御装置を収納した

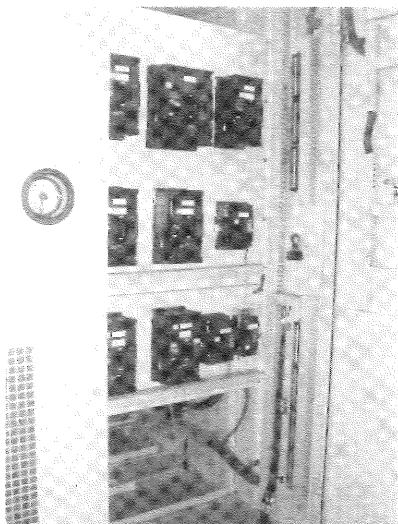


写真8-7 ロードセンター

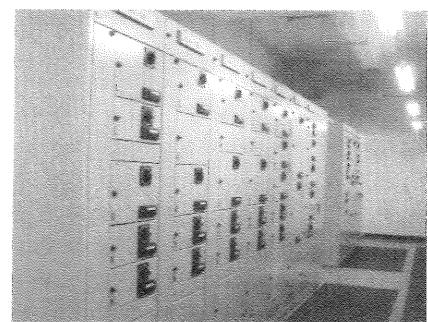


写真8-8 コントロールセンター

複合盤により保守性、保護能力、拡張性等に優れていたため、開発後、すぐに主流の機器となった。収納機器の小型化により、7段積みや両面配置のものも開発された。コントロールセンターは、昭和42年に新田ポンプ所にはじめて導入された。このコントロールセンターの採用により、据付面積は、従来の60～70%に縮小された。

4) 力率改善設備

下水道設備の負荷は、大部分が電動機等の誘導負荷であるため、電流位相が電圧位相よりも遅れ、力率低下（遅れ力率）の状態となる。遅れ力率の状態となると、種々の弊害が出るため力率改善が必要である。

①改善効果

力率改善の効果には、①需要家で力率が遅れて無効電力が増加すると、電力会社側では、電力損失、送電効率の低下に伴う電源設備、送電設備投資が増大する。このため、電気供給約款では、力率改善が推奨され、遅れ力率が85%を上回る場合には力率1%につき基本料金を1%割引き、力率が遅れ85%を下回る場合には、力率1%につき基本料金を割増しする。ただし、進み力率は力率100%として計算する制度としている。従って、力率改善を行うことにより電気料金の低減を図ることができる、②力率改善により無効電力が減少するので変圧器励磁電流が低下し、変圧器容量に余裕が生じるため、有効利用ができる、③力率改善により無効電力が減少するので電圧降下が小さくなる等がある。

②目標力率

力率は、100%であることが最良であるが、一般的に力率改善に必要な進相コンデンサ95%程度を境に設備投資額が著しく増加する。そのため下水道局では力率改善目標を95%としている。改善前の力率95%を100%にするための進相コンデンサ容量は、改善前の力率90%を95%にするための進相コンデンサ容量の倍以上となる。ただし、設計上の改善目標は晴天日の時間最大負荷時を想定しているため、通常は98～100%力率改善が可能である。

③力率改善の設備

力率改善の設備としては、高圧コンビネーションスタータ、進相コンデンサ、放電コイル、直列リアクトル等である。力率改善は、高圧負荷（電動機）と並列に進相コンデンサを設置するのが一般である。近年、母線に複数の進相コンデンサを設置した自動台数制御方式が増えてきている。

一方、進相コンデンサは、絶縁抵抗が高く、進相コンデンサを開路した時に進

相コンデンサには電荷が残留し、放電に相当の時間がかかる。しかし、保守点検時の安全確保、また、再投入時には電源の投入位相の関係で、ほぼ放電を完了させる必要があり、残留電荷を速やかに放電させるために放電コイルが設けられる。放電コイルの場合は、5秒後に50V以下にできるものとする（JIS C 4902-1998）。また、進相コンデンサに高調波が流入した場合は、高い高調波に共振し、配電系へ流出する場合がある。これを低減させるために直列リアクトルを設置する。

8. 4 自家発電設備

自家発電設備は、下水道のような公共施設において、住民の安全を確保する上で非常に大切である。特に下水道事業のような装置型事業では、電気に依存する分野が多いので、電力会社での都合や停電でも常に機能を維持して、住民にサービスを提供する義務がある。この対応措置としては常用発電機を設置してきている。最近では、電力費削減により常用発電設備化が注目されてきている。また、焼却炉廃熱を利用した常用発電設備もクローズアップされている。

1) 発電機

自家発電設備は、ポンプ所、処理場が電力会社からの電源供給が停止（停電）した場合でも、雨水ポンプ用電力や最小限の水処理用電力を確保して浸水防止、処理機能の維持をするための設備で発電機及び原動機で構成されている。自家発電設備が下水道局に採用されたのは、昭和29年の山谷ポンプ所が初めてである。これは、エンジン掛ポンプ補機用の発電機として200V、20PS、10kVAである。

それ以後、昭和40年に尾久ポンプ所に、発電電圧3kV・発電容量1,500kVAの発電機が設置されたのを皮切りに、昭和41年に志茂ポンプ所（2,500kVA）に引き続き、順次設置されて今日に至っている。発電機は一般に回転界磁形3相同期発電機が採用されているが、小型の場合は、誘導発電機も採用されている。例えば、昭和59年に小台処理場での消化ガスを利用した発電（1,000kVA×3台）には、誘導発電機が採用されている。

自家発電設備は、機能上信頼性の高い電源供給システムと負荷の運用に最適な電力供給システムを確保して、異常時に迅速に対応することが求められる。設備的には発電機側の信頼性の向上はもとより、買電と発電の2重母線で対応している。

大型発電機の採用は、これまで雨水ポンプとしてディーゼルエンジン直結形ポンプが多く採用されていたが、始動時の黒煙や臭気、騒音等の苦情、多量の燃料

を保有するため危険物規制等の問題もあって、操作性の良い電動機直結雨水ポンプが採用されるようになってきた。

さらに最近では、都市化による雨水流入水量の増加や大深度化する流入幹線のため、ますますポンプ所は、大型化、揚水ポンプの高揚程化で電動機容量が大きくなっている。これは必然的に需要電力の増加を招き、停電時の非常用電力としての発電機も大容量のものになった。

陸用ディーゼルエンジンでは、発電容量10,000kVA程度が製作限界とされ、さらに市街地に設置されるポンプ所等は敷地も狭いことや、ディーゼルエンジンの重量及びサイズが大きいこと、騒音問題等からも設置が難しくなってきた。そこで、航空機用ガスタービンを原動機とした大型発電機が採用されるようになった。表8-4にディーゼルエンジンとガスタービンの原理・特徴を示す。

表8-4 ディーゼル機関とガスタービン

	ディーゼル機関	ガスタービン
原理	間欠燃焼爆発する燃焼ガスの熱エネルギーを一旦ピストンの往復運動に変換し、それをクラシク軸の回転運動に変える。	連続燃焼している燃焼ガスの熱エネルギーを直接タービンで回転運動に変換する。
燃料	A重油・軽油	A重油・軽油・灯油・ガス
燃料消費率	0.15～0.23(kg/ps·h) 0.20～0.31(kg/kW·h)	0.25～0.50(kg/ps·h) 0.34～0.68(kg/kW·h)
回転数	750～1,800rpm	10,000～50,000rpm
排気温度	350～450°C	500～650°C
負荷投入	投入率は機関の平均有効圧力により異なる	一軸型100%投入可能 二軸型70%投入可能
始動方式	空気始動・電気始動	空気始動・電気始動
始動時間	10～20sec(ブライミング時間含まず)	30～40sec
冷却方式	水冷	空冷
無負荷運転	燃料の完全燃焼が得られにくい。潤滑油アップ量が増し、燃料室内又は過給機にカーボン付着が多い	特に問題はない
騒音	全周波域105～110db	高周波域110～125db
振動	往復運動のため大きい	回転運動のため少ない
重量等	大きく重い	小型軽量
基礎	大きい	小さい
設置スペース	機関本体は大きいが、排気管・消音器のスペースは小さい	機関本体は小さいが、給排気管・消音器のスペースは大きい

2) ディーゼルエンジン

ディーゼルエンジンは、その性能の改良を加えながらも、今まで構造的には、ほとんど変わらず、「下水道施設設計基準1994年（平成6年）版」に、はじめて発電機用原動機としてガスタービンの採用が記載されるまで、自家発電機の原動機として採用されてきた。昭和59年に、下水道局最大のディーゼルエンジン（V型単動4サイクル16気筒直接噴射式、10,300PS、9,000kVA）の発電機が、篠崎ポンプ所（計画排水量108m³/S）に導入された。これは、陸用ディーゼルエン

ジンでは製作限界のものといわれている。

3) ガスタービン

下水道局で最初のガスタービン（航空機転用オープンサイクルフリー型）発電機は、昭和52年森ヶ崎処理場に導入された。発電機出力は10,000kVAのものである。ガスタービンは、①ディーゼル機関に比べ熱効率は悪いこと、②コンパクトのため設置スペースが小さく軽いので、建物建設費が安いこと、③冷却水が不要でかつ騒音対策は高周波のため処理が容易なこと、④振動が少ないと等の特徴があり、その後、森ヶ崎処理場をはじめ、昭和62年に砂町処理場で発電容量が最大の25,000kVAが設置されたのを含めて6処理場10箇所のポンプ所に採用されている。

8. 5 今後の動向

受変電設備には、重要な役割を担っている各種保護継電器がある。保護継電器は、多くの技術開発により性能が一段と向上して、電力の安全性及び安定性に大きく貢献している。当初アナログ式であったものも、今日ではデジタル式も開発・採用されている。この他に、無停電源装置は蓄電池及びインバータの性能の向上に目を見張るものがある。

下水道局では、東部スラッジプラントで焼却炉の廃熱発電や、最近では葛西処理場や南多摩処理場で電力貯蔵設備（NaS電池）の採用や、森ヶ崎処理場では、PFIによる消化ガス発電等が稼働開始している。また、電力を取り巻く環境は、電力の自由化、維持管理要員の少子高齢化、地球温暖化防止のための省エネルギー化等が潮流となっている。電気設備は、諸々な技術開発が行われており、施設の改築、更新にあたり、ますます小型化するGISの採用による省スペース化や、低圧配電設備や手元操作盤等では伝送技術の進歩から携帯端末を利用しての省ケーブル化や手元操作盤等の削減、省エネルギー・省力化製品の出現が期待される。

第9章

監視制御設備

9.1 監視制御設備の歩み

監視制御設備は、下水処理プラントを構成する多様な機械、電気設備を適時適切に水処理、汚泥処理等の目的にあわせて稼働させるための、機械とオペレーター（運転職員）を結びつけるマンマシンインターフェイスである。

古い時代の監視制御設備は、下水処理に直接関わるものでなく、技術的・機能的に適した機器がなかったため、十分ではなかった。監視制御設備は、近年の下水道の全国的な普及とともに、処理施設の効率的な運営、作業環境の改善、維持管理費の抑制等、社会的要請の高まりと、電気通信技術、情報処理技術の飛躍的進歩によって、この50年間に急速な発展を遂げた。

この間、下水道局の下水処理施設数は、昭和30年の面積普及率15.6%の時代で、3処理場、10ポンプ所から、平成6年度に普及率100%を概算して、平成15年に19処理場（流域処理場含む）、82ポンプ所へと拡大した。しかし、その施設数の増加割合よりも非常に少ない職員増で、施設の管理体制を整えることができたのは、監視制御設備の発展に負うところが大きい。

昭和30年以前の処理場、ポンプ所のオペレーターの仕事は、もっぱら個々の機器の運転・停止操作と日常の点検補修であった。監視制御設備といえば、機側の現場操作盤（手元盤）と受変電、主ポンプ等の主要機器の計器盤のみであった。例えば、主ポンプの運転は、「封水弁開」「真空ポンプ運転」「主ポンプ満水」「OCB（高圧しゃ断機）－入」「二次抵抗器－減－二次短絡」「制水弁－開」という操作のため現場を走りまわる、極めて労力集約的な作業であった（写真9-1）。

昭和39年の東京オリンピックに対応するため、下水道普及率の急伸が計画された。この20年間に、昭和37年に小台、昭和39年に落合、昭和40年に森ヶ崎の三処

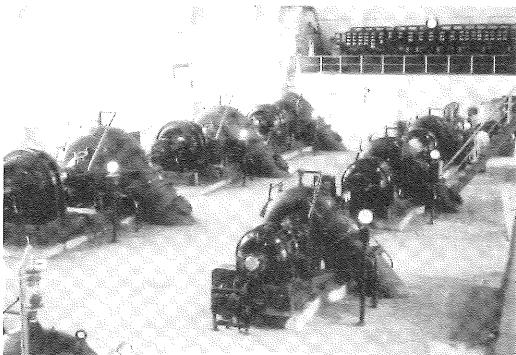


写真9-1 芝浦処理場旧主ポンプ室（昭和35年頃）
ステージ上に高圧配電盤が並んでいる

理場が建設され、昭和36年には三河島、芝浦、砂町の既存の三処理場には散気式ばっ氣槽が導入された。また、21カ所のポンプ所も建設された。そして、これらの新設の処理場、ポンプ所には、必ず監視室（中央監視室）が作られ、ベンチボード型監視制御盤が設置された。監視制御盤の導入で、場内の主要機器、主要設備の監視・制御は、一人のオペレーター

で行えるようになった。このことは、オペレーターが「機械のお守り役」から「下水処理プラントの管理要員」として、大きな役割の変化をもたらした。

遠方監視制御は、昭和41年に自営多芯ケーブルによる監視のみだったが、芝浦処理場と品川埠頭ポンプ所間で採用した。昭和43年に浮間ポンプ所と志村ポンプ所間、昭和45年に平和島ポンプ所と鮫洲ポンプ所間等には、監視・制御の両機能を持った監視制御が導入され、今日の遠方監視制御の基礎を築いた。

計算機導入の第1号は、昭和47年に芝浦処理場の主ポンプ棟の更新に合わせて、導入された制御用コンピューターである。このときのCPUは、1台のミニコンピューターのみで、主にデータロガとメッセージタイプライターでデータ管理と制御、グラフィックパネルの表示灯の点滅等、簡単なものであった。その後、計算機システムは、昭和48年に森ヶ崎処理場に、昭和50年に砂町処理場の砂ろ過施設に採用された。しかし、ハード及びソフト面で技術的未熟な面があり、初期トラブルも多く、プラント制御には、不安の残る時代でもあった。

昭和52年に小菅処理場、昭和56年に葛西処理場、昭和59年に中川処理場が相次いで稼働した。この三処理場の監視制御は、計算機制御を軸にして計画・設計され、複数のCPUと大容量の磁気ディスクメモリー、高速データウェイの採用で、現在の計算機システムと基本的には変わらないシステムであった。この頃には、水処理・汚泥処理のプロセスにSPCからDDC分散制御システム等のプラント制御システムが実用化されはじめた。大型グラフィックパネルと、CRTモニターを搭載した操作卓（オペレーターズコンソール）は、これまでの下水道施設のイメージを大きく変えたものであった。

区部では、昭和52年に梅田ポンプ所、昭和59年に篠崎ポンプ所等、大小合わせ

て22カ所のポンプ所が建設された。多くのポンプ所では省スペース及び省エネルギーの観点から、ミニグラフィックパネルとCRTモニターと二重動操作スイッチのキーボードを一体化した監視制御卓が主流であった。昭和63年には、気象レーダーを用いた「降雨情報システム（東京アメッシュ）」が完成し、ポンプ所の雨水ポンプ運転の適時・適切化と信頼性に大きく寄与した。平成元年には、最初の下水道光ファイバーケーブルを用いた遠方監視制御が、後楽ポンプ所と湯島ポンプ所間で導入され、下水道に本格的に光ファイバーケーブル採用の先鞭となった。従来の公社線（メタリックケーブル）の伝送速度（50～9,600bps）に比べて、極端に高速（Gbps）の光ファイバーは、①光損失が少ないこと、②情報の高速・多量伝送が可能であること、③電磁誘導の影響が少ないと等の特徴があり、信号伝送路としては理想的で、以後の遠方監視制御装置には自営の光ファイバーケーブルが引けない特別な場合以外に必ず採用されている。

平成7年に中野処理場及び有明処理場、平成13年に新河岸東処理場の3処理場のほか、平成9年に白鬚西ポンプ所、平成9年に汐留第二ポンプ所、平成12年に東糀谷ポンプ所等、大規模の雨水ポンプ所5カ所を含む14ポンプ所が稼働した。監視制御設備では、グラフィックパネルに代わって、IT技術の発展によりCRTや大型スクリーンと呼ばれるマルチスクリーンディスプレーが採用された。

シーケンスやデジタル計装による自動制御回路には、各ローカルステーションにマイクロコントローラーが導入された。写真9-2に示すようにCRTモニターや大型スクリーン等ビデオディスプレーを中心とした監視制御設備は、ソフトウェアの変更で多様なプロセスの変更に対応が可能で拡張性に富んでおり、非常に完成度の高いものになってきた。

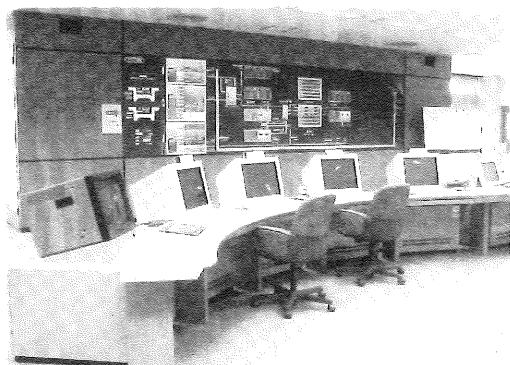


写真9-2 新河岸東処理場の中央監視室
(大型スクリーンとCRT操作卓)

9.2 監視制御方式

監視制御技術は、電気設備の中で頭脳に該当するもので、非常に重要な役割を果たしている。また、技術的進歩には目を見張るものがあり、監視制御の高度化は、電気設備の信頼性の向上、維持管理の省力化に大きく貢献している。

1) 操作場所による監視制御方式

監視制御方法は、いくつかのパターンに分類されるが、技術の進歩とともに自動制御理論が具体化され、制御目的に応じて導入されてきた。図9-1は、集中監視制御システムに関わる機器と制御信号の流れを表わした略図である。

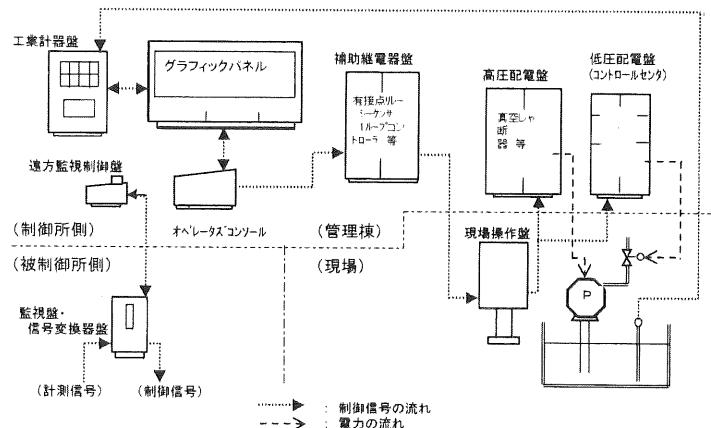


図9-1 集中監視制御システムの例

①現場個別制御（現場単独操作）

現場個別制御は、昭和30年以前に一般的な方式であり、複数の機器が連携し作動する必要がある場合に、オペレーターが機側の現場操作盤で一台一台を運転確認しながら制御する方法である。昭和30年代以降は、主に機器の調整試運転の時に使われている。

②監視一人制御（遠方操作）

監視一人制御は、中央監視室のように機側以外の離れた場所からオペレーターが個々の機器を単独に、あるいは連動して制御する方法であり、昭和30年代～昭和40年代からは一般的になっている。

③遠方監視制御（テレコン・テレメーター）

遠方監視制御は、制御場所の敷地以外の場所にある機器を、信号伝送路を使って監視制御する方法である。昭和40年代初期から導入され始め、現在では約20の制御場所と約50の被制御場所がある。昭和63年までは、公社線を使用して運用開始した。しかし、公社線の伝送周波数帯域は狭く、信号伝送速度に限界があって、制御の速度があげられず、操作指令が相手に届くまで秒単位の遅れがあり、動画が送れない等の不満が最後まで残った。

平成元年以降の遠方監視制御では、下水道局自営の光ファイバーケーブルを伝

送線に使用している。光ファイバーは、伝送速度が大きいので制御の速度が速く、また、ITVの映像も鮮明な動画で送れる等、技術的には理想的な伝送路といえる。

2) 制御方法による監視制御方式

制御方式は、手動操作と自動制御に大きく分類されるが、自動制御に対する理論的確立は半導体とそれに伴いコンピューターの出現で確実となってきたことに同時に、小型化、操作性が著しく向上した。手動制御はオペレーターが個々の機器を直接運転・停止する制御である。一連の連動運転のスタートスイッチを入れ切する場合も含まれる。自動制御には、①シーケンス制御、②フィードバック制御、③フィードフォワード制御、④ファジー制御等がある。

①シーケンス制御

シーケンス制御は、複数の機器を予め定められた順序や条件に従って自動的に運転・停止させて、1個の装置としての機能を発揮させる方法であり、最も一般的な自動制御方法である。

②フィードバック制御

フィードバック制御は、温度、水位、流量等のプロセス値を、定めた目的値に保つ自動調節制御の一つの方法で、調節後のプロセス値（計測値）と目標値の偏差を常にゼロに近づけるようにする制御方法である。アナログ計装からデジタル計装へと進展して今日の計算機制御に結びつき、一般的なプロセスの自動制御方法である。下水道では、昭和30年代半ば頃、アナログ計装で消化槽加温ボイラーテの温度制御に用いられたのがはじめてである。

③フィードフォワード制御

フィードフォワード制御は、自動調節制御の一種で制御結果に係らず、プロセス値を入力値として、既知の演算式に従って制御するもので制御応答が速いといわれるが、下水道ではほとんど例を見ない。

④ファジー制御

ファジー制御は、計算機を用いて行う制御で複雑なプラント制御が必要な場合、これまでのオペレーターの成功経験を計算機に記憶させ、最適制御を図るものである。平成元年、湯島ポンプ所のポンプ運転制御に導入された。

9.3 監視制御機器

監視制御機器は、オペレーターと電気・機械設備を仲介するマンマシンインターフェイスの役割を果たすものであるが、それを構成する機器も時代とともに進

化・発展してきた。

1) 現場操作盤

昭和30年代以前は、現場操作盤だけが設備の操作手段であったが、制御の集中化、遠方化とともに、もっぱら現場での調整試運転用となった。

①高圧現場操作盤

昭和40年代はじめには、芝浦処理場の地下の第一沈殿池汚泥ポンプ室で、手動で入一切する高圧油入りや断器盤（裏面開放型配電盤）が使用されていたが、昭和40年頃には、地上の配電盤室に閉鎖型高圧や断器盤が設置され、機側にはポスト型の現場操作盤が設けられた。

②低圧動力盤

昭和40年代以前、沈砂池機械は、沈砂池室の壁面に取り付けた低圧動力盤（ナイフスイッチ、ヒューズ、マグネットスイッチ内蔵）の表面扉にある集合押ボタンスイッチで入一切をしていた。その後、更新されて電気室の低圧配電盤と現場操作盤の組み合わせに変わった。

③手元操作盤

手許操作盤は、昭和30年代頃から現在まで機側盤の主流である。形式には壁掛け型、ポスト型と自立型に分類される。写真9-3に示すように盤の表面に押ボタンスイッチ、またはCS、COSスイッチ、電流計、R（赤）G（緑）ランプ、故障表示灯等で構成されている。自立型は圧力、温度等の計測機器を必要とする主ポンプ、プロワ等の高圧、または大容量機器に使用され関連補機と一緒に、また、数台の機器を一つの盤で入一切をする場合に用いられている。

2) 集中監視制御盤

監視制御機器が大きく進歩発展した一つには、集中監視制御機器がある。最近は集中監視制御盤を設置せず、パソコン一台で対応するようになってきている。

①ベンチボード型

ベンチボード型は、昭和30年代、昭和40年代の中央監視制御方式の普及に伴い、

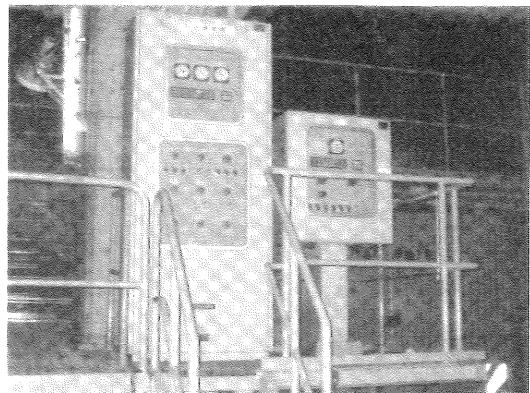


写真9-3 現場操作盤
(左：自立型、右：ポスト型)

中央監視室に設置された。写真9-4に示すように、手前の斜面部には、模擬母線に捻回式のスイッチとRGランプ、奥の垂直面には、メーター類と故障表示器、また、手前足元の垂直面には、故障表示機、制御電源スイッチ等を取り付けたものである。中にはリレーシーケンスや工業計器を組み込んだものも作られたが、その後グラフィックパネルとオペレーターズコンソールの出現で急速に陳腐化していった。

②グラフィックパネルとオペレーターズコンソール

グラフィックパネルは、見た目が豪華で簡単にプロセス模型を変更できるため、昭和40年代後半から下水道設備に普及した。昭和47年に芝浦処理場に設置された中央監視盤では、グラフィック面が自立盤式のものであった。この方式は、その後、昭和56年葛西処理場等に導入された。また昭和52年には写真9-5に示すように、小菅処理場に壁埋込式が採用された。これは意匠性に富んだ大型パネルに、プラントのフローシートと点灯する機器シンボルが描かれて、オペレーターに対する視認性を高めるとともに、見学者へのアピール効果が向上した。

オペレーターズコンソール（操作卓）は、グラフィックパネルとセットで設置された。手前の平面にプラント機器の操作を行うキーボード（集合押ボタンスイッチ板）、奥の傾斜面にはメーター類、集合故障表示灯、CRTモニター等が組み込まれていた。スイッチは「選択」と「入一切」又は「開閉停」の二挙動式で、受変電設備等の重要部は、専用蓋付スイッチにする等、誤操作防止策が施されていた。

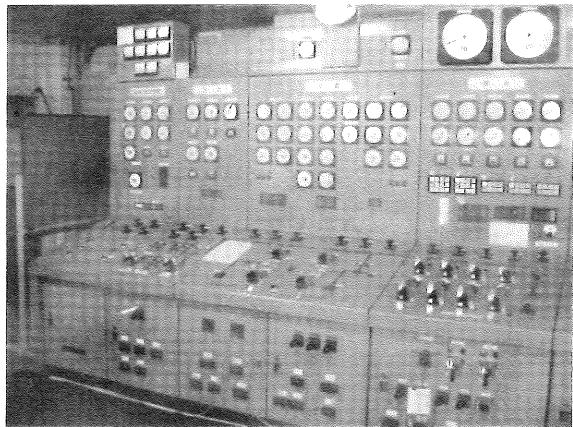


写真9-4 ベンチボード型監視制御盤
(吾嬬ポンプ所)

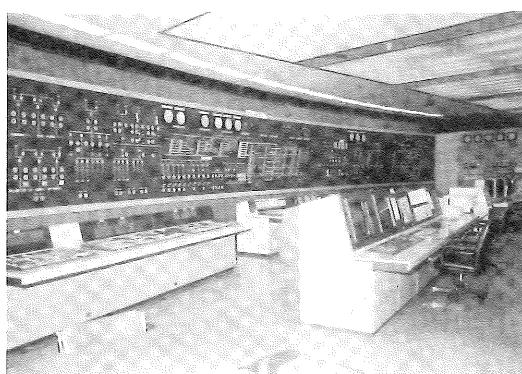


写真9-5 グラフィックパネルとオペレーターズコンソール (小菅処理場の旧中央監視盤)

③ミニグラフィック盤

ミニグラフィック盤は、昭和50年代半ばから多くのポンプ所に導入された。小型のグラフィックパネルとオペレーターズコンソールを一体化した形式で、手前の平面にはキーボード、奥の傾斜面にミニグラフィックパネル、メーター類、集合故障表示灯が配置されている。写真9-6の初期のものは、奥の表示面の高さが小さく傾斜の角度も緩やかだったが、工業計器類が組み込まれると高さも、奥行きも大きくなり、傾斜も垂直に近くなってきた。

④オペレーターズデスク(操作卓)

オペレーターズデスクは、平成13年に稼働した新河岸東処理場や平成14年に稼働した両国ポンプ所の操作卓に、キーボードがなくなり、フラットデスクにCRTモニターや液晶モニターが置かれただけのシンプルなものになった(写真9-7)。

⑤大型スクリーンパネル (大画面CRT, マルチスクリーン)

大型スクリーンパネルは、モザイクタイル式のグラフィックパネルに代わってコンピューターグラフィックスの画像を利用して、ソフトウェアだけで自由に画面を作れるビデオディスプレーが今日の主流となった。ディスプレーの種類には、大画面CRT(平成元年芝浦処理場), マルチスクリーンディスプレーがある。大型スクリーンパネルは、平成13年に新河岸東処理場、平成14年に森ヶ崎水処理センター、平成15年に小菅処理場で導入された。この原型というべきものとして写真9-8のように、昭和60年頃、砂町処理場の汚泥処理監視用として盤内にビデオプロジェクターを組み込んでスクリーンに照射させた画像を見る形式で、当時として画期的であったが、今のCRTほど鮮明に表示されなかった。

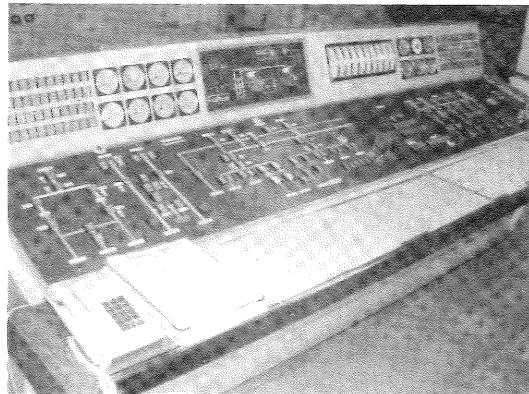


写真9-6 ミニグラフィック盤（加平ポンプ所）
(グラフィック面が低い比較的初期のタイプ)



写真9-7 CRTだけの操作卓（両国ポンプ所）

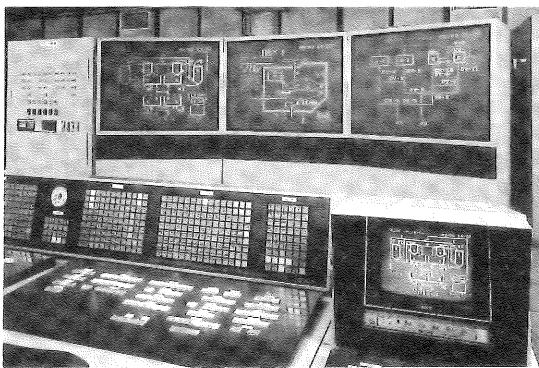


写真9-8 内蔵ビデオプロジェクターのグラフィック画面（砂町水処理センター旧汚泥棟監視室）

クをクリックして機器の制御をする等、マンマシンインターフェイスのツールとして重要な位置を占めるようになった。

⑥CRTモニター

CRTモニターは、昭和40年代からモノクロITVのモニターとして存在したが、計算機システムの導入でモニターのディスプレイの機能・性能が向上したため大幅に広がった。文字や画像を表示するだけではなく、入力方法は、テンキー、タッチペンやマウスで画面のシンボルマー

⑦帳票端末装置

帳票端末装置は、昭和40年代前後から計算機の導入によりデータロガー（日報・月報記録）、高性能のメッセージタイプライター（警報、機器運転記録）等の導入を容易にして、手書きの帳票機能を自動化して業務の簡素化と正確性を向上した。写真9-9に示すように、最新のシステムでは、帳票端末装置として1台の卓上プリンターが多目的に使用されている。

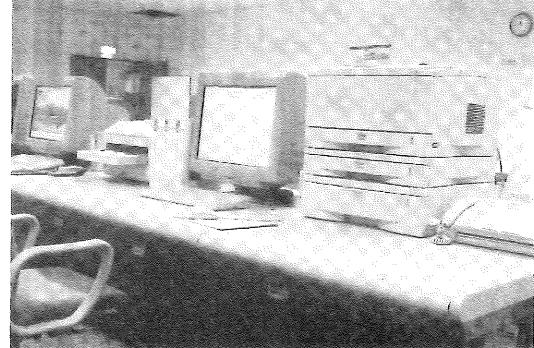


写真9-9 帳票端末装置

⑧遠方監視制御盤

下水道局の遠方監視制御は(1:1)×N方式を採用しているので、制御所側の監視室には、被制御所の数だけ監視制御ユニットを組み込んだ制御盤、または操作卓があった（写真9-10）。平成元年以降に構築された遠制システムでは、光ファイバー伝送路が用い

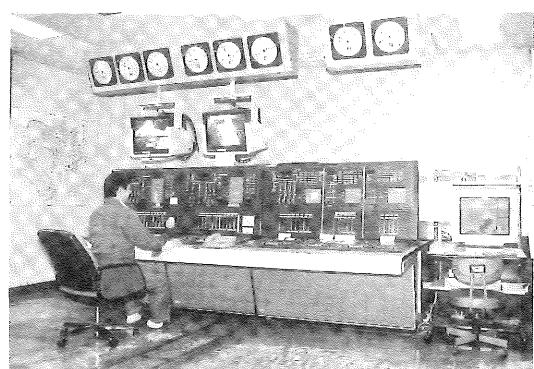


写真9-10 遠方監視制御盤（平和島ポンプ所）

られ、動画ITVによる監視や複雑な制御も可能となったので、CRTモニターを制御盤や操作卓の代わりに用いるようになった。

3) 工業計器盤

汚泥消化槽の温度制御やばっ気槽のDO、MLSS制御に工業計器による自動制御を行うため、中央監視室に工業計器盤が設置された。昭和50年代までのアナログ計装時代には、演算機、調節計、警報設定機等の個別の機能を持った工業計器が多数取り付けられた。アナログからデジタル技術への進化に伴い、マイクロコンピューター内蔵のデジタル調節計や、シングルループコントローラーが導入されると、工業計器盤面はシンプルになり、やがてコンピューター制御が普及すると制御ループもソフトで構成され、CRT画面で調節計パネルが表示され、設定調整も簡単になってハードウェアの工業計器盤は不要になった。

4) 補助リレー盤

昭和40年代後期まで、シーケンスを構成する有接点リレー類は、低圧盤やコントロールセンターの内部に取り付けられていたが、シーケンスが複雑になってくると補助リレーが多くなり、専用の補助リレー盤が出現した。

昭和50年代に両面型コントロールセンターの普及とともに補助リレーを取り付けるスペースがなくなり、独立した地位を占めるようになった。また、その内蔵機器類は、制御技術の進歩とともに変化してきた。

5) 制御システム

監視制御の心臓部は、制御回路に左右される。簡単なものはリレーシーケンスであり、工業計器であるが、半導体の開発・利用で高度の制御回路が容易にできるようになった。代表的なものはコンピューターである。

①ワイヤードロジック（リレーシーケンス）

昭和40年代半ばまでシーケンスは、もっぱら有接点リレーと機械式、または電子式タイマー等を配線で繋いで構成された。リレーシーケンスは、拡張・変更に対する対応性が悪く、寿命が短い等の弱点があり、電子式のシーケンサー等に変わってきた。

②プログラマブルコントローラー（ピンボード式設定器等）

プログラマブルコントローラーは、複数の機器が決まったタイミングや条件のもとで一斉に入一切をするようなプロセスに用いる。砂ろ過設備の逆洗工程等に採用された。

③シーケンサー

シーケンサーは、汚泥焼却炉の運転制御のような複雑なシーケンスになると、そのステップ数は膨大なものとなり、有接点リレーで組んだ場合、工期は相当なものになるのでシーケンスを計算機の論理演算に置き換えたシーケンサーが開発された。そこで昭和47年に、砂町処理場の汚泥焼却炉の制御に導入したのが最初である。シーケンサーは、無接点で高信頼性、配線もソフトウェアで構成されるので工場製作工程が大幅に省力化されたと同時に、現場でシーケンスの変更を容易にしたもので画期的であった。

④マイクロコントローラー

昭和50年代以降、マイクロコントローラーや制御用計算機の時代になると、シーケンスのほかに演算制御回路もソフトで構成されるようになり、補助リレー盤は、高低圧配電盤と制御システムとのインターフェイスとしての機能が重視されることになった。

9.4 計算機制御システム

下水道施設への計算機制御の導入は、昭和47年の芝浦処理場に始まるが、この時は管理データの処理等、ごく限られた用途に用いられた。水処理、汚泥処理プロセス制御に用いられたのは、昭和56年の葛西処理場からといわれている。

1) 初期の計算機制御システム

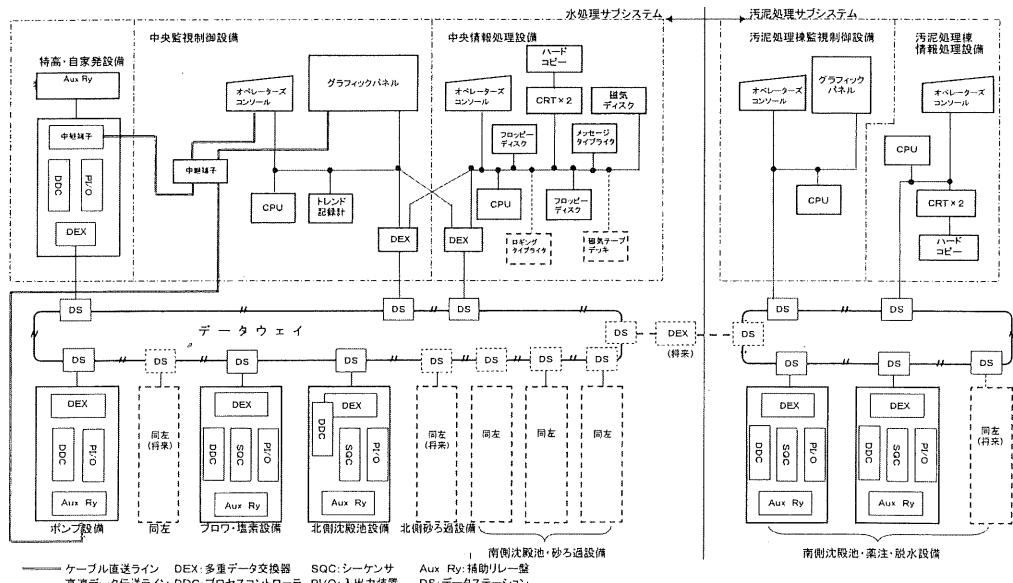


図9-2 葛西処理場の計算機制御システム（昭和56年当初）

初期の計算機制御システムは、昭和56年に導入された葛西処理場の計算機制御システムで系統図を図9-2に示す。CPUは、4ヵ所の管理拠点に分散配置され、プロセス毎のローカルステーションを結ぶデータウェイも、水処理系と汚泥処理系の2つに分けて計画された。データウェイは、大量の制御ケーブルや補助リレーを無くす画期的なものであった。特高受変電設備、自家発電設備、ポンプ設備等の重要な設備には、コンピューターダウン時の対策として直接ケーブルを用いた冗長設計で万全を期した。オペレーターズコンソールには、二重動作のキーボードがシステムへの操作端として設けられていた。

2) 最新の計算機制御システム

最新の計算機制御システムは、平成13年に稼働した新河岸東処理場の計算機制御システムで系統図を図9-3に示す。

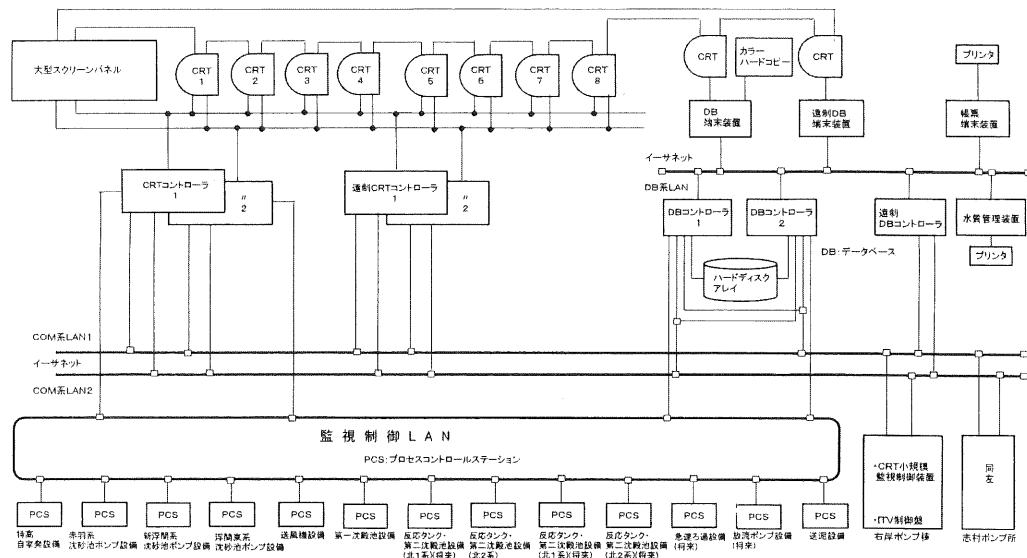


図9-3 新河岸東処理場の計算機制御システム（平成13年）

CPUは、CRTコントローラ用が4台、DB（データベース）コントローラ用が3台あり、主要部を2台ずつでカバーしている。管理用のCRTは、プロセス用が8台、DB用が2台ある。13個の場内プロセスコントロール用のサブステーションは、全て1個の監視制御用のLANに接続され、中央監視室の監視制御設備やDBに接続されている。これらは、ハイアラーキシス템とも呼ばれている。葛西処理場の計算機制御システムとの大きな違いは、モザイクタイルの表示装置やキーボードの操作端末のように、その施設にだけ適合する特別なハードウ

エアが監視制御設備には見当たらないことである。このことは、プロセスの変更に対して、迅速で安価な対応を可能にしたところである。

9.5 今後の動向

監視制御設備の発展は、常に正確で迅速なプラント制御を目指して、新しい技術を開発し、積極的に導入してきた先輩技術者の努力の成果といえる。そして、多くの古くて非効率で、使い勝手の悪い設備は改良や再構築で改善してきた。

今、下水道事業は、汚水の排除・処理による生活環境の改善、公共用水域の水質保全、雨水の排除による浸水防除等の従来の下水道事業に加えて、健全な水環境の創造、循環型社会形成のための下水道資源の有効活用等の、新たな役割を担うことが求められている。そのために下水処理プロセスは、一層高度な処理方式が、それを支える処理プラントにはより高度のシステムが、導入されていくことは間違いない。

このようなプロセスやプラントの変化に柔軟に対応するとともに、省エネルギー・省資源・省力化の対応やシステムの安全性及び信頼性の向上を、低コストで構築されることが強く求められる。計算機制御システムに代表される監視制御設備は、ソフトの変更で柔軟に対応できるのでコストや工期上でのメリットは図り知れない。弛まぬ制御・情報技術の発展とともに、さらなる監視制御設備の進展に期待していきたい。

第10章

計装設備

10. 1 計装設備の歩み

計装設備とは、測定装置、制御装置等を装備すること（JISZ8116-1972）である。昭和40年代まで、計測器単体は工業計器と呼ばれていたが、本章では計装設備として扱う。計装設備は、①プロセスの状態監視、②プロセスの経済的・効率的管理、③自動制御のセンサー、④法令上の設置義務等のために進歩・発展してきた。プロセス上の計装設備には、水位、流量、圧力等の物理量を計測する量的計測と溶存酸素(DO)、汚泥濃度、COD等を計測する質的計測に分けられる。

下水道の計装設備は、大正11年に三河島汚水処分場において、開設当初より、ベンチュリ式及び堰式流量計とフロート式水位計等の計測器を導入したことにはじまる。計装設備は、三河島汚水処分場に導入されてからの30数年間、流入汚水量の計測場所の変更以外には、大きな変化は見られなかった。最初に導入したベンチュリ式流量計、堰式流量計及び水位計は、商社経由で輸入された機器を使用している。昭和8年の水道年報に「大正9年（水柱式自記計量型415,800円×2基）、昭和3年に（錢瓶町ポンプ所用650,895円×2基と砂町処理場用172,200×2基）」が記載されている。輸入品で非常に高価なものであった。

三河島汚水処分場にはじめて設置された流入汚水量計のベンチュリ式流量計は、図10-1に示すように、沈砂池とポンプ室との間に大きなスペースを割いて、當時、満管状態を確保し、沈砂・し査の影響を避けるため、沈砂池の後段に浅い伏せ越しを設けて設置された。昭和30年代迄の約40年間にわたり使用されていた。また、ポンプの吐出配管に設置された錢瓶町ポンプ所のベンチュリ式流量計は、旧ポンプ所が廃止される昭和41年まで、図10-2に示す砂町処理場のベンチュリ流量計の短管は、昭和62年にポンプ室が休止されるまで稼働していた。

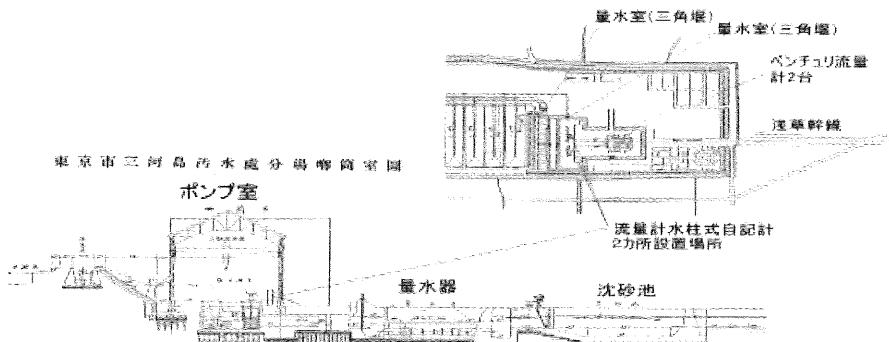


図10-1 開設当初の三河島処理場（浅草系沈砂池・ポンプ室廻り）

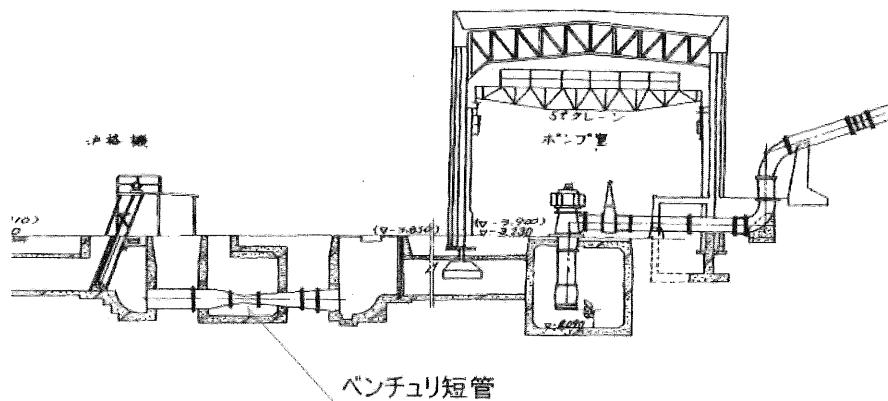


図10-2 砂町処理場ポンプ室縦断図

昭和30年代に入ると産業界では、大型プラントに数多くの計装設備（工業計器）が導入され、自動化が図られてきた。それに伴い国内の計装技術は大きく発展する。その頃の計測用信号の伝送方式には、表10-1に示すように電気式、空気圧

表10-1 計装設備の変遷

年 代	諸設備	機 器 名 称
大正12年～昭和29年	量的計測	物尺式レベル計、フロート式レベル計、差圧式流量計、開水路式流量計、圧力計、降雨量計
	制御方法	手動運転
昭和30年～昭和45年	量的計測	エアバージ式レベル計、静電容量式レベル計、電極式レベル計、重錘式レベル計、電磁式流量計、超音波式流量計、機械秤式重量計、各種温度計、各種圧力計
	質的計測	γ 線密度計、超音波式汚泥濃度計、pH計、溶存酸素濃度計
	制御方法	アナログ調節計による自動運転
昭和46年～昭和59年	量的計測	超音波式レベル計、投込式レベル計、超音波式空気流量計、熱線式流量計、風向風速計、大気圧計
	質的計測	加圧式超音波濃度計、光学式汚泥濃度計、ケーク含水率計、残塩計、濁度計、HCl計、ORP計、MLSS計、UV計、SV計、Rb計、TOC計、NO _x 計、SO ₂ 計、O ₂ 計
	制御方法	DDCによる最適制御、CRTによる集中監視、大型計算機による多変数モデル制御
昭和60年～	量的計測	光ファイバー水位計、ドブラー式超音波流量計、非満水電磁流量計、脱水ケーキ流量計
	質的計測	マイクロ波式濃度計、近赤外光式濃度計、脱水ケーキ水分計、近赤外線式含水率計、無試薬式残塩計、全窒素・全リン計
	制御方法	LANによる集中監視とデータ管理、AI・ファジーによる自動制御

式、油圧式の三方式があり、腐食性ガスの発生等設置環境の悪い下水道では、耐腐食性と保守性に優れ、価格も安い空気式の導入もあるが、当時の設計者は、汚泥処理の一部を除き、集中監視が容易な電気式の採用に踏み切っている。

下水道設備に多くの計装設備が導入されたのは、昭和36年に稼働した芝浦処理場の汚泥処理工場である。例えば、図10-3に示すように用途に応じて、レベル計では、フロート式、電極式、エアバージ式が、流量計では、消化ガス流量の計測にオリフィス流量計、また、汚泥流量の計測には電磁式流量計がはじめて採用されている。

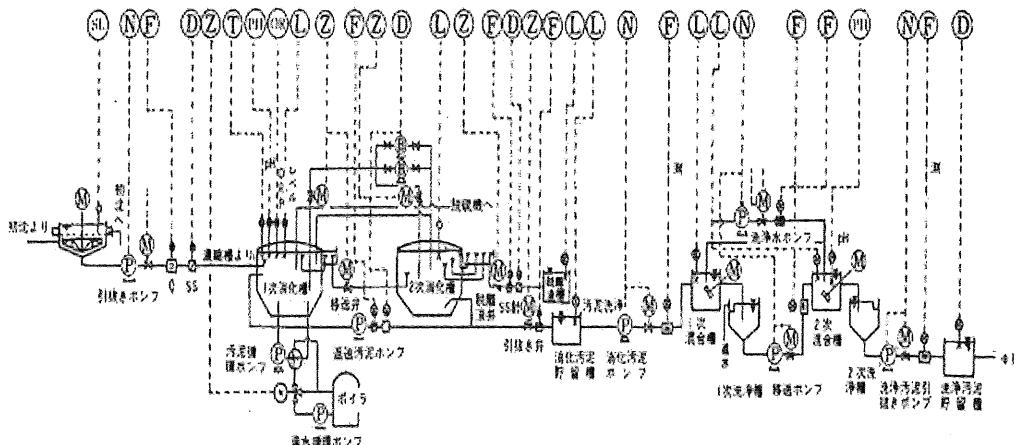


図10-3 汚泥処理計装フローシートの例

昭和37年稼働の小台処理場から監視盤室に工業計器盤が設置され、アナログの指示計、記録計、積算計、調節計等が集中管理された。記録計は1ペン、または2ペン式である。記録用紙は、幅20cmほどの一ヶ月間記録できるものが主流で、ペン先とインクの管理に気をつかった。

この時代の電気式伝送信号方式は、計装メーカーにより異なり、プロセス信号として、直流あるいは交流を、操作信号には直流が採用されていた。伝送方法は、交流給電4線式や直流2線式に大きく分かれていたので、補修工事での仕様を決定するのに苦労した。その後、原則として、伝送方式は、直流4~20mA及び1~5Vの信号に統一されている。

また、昭和30年代~昭和40年代は、水処理や汚泥処理方式の変化とともに、各種水位計や電磁流量計等の量的な計装設備を使用した制御が導入され、水処理、汚泥処理の量的制御が確立された時代である。また、従来の量的な計測に加えて、放射線(γ 線)式密度計やDO計等の質的な計測器の開発・導入が行われ、運転の目安、維

持管理データの把握がはじまった時代もある。

昭和50年代は、流入水位計等の重要な部分における量的な計測器の二重化や監視制御の高度化に伴い、系列やセクション毎に計測点を追加してきたことや、さらにより多くの質的計測器の導入と、それを使用した制御が導入されてきた時代もある。

平成元年以降では、前世代で需要が増えた各種質的計測器のさらなる改良・開発とその実用化により、安定した自動制御システムが実現できる時代となってきている（表10-2）。

表10-2 伝送方式の比較（昭和30年代後半の比較）

伝送方式 事項	電気式	空気式	油圧式
信号伝送	遅れなし	遅れ大▼（伝送距離100～150m）	遅れ小▼伝送距離は長いと不利
基本動作	比例（ON-OFF）	比例	積分
PID動作	容易	容易	困難
フィードバック要素	抵抗、位置	ペロー、紋りリンク	リンク、ダッシュボット
信号変換	容易	困難	困難
温度、湿度特性	十分考える必要あり	考える必要なし	考える必要なし
操作速度	速いものは困難	遅れあり	速い
操作力	操作力を増すために特別な機械が必要	大きい	強大
配管、配線	配線のみで簡単	やや複雑（片道配管）	複雑で技術を要す（往復配管）
耐久性	経年変化あり	比較的丈夫	きわめて丈夫
防爆性	要注意、ただし防爆構造可能	最もよい	引火性である油漏れに注意
保守技術	高度の技術を要す	比較的容易	技術を要す
データロガー、計算機との接続	容易	困難	困難
留意点	温度、湿度、周波数、電圧保持	空気の浄化除湿	油のろ過、粘度
構造	複雑	簡単	簡単
価格	最も高い	最も安い	中間

一方、国内の計装関係の主な出来事には、①大正10年にメートル法に統一する度量衡法改正、②大正13年に改正度量衡法施行及びメートル法使用開始、③昭和26年に計量法公布、④昭和30年メートル法実施委員会設立、⑤昭和34年にメートル法専用へ移行、⑥昭和51年に騒音計・濃度計等環境計量器の検査を開始、⑦昭和53年に計量法改正、排水・排ガス用流量計が法定計量器へ追加、⑧平成4年新計量法の公布、国際単位系（SI単位）の採用、⑨平成5年に新計量法施行、施行日の11月1日を計量記念日に指定、⑩平成11年に法定計量単位が国際単位系（SI単位）へ全面移行等がある。

10. 2 量的計装設備

量的計装は前記のとおり、昭和36年に、芝浦の汚泥処理工場より本格的に導入

されはじめた。しかし、当初に採用された量的計測器は、水道や一般の化学プラントより転用して使用されたものが多く、被測定物である下水の特質から検出部の汚れ、閉塞、腐食等により再現性が悪く、故障も頻繁に発生したため、その機能を保持するには、きめ細かな維持管理と多くの改善を必要とした。今日では、電磁流量計、超音波流量計、投げ込み式水位計等、下水専用ともいえる数多くの機種が開発され、性能的にもおおむね安定したものとなっている。

量的計測器は、圧力、流量、温度、水位等の物理量を計測するもので古くからは、ものさしと呼ばれていたものを電気的に変換したものが多い。

1) 量的計測器

① 流入汚水量計測

三河島汚水処分場に最初に設置されたベンチュリ式流量計は、 40ϕ 程の配管を使用して約25m先のポンプ室まで引き込み、水柱式自記計量器へ差圧を伝送していた。その導圧管は毎日のゴミ清掃を必要としていた。昭和30年後半に、尾久系返送汚泥流量計（ベンチュリ式）で間欠パージの間隔（時間）を決めるための実験が行われている。それは導圧管の内部状態監視用として配管途中に透明管を取り付けて行われた。その結果を基に、浅草系の流入汚水量計（ベンチュリ式）に間欠パージ方式が導入され、差圧管の清掃作業は大幅に改善されていった。

そのとき使用されていた自記計量器は、現在、三河島水再生センターの本館ロビー内に展示されている（写真10-1）。また、その頃の記録用紙は、一週間の記録可能な用紙が使用され、積算流入量は1時間毎の手書き日誌で記録処理されていた。

処理場の流入部での汚水量を計測する方式は、三河島処理場の浅草系と砂町処理場の旧砂系流入部に設けられた。その後の処理場、ポンプ所には設置されていない。それは設置スペースや建設経費の確保、流入汚水量計測の必要性の有無、計測器の輸入条件の変化等によるものと推測できる。

流入部での汚水量の計測が求められてくるのは、流域下水道の普及時期と一致している。それは各市の料金分担を決める必要性が出たことや運転管理上の必要性の高まりと同時に、安価で精度の高い各種の管内流量

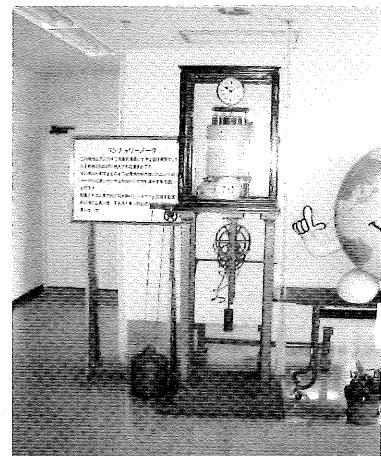


写真10-1 水柱式自記記録計
(現・三河島水再生センター本館ロビー内)

計測器が、下水管きょ用に開発・実用化される昭和50年代の半ば頃まで影を潜めていた。

流入汚水量の把握は、計測が容易な処理水を堰式で計測することによって、流入量を逆算する方式やポンプ揚水量を揚水性能曲線や運転時間等から、算出する方法が多く用いられている。その他に、昭和46年に三鷹市、武藏野市の汚水の一部を区部下水道に取り込むに当たり、流入量把握にクッターの公式（円径管の勾配と流下水深で流下量を換算）を利用した汚水流量計と堰式流量計が管きょ内にはじめて設置されている。水位計測には両者とも気泡式水位計を使用していた。その空気圧縮機の設置場所は、住宅地区内のため、騒音対策と屋外設置の工業計器盤内の温度上昇対策に考慮が図られた。

②汚水・汚泥の流量計測

昭和36年に稼働した芝浦処理場の汚泥処理工場には、汚泥流量計測に電磁式流量計がはじめて採用された。電磁式流量計の下水への導入は画期的であったが、導入当初は、電極に汚泥等が付着しそれぞれ点が安定しない等、計測に支障が生じた。その後、電極の構造改善と計測信号を交流から直流に変えて解決した。また、検出部の天然ゴムを使用した内面ライニング材は、膨張（劣化）による計測誤差の発生や励磁コイルの焼損等をもたらしたので、発信器素子の真空管から半導体への変更やライニング材質の変更等で、昭和40年半ば頃には安定した計測が可能となった。

このことは、製作メーカーと一緒に故障の種類を分析し、改善に向けた検討の結果、下水道用として信頼される計器に改良された代表例でもあるといえる。

現在、電磁式流量計は脱水ケーキの圧送ライン用も開発され、下水処理の主な流量計測箇所に採用されている。その中で、返送汚泥流量計等は口径も大きく高価な電磁流量計はしばらく導入されず、長くページセット付きのベンチュリ式流量計が使用されていた。

しかし、現在では敷地の制約や高さ制限等で堰式流量計が設置できない箇所が増えたことや、しゃ集管きょへの汚水取り込み量の把握のために、大口径の電磁式流量計が採用されている。芝浦処理場の東系簡易放流流量計に内径2,600mmのものも設置されてきている。

超音波流量計は水力発電所等に多く用いられていたが、下水道局では、昭和44年稼働の湯島ポンプ所でポンプ吐出配管と、芝浦処理場の開水路に取り付けられたのがはじまりである。ポンプ吐出配管に取り付けたものは、当初直管距離が短

いのと原理的な問題があり、うまく作動しなかったが、その後の改造により、現在も使用されている。開水路に取り付けたものも多少問題があったが、流速分布曲線の測定や発信器の取り付け位置の変更等で解決している。

下水のように気泡やゴミを含む流体の場合は、水力発電所等で利用している時間差式（線流速の測定）では補正に苦労するため、下水中のゴミに注目したドップラー式（点流速の測定）が昭和40年後半に、三河島処理場の直線が長い浅草系第二沈殿池の流入きょに導入されている。この時は、土木の詳細設計時、流入きょに計測素子取り付けのための専用スリット等を設計に組み入れ、測定素子が水路の水の流れを阻害しないように配慮されて施工された。その後も、改良更新され現在にいたっている。

下水の流量計測は、ベンチュリ式流量計や堰式流量計を長く使用してきた。放流水の堰式流量計以外は、精度の高い電磁流量計が主体となってきている。電磁流量計が取り付けられない困難な個所に、超音波流量計や各種の管きょ内流量計が一部使用されている。今後、管きょ内流量計は、場内の返流水管理や管きょ網の流量把握に使用されていくものと考えられる。さらに最新型のポータブル形の超音波流量計を使用し、各種の流量把握や確認を行うことにより、運転や保全管理データの収集・分析に役立つものと考えられる。

③空気・ガスの流量計測

送風機の空気量や消化ガス量の計測には、オリフィス式流量計が長く使用されている。消化ガス量の計測は、ガス温度が外気と温度差があるため、ガス配管内に水が溜って流量変動が起こり、オリフィスの設置場所や配管途中での水抜きが必要となった。その他、差圧管の材質はS.G.P.(W)では腐食するため、銅管や塩化ビニール管等を使用したことや、発信器の取り付け位置はオリフィスより上部に取り付け、結露による差圧管内部での閉塞を防ぐ等の工夫を行った。

第一次オイルショックを契機に省エネルギーが検討される中、送風機の空気量にも、圧力損失がなく、空気量も計測できる超音波式流量計が採用されてきている。導入当初は、変換器と発・受信素子間の距離に制限があり、施工場所の選定に苦労したが問題を解決し、今後、新規や更新時の超音波式空気流量計は大口径のものほど採用されるだろう。

④水位計測

水位計は、フロート式、電極式、エアページ式、超音波式、圧力式、投込式、電波式、静電容量式等多種あるが、用途別、時代別に採用されてきている。維持

管理上の工夫では、①フロート式水位計のスカム発生を保護管上部に廃油の膜を作ることで解消、②オリバー脱水機の流入汚泥受け槽用水位計（電極式）は設置槽に水ページをすることで清掃作業の軽減が図られる等の工夫が数多くあった。

消化槽にはじめて導入されたエアバージ式水位計は、シンプルで空気槽を設ければ1,2時間の停電対応もでき、保全も容易なため水処理、汚泥処理の水位計測に多く採用されてきている。その中で、空気配管の延長も長くなり配管の途中に水溜まりができる、測定に支障が生じた時には、配管の最底部及び配管の谷（低い部分）にドレン抜きを兼ねて水だめ用にエアフィルターを設けて解決した。その後、エアバージ式水位計は空気圧縮機の出口にエアドライヤーを採用し除湿するケースが出てきている。

一方、消化槽の水位計としては、①水位検出用に爆発防止も兼ねて消化ガスを使用していたため、除湿が完全でなければ減圧弁が腐食し使用不能となる、②槽内圧変動による負圧側気泡管への逆流による閉鎖、③泡立ちによる誤差発生等に対応するため、きめ細かな保守管理が必要であった。そこで、昭和46年に静電容量式水位計が砂町処理場の消化槽に実験的に設置された。しかし、プローブの硬化や髪の毛等のからみつき等による動作不良や誤差が発生した。しかし、消化槽の水位計には、相当の保守管理が必要であるがエアバージ式水位計が現在でも使用されている。

フロート式水位計は、①スカム、ごみ等で動作不良を起こす、②鎖、ワイヤー等の切斷及び滑車より鎖のはずれなどの支障、③水位が下限となるとフロートが宙づりになり、この繰り返しで零点がずれる、④機械的可動部があり雰囲気の悪いところでは、腐食による動作不良を起こす等の問題点があったが、現在は職員の工夫や構造・材質等の改善で問題なく使用されている。昭和40年代半ば頃までフロート式水位計の発信器と受信器間の伝送は、①値段が安く、②保守が比較的し易く、③精度がかなり保証される等でセルシン伝送方式を使用したが、①正確な零点調整はオシロスコープが必要で簡単にはできない、②受信器の数に制限がある等から、その後、直流電流方式に変更されていった。フロート式水位計は、シンプルで目視校正も可能で現場に行けば、計装回路故障時も水位確認ができる等、水位計測に欠かせない計測器であるが、エアバージ式、超音波式、投込式等に取って代わりつつある。

昭和40年代後半には重化学工業のプラントにおいて、工場での破裂、爆発、炎上、危険ガスの漏洩、石油の流出等が相次いで起きた。その対策として、通商産

業省から計装による安全対策が発表された。その対策を参考に、重要な部分のセンサー、例えば、ポンプ井水位計の二重化等が標準的に採用された。この頃には表10-3に示すように、フロート式、気泡式、投込式、超音波式、静電容量式等、多くの水位計が下水用として確立していた。ポンプ井水位計の二重化には、フロート式+気泡式、気泡式+投込式、投込式+超音波式等の組み合わせが採用されている。

表10-3 水位計測方式の概略

項目	方式	フロート式	静電容量式	超音波式	落下重錐式	気泡式	電極式
原 理		水面に浮かべたフロートの上下変位をフーリ、カムなどを介して水位に比例した回転角を電気出力に変換して指針に伝達する。	流体の誘電率を利用してその静電容量の変化を電気的に測定する。	水面に超音波を発信し、受信側でその反射速度を測定する。	落下重錐を昇降させて、その下降距離を測定する。	水中的圧力は水位に比例するので、この圧力を測定して、水位を測る方法である。	水の導電性を利用して、レベル探知用の電極を水中に挿入し、電気回路の一部として水位を測定する。
測定範囲		0~2m	制限なし	制限なし	0~30m	0~18m	制限なし
測定精度		±3%	±3%	±3%		±2%	一
特 長	構造が簡単、比較的安全である。	非常に広範囲の測定ができる。構造、取付が簡単、検出部に可動部がないので取扱い保守が簡単。	非常に広範囲の測定ができる。タンクの外から測定が可能。	機械式のため、電気的故障がない。連続測定可能。重錐が埋没した場合警報を発生することができる。	構造が比較的簡単、取付が容易、密閉個所でも使用できる可動部がないので摩耗による故障はない。	比較的安全、検出部に可動部がないので取付、取り扱い、保守が簡単である。	
欠 点	密閉個所での使用は困難、フロートに浮遊物質が付着することがある。	誘電率が変化すると誤差を生じる。導電性的付着物がある場合は誤差の原因となる。	高価である。液体の中に気泡が混入している場合は誤差を生じるか、または測定できない。	液体面でコロガリがないよう重錐の形状に注意が必要。レベル面の傾斜による誤差の少ないよう平均値の位置に重錐を落下するように取付けに注意が必要。	比重の変化により誤差を生じるバージ管がつまることがある。取付位置に注意。	導電性のない流体の測定はできない、水温の変化により誤差を生じる。電極棒に浮遊物が付着しやすい。	

平成14年に下水道局職員の発案でスカム除去装置の位置検知には、ばっ气槽用の空気を常時使用することにより、位置検出部の閉鎖による誤動作を防止した圧力スイッチ式水位検知装置が実用化され、従来の電極式に比べ水位検知の精度が高く、ごみ詰まりによる誤動作もなく、危険個所でのメンテナンスも不要となつた。現在、光ファイバー網の充実とともに、光ファイバーを利用した水位計も開発され、活用されているのは注目に値する。

2) 量的計測と自動化

昭和40年以前の汚水ポンプは、水位計測指示値を判断材料に、ポンプや流入阻水扉等を五感に頼って手動運転で行っていた。また、自然排水区域を持つ処理場の汚水ポンプは、流入水位計の指示値だけではなく、晴天時流入量と潮見表や降雨状況等を総合的に判断し、五感に頼った手動操作が長く行われていた。

昭和36年に稼働した芝浦処理場の汚泥処理工場では、ボイラーの運転管理のため温度計、圧力計、負圧計も採用されている。温度計や圧力計は産業界で実績があり安定していた。当初の消化ガスの流量制御には、爆発防止のため空気式計装

設備が導入されている。汚泥処理工場の制御設備は、消化ガスの流量制御、ボイラーの温度・圧力制御、脱水の汚泥と薬品の比例制御等で、初めてPID制御が採用された。調節計、指示計、記録計、積算計は、アナログ方式で大型であり、計装設備としては初期的なものであった。制御は簡単なものであるが、自動化と省力化等の目的を十分に達していた。

昭和40年代はじめには、ポンプ井水位計の計測値のみでの汚水ポンプとその吐出弁制御による汚水ポンプの自動運転が確立している。この時はポンプメーカー、制水弁メーカーから、機械の寿命や信頼性の低下等が予想されるため、運転停止回数の予測を要求された。流入水量の時間変動、沈砂池・ポンプ井の容量、ポンプ井水位と汚水ポンプ揚水量関係、汚水ポンプ吐出弁の開度と吐出量等の関係を整理して説明し、電気メーカーの協力を得て、当時の最新鋭の電子計算機で汚水ポンプ及び吐出弁の運転停止回数を予測して実施した。この自動運転回路は、ポンプ井水位計の情報と水位設定器+タイマーの組み合わせで構成されたシンプルなものであったが、運転結果は、予測より運転停止回数の少ない良い結果が得られた。

この頃の運転制御機器は、有接点リレーでシーケンス回路の変更が困難であり、簡単に条件変更もできなかった。手動運転から自動運転への切り替えは、一定水位以下で選択された自動対応ポンプ（5台中2台）が停止中であることを条件としたため、トラブル対応時あるいは豪雨時運転後や定期的に行われていた管きょ内の沈砂の引き上げ作業等の後には、運転員による自動運転への移行作業が必要であった。

一方、下水の計装設備面からいえば、昭和40年代は、量的計測器とアナログ調節計等を組み合わせた自動制御系が一応確立された時代であるといつても過言ではない。しかし、計装設備の拡大は、計測器の誤差、再現性、直線性等の精度の向上、信頼性の確保、保全性の向上に向けて、技術的挑戦がスタートした時代で、精度の検証に実更生方法が積極的に取り入れられた。さらに精度、信頼性を確保するためには、土木構造物や機械設備との調和が取られたものが必要で、計画時から密接な打ち合わせと設計が重要視されるようになった。

昭和50年代に入り、演算装置の進歩（シーケンスコントローラー・ワンループコントローラー・マイクロコントローラー・電子計算機等）とともに、汚水ポンプの回転数制御装置や先行待機形雨水ポンプの導入等、ハード面の対応でより運転しやすく、安定した自動運転システムが提供されるようになった。

汚泥処理では、平成の初期に流動焼却炉の炉内温度を基にファジー制御との組み合わせにより、経済的で安全な自動昇温システムの導入に成功している。

10. 3 質的計装設備

質的計測は、pH, MLDO, DO等のようなプロセスの質的変化を、従来手分析で行っていたものを下水処理の高度化に伴い、手分析を物理的及び電気的に変換するものや新たな質的計測素子の開発により、多くの質的計測器が出現してきている。

1) 監視・制御用の質的計測

昭和44年に量的計測に加えて、質的計測器が導入された。小台処理場の第一沈殿池の汚泥濃度を測定するためセシウム137を使った放射線（ γ 線）式密度計や、砂町処理場のばっ気槽内に溶存酸素を測定するためにDO計が設置された。

昭和40年代後半に入ると、水質規制の強化と環境保全への対応が強く打ち出された。オイルショックを契機とする省エネルギー化、省資源化が大きな社会的要請となってきた。このような要請に沿うべく、三河島、森ヶ崎処理場で質的制御に係わる調査が行われた。三河島処理場では、ばっ気槽における送風量を最適に保つため溶存酸素濃度の検出に基づくDO一定制御を、森ヶ崎処理場においては、余剰汚泥量を最適に引き抜くため汚泥総量制御が行われた。その結果、ばっ気槽の酸素移動平衡、あるいは総汚泥量と処理水質、余剰汚泥発生量等に基づくプロセスの動特性としての「比例ゲイン」「時間遅れ」「むだ時間」等、制御方式に必要な諸元が部分的ではあるが解明され、質的制御への基礎が築かれて、水処理制御のシステム化に先鞭をつけた。

三河島処理場の調査では、図10-4 及び図10-5に示すように、汚泥沈降速度測定装置（SV計）や酸素消費速度測定装置（Rr計）が試作されている。Rr計は資料採取配管内の詰まりを考慮し、内部配管に口径32mmのものを使用した。そのため大きさは、約2.5m角の大きなものであった。返送汚泥の濃度測定に超音波式汚泥濃度計を採用して性能確認を行った。

サイホン式汚泥かき寄せ機を使用した第二沈殿池では、活性汚泥の堆積量を調査するため、巻き取り装置付きの汚泥界面計も試作し採用したのもこの時代である。この形式の汚泥界面計は、巻き取り装置等に改良が加えられ、汚泥濃縮槽や第一沈殿池の汚泥界面測定に採用されている。

昭和50年代半ば頃から、処理場への質的計測器の導入は全国的に広がった。そ

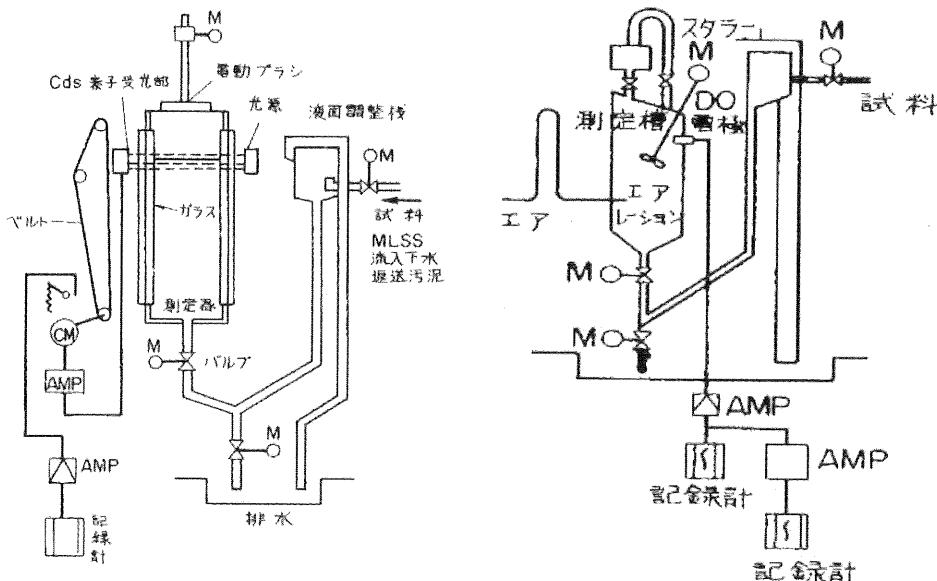


図10-4 汚泥沈降速度測定装置（SV計）

図10-5 酸素消費速度測定装置（Rr計）

れに伴い、質的計測器の採用が国庫補助の対象となった。しかし、設置個所や台数に制限がかかったのは、残念なことであった。その中で着実に普及したのは、超音波汚泥濃度計である。これは計測器の信頼性の向上と汚泥濃度測定の必要性とが合致したためである。

マイクロ波汚泥濃度計は、平成2年から民間企業と東京都が共同研究開発をして実用化された。測定方式は、マイクロ波の反射強度を利用したもので、黒色かつ高濃度汚泥や高導電率汚泥にも対応できる新方式の汚泥濃度計である。また、現在は近赤外線式の汚泥濃度計や脱水ケーキ含水率計等も出てきている。

汚泥処理関係の計装設備の調査・改善では、高粘度計の採用、ろ液監視制御システムによる脱水機の自動運転が、平成に入り確立している。

DO計及びMLSS計制御は定着してきているが、DO計にしても取り付け場所・取り付け角度や保守点検等にまだ改善する点がある。

2) 法規制と質的計測

昭和56年のCOD総量規制には、COD測定に公定分析法と異なった、UV（紫外線）による吸光度から換算式で算出するUV計が採用されている。これは、COD計やTOC計等の計測器に比べ連続測定ができる薬品も使用しないため、維持管理が容易である等の特徴がある。

また、昭和56年度の大気汚染防止法の強化により、排ガス規制に伴い焼却炉排

ガスには、SO_x計、NO_x計等が採用された。これは、下水プラント用に改善されたものであるが、現在でもガス吸入口のプローブの維持管理と吸引配管の布設に工夫等の注意が必要であり、更正にも専門的知識を必要としている。

窒素及びりんの計測は、東京湾のような閉塞性水域の水質向上を図るために、その計測の必要性がクローズアップされ、全窒素計・全りん計が実用化された。全窒素計・全りん計は、公定分析法と同じように、薬品を加えて加熱分解して測定するため、一時間に一回程度の測定である。実用化されて日が浅く、導入に当たり葛西処理場のフィールドで主な機種について性能調査を実施した。

その結果、異常値や欠測、手分析値との相関、測定手法の技術的検討、経済性等の評価を行い、東京都が先陣を切って、数機種が各処理場に導入された。導入後も、細い配管の詰まりや吸光度を測定するセルの結露等、想像以上の手間がかかっている。現在は、月に2回の保守点検と薬品の補充や日常的に手分析値との比較を行うことで、信頼できる測定値を得ている。特に、りんは手分析値とほとんど差がない値で推移しており、高い信頼性を得ている。これにより放流水質のりんの時間変動がより良く把握できるようになってきた。既存処理場の放流水基準値を表10-4に示す。

表10-4 既設処理場の放流基準値 (mg/ℓ)

	濃度規制	総量規制
適用年度	平成11年度	平成16年度
根拠法令等	都条例（上乗せ基準）	第5次総量規制
COD	35 (海域放流)	20
窒素	30 (50)	28 (35)
りん	3 (4.5)	2.8 (3.5)

()内は、平成20年までの汚泥集約処理場の暫定規制値

変化の反応速度が異常に遅い、④制御対象が管路網を含め、大規模で複雑なネットワーク化等によるものである。下水処理における主な制御方法を表10-5に示す。

その中で、溶存酸素の測定は昭和30年代後半に、ばっ氣槽内の酸化状態の指標として欧米において認められ、昭和40年代に入りDO制御が普及した。昭和47年にイギリスのオックスフォード、昭和48年にアメリカのパロアルトでは処理水質(TOC)を13%改善、送風量を11%低減の結果が報告されている。

わが国においては、昭和49年に、三河島処理場でサンプリング制御付PI調節計

3) 制御システムへの導入
下水道の自動制御は、難しいといわれている。それは被制御対象である下水道固有の特性、すなわち、①流入下水量・質の変化に対し受身である、②処理メカニズムが複雑を呈する微生物反応、③質的

表10-5 下水処理における主な制御方法

プロセス	主要機器	主な制御方法
水 処 理	ゲート	停止時自動閉 流入量予測による自動制御
	沈砂池機械 揚砂機 スクリーン コンベア 洗砂機	タイマー制御 水位差制御
	ポンプ	水位制御 流入水位差制御
	最初沈殿池	引抜時間制御 引抜汚泥量制御 濃度制御
	ばっ気槽	送風機制御 ①吐出圧力一定制御 ②風量一定制御 風量制御 ①流入量比例制御 ②DO制御 返送汚泥量制御 ①返送汚泥量一定量 ②汚水流入量比率制御 ③MLSS制御
	最終沈殿池	余剰汚泥量制御 ①流量一定制御 ②汚泥界面レベル制御 ③総汚泥量制御
汚 泥 処 理	減菌処理	処理水量比率制御 残留塩素濃度制御
	汚泥濃縮	重力濃縮 ①タイマー汚泥引抜制御 ②汚泥界面制御 遠心濃縮 ①投入汚泥量及び差速一定制御 ②投入汚泥量及び濃縮汚泥濃度一定制御 ③濃縮汚泥濃度及び回収率一定制御
	消化槽	汚泥投入、引抜汚泥制御 ①流量制御 ②水位制御 搅拌制御 発生ガス引抜制御 消化槽温度制御
	洗浄槽	汚泥量に対し一定比率制御 汚泥量に対し比率制御
	脱水機	薬品制御 ①汚泥濃度比率制御 ②固形物比率制御 汚泥脱水機制御 ①差速制御 ②分離液濃度監視制御
汚 泥 焼 却 炉	汚泥焼却炉	ケーキ投入量制御 炉内圧一定制御 温度制御 ①炉内温度制御 ②流動空気温度制御 ③フリーボード温度制御 排ガスO ₂ 濃度制御 ①循環排ガス量制御 ②軸冷空気循環量制御

調節計に代わって、シーケンスコントローラー、ワンループコントローラー、DDC（ダイレクト・デジタル・コントロール）等のデジタル制御方式が開発され、積極的に導入された。デジタル制御方式は、多種のアルゴリズム機能を持っており、アナログのPID調節計ではできない制御を容易にしたことや、機能の分散化を可能にした。さらにデータロガーによりデータの表示・記録法方法も大き

く用いたアナログフィードバック制御の結果が報告されている。ばっ気槽の出口DOを設定値±0.2mg/lに維持することに成功している。これらの質的計測器の導入は、余剰汚泥の引き抜き量や送気量の最適な制御を可能にし、薬品費や電力費の節減とともに、プロセスの科学的な制御への足がかりとするためのものであった。

汚泥処理においては、汚泥濃度計を使用した汚泥引抜量制御や高粘度計の適用と、ろ液監視制御システムによる脱水機の自動運転の確立等がある。

汚泥焼却炉においても、O₂計やCO計を利用して燃焼空気量制御等により、安定燃焼と省エネルギー運転に寄与している。

10.4 計装制御設備

昭和50年代に入り計装制御設備は、アナログによるPID

く変化した。

計装制御設備の電源に無停電電源設備が導入されたのは、昭和40年半ば頃で、当時は停電時でも監視制御の必要性があり、その機能を確保しておかなければならぬ負荷設備のみに無停電電源を供給していた。しかし、その後の電子計算機の導入により、計測器にも無停電電源設備を利用するものが当たり前になってきている。

無停電電源設備は、時代の経過とともに大きく変革している。昭和20年代までは開放形据置用鉛蓄電池がその主力で充電器には回転変流器が使われた。昭和30年代に密閉形据置用鉛蓄電池に代わり、充電器は、水銀整流器、セレン整流器が主流をなした。昭和40年代にポケット形アルカリ蓄電池、充電器にシリコン整流器が出現した。昭和46年頃、アルカリ蓄電池が焼結形となり、充電器には、通称サイリスタと呼ばれる半導体が導入された。その後、無停電電源設備はCVCFと呼ばれ半導体素子にトランジスタ、GTO等が採用され、装置の効率向上とコンパクト化が一段と改善されている。

無停電電源設備の利用は、例えば、停電時や停電作業時にも流入渠やポンプ井の水位を連続測定・監視することが可能になり、異常時の監視操作が容易になる等、計装設備の信頼性の向上に大きく貢献している。

話が変わるが、屋外設置の計装機器には、計装用避雷器が設置されるが、接地抵抗値が確保しにくい処理場で、近くに落雷を受け、室内設置の機器が地電圧上昇により接地側から被害を受けた例があり、室内設置の機器でも避雷器を設置する必要がある場合が生じている。

10.5 今後の動向

下水道の計装設備は、民間企業のプラント用に開発・実用化された計測器を多く導入した昭和36年からはじまり、監視制御の発展とともに、省力化・省エネルギー化・省資源化に大きく貢献してきた。近年、パワーエレクトロニクス及びインフォメーションエレクトロニクス技術は、飛躍的に進歩し、開発速度はますます加速され、下水道施設の機能をより効率化し、確実に發揮するため、これらの技術を活用し、高度な制御技術が確立されるだろう。反面、それを支えるセンサーの役割を担う新たな計測器の開発を期待したい。特に、制御技術のセンサーとして既存の計測器は、もとより新製品においても、精度及び信頼性がより高く、しかも維持管理の容易なものに着眼し、改良・改善をしていくことが重要である。

量的計測においては、各流入管きょの水位計及び流量計のフィールドの適応性（高湿度・水圧・腐食・衝撃の各対策）と光ファイバー対応が確立されて光ファイバー網を利用した管きょ内への配置により、汚水及び雨水の流入量予測精度が格段に向上し、揚水設備のより安全で確実な運転が確保されるとともに、経済的に安定した水処理運転が実現される。

汚泥処理においては、汚泥濃度計及び脱水ケーキの含水率計が、今より正確な測定と、汚泥中の有機・無機成分の比が確認できる計器の出現である。汚泥濃度計は、脱水時よりきめ細かな薬品制御が、脱水ケーキの含水率計は、汚泥焼却炉の安定燃焼がより可能となり、省エネルギーと排ガス量（CO₂）の削減等が期待できる。

さらに今後、その実現性の高いもの、あるいは期待される機器としては、臭気の周辺環境対策の確認や設備の異常を早期発見するための臭気濃度計と、滅菌設備の経済的運転を行い大腸菌群の確実な低減による良好な水環境形成のために、大腸菌自動測定装置の実現がある。

東京湾のような閉塞性水域の水質向上のため全窒素計・全りん計の精度の向上と維持管理の容易なものが強く求められる。質的計測器は、運転管理指標として計測値として大いに活用される。

しかし、計装設備の高度化及び急速な技術革新は、システムのブラックボックス化を進ませ、故障時の適切な対応や効果的な保全業務が難しくなってきている。いかに技術が発展し、多くの効果が生じたとしても、あくまで人間が機械（システム）に使われるのではなく、人間が計装設備を使っていく立場であることが求められていることを肝に銘じたい。

参考文献一覧

- 1) 東京都下水道施設概要 (東京都下水道局)
- 2) 東京下水道100年史 (東京都下水道局)
- 3) 東京都下水道事業年報 (東京都下水道局)
- 4) 東京の下水道・100年のあゆみ (東京都下水道局)
- 5) TOKYO・下水道物語 (東京都下水道局)
- 6) 局報 下水道 (東京都下水道局)
- 7) 技術開発推進計画 (平成11年東京都下水道局)
- 8) 下水道設備設計マニュアル (案) (昭和52年4月, 東京都下水局整備拡充部電機設計)
- 9) し尿消化槽の足跡 (東京都下水道局)
- 10) 下水道脱臭技術調査報告書 (東京都下水道局)
- 11) リサイクル読本 (東京都下水道局)
- 12) 技術開発白書 (平成11年東京都下水道局計画部)
- 13) 下水道ポケットブック 2000 (東京都下水道局)
- 14) 下水道脱臭技術調査報告書 (東京都下水道局)
- 15) 東雲ポンプ所脱臭設備調査報告書 (東京都下水道局)
- 16) ポンプ所・処理場臭気の現状及び対策 (東京都下水道局)
- 17) 脱臭設備設計マニュアル (東京都下水道局)
- 18) 脱臭方法の選定についてのプロジェクトチーム報告書 (東京都下水道局)
- 19) 日本の下水道 (国土交通省)
- 20) 下水道施設設計指針と解説 ((社)日本下水道協会, 1972年版, 1984年版, 1994年版)
- 21) 下水道施設維持管理指針 ((社)日本下水道協会, 昭和41年版, 1979年版)
- 22) 下水汚泥建設資材化のガイドライン (案) ((社)日本下水道協会)
- 23) ターボポンプ (ターボ機械協会編, 日本工業出版)
- 24) 菅原製作所技術概史, エバラ時報100号記念
- 25) 現代の下水道技術 (野中八郎著 日本水道新聞社)
- 26) 江戸東京の下水道のはなし (東京下水道史探訪会)
- 27) 処理場覚え書 (岡本正二著 日本水道新聞社)
- 28) 下水処理機械計算法 (真島卯太郎著 工学図書出版)
- 29) 月刊下水道Vol.16, 特集How-To窒素・リン
- 30) 創立20周年記念史 (平成13年 日本下水道施設業協会)
- 31) 下水汚泥の処理・処分 (岡田和男編著 環境新聞社)
- 32) 悪臭防止技術マニュアル (II) (公害対策技術同友会)
- 33) 月刊下水道, 2003年10月号 (環境新聞社)
- 34) 下水道協会誌, 1994年10月~1995年3月 (日本下水道協会)
- 35) 電気保安技術 (下水道局研修テキスト)
- 36) 50年の歩み (明電舎)
- 37) 明電舎技術史 (明電舎)
- 38) 東芝100・125年史 (株式会社東芝)
- 39) 自家用変電設備ハンドブック, 昭和48年版 (電気書院)
- 40) 計装と監視制御 (柏谷衛編 山海堂)
- 41) 下水道の計装とその評価論 (内田眞吾 水道公論)
- 42) 下水道設備便覧 (明電舎)
- 43) 設備の制御と計測 (日本下水道事業団)
- 44) 公共施設の情報ネットワーク (コロナ社)
- 45) 明電舎下水道電気設備便覧 (明電舎)
- 46) 機関誌「下水道設備」 ((社)東京下水道設備協会)

索引

<ア行>

- アーバンヒート 68, 78
RO膜法 40, 41
悪臭防止法関連 87
圧力式（水位計） 139
後沈砂池 2, 19
粗目ろ格機 5
1回線受電方式 104
一括閉鎖配電盤（キュービクル） 107
移動床式砂ろ過設備 40
ろのくち式ポンプ 14
インレットペーン付高効率プロワ 33, 35
雨水沈砂池 2, 3, 5, 6
雨水ポンプ 11, 14, 103, 116
渦流防止技術 18
渦巻ポンプ 11, 12, 13, 14, 15
エアページ式（水位計） 135, 139, 140
SF 6 絶縁開閉装置（GIS） 101, 105, 108
MF膜法 41
エンジン直結ポンプ 103
遠心脱水機 51, 57, 59
遠心濃縮 51, 53
塩素滅菌式消毒設備 34
円筒型（GIS） 109
遠方監視制御（制御方式） 120, 122, 127
オープントラクチャー方式 101, 106
污水沈砂池 2, 3, 4, 6, 90
污水ポンプ 11, 13
オゾン式消毒設備 35
オゾン脱臭法 70, 93, 96
汚泥界面計 143
汚泥資源化設備 71
汚泥消化設備 54
汚泥焼却炉設備 61
汚泥焼却廃熱回収蒸気発電設備 81
汚泥処理設備 49, 65
汚泥脱水設備 57, 97
汚泥沈降速度計（SV計） 143
汚泥燃料化システム 73

- 汚泥濃縮設備 51
汚泥ポンプ設備 11, 12, 20
汚泥ポンプ 11, 20, 28
汚泥溶融システム 76
オリバー型真空脱水機 50, 57, 60
オリフィス式（流量計） 135, 139
<カ行>
加圧脱水機 57, 58, 60, 64
加圧浮上濃縮 52, 53
改善目標（力率） 115
改善効果（力率） 115
回転ドラム式し渣洗浄機 7
開閉器（DS） 109
海洋処分 49, 51
ガス遮断器（GCB） 109
ガス絶縁式（SF 6・Tr） 111
ガスターイン 102, 117
活性汚泥法 23, 30, 38
活性炭吸着法 86, 89, 93
簡易走行ロープ式懸垂型ろ格機 5
間欠式（ワンレーキ）ろ格機 5
乾式（Tr） 112
乾式強制空冷（Tr） 112
乾式自冷モールド（Tr） 112
監視制御設備 119
監視制御方式 121
監視一人制御（制御方式） 122
機械搔掲チェーン式ろ格機 6
機械式エアレーション 25, 28
気中絶縁キュービクル型開閉装置 105, 107
起伏腕式バケットエレベーター 3, 4
逆浸透法 40, 41
急傾斜コンベヤ式沈砂搬送機 8
急速砂ろ過法 38, 39, 43
吸着法 89, 92
キュービクル形（GIS） 109
凝集沈殿法 37, 38, 42
近赤外線式汚泥濃度計 144
金属閉鎖形スイッチギヤ 102, 113
空気圧式（伝送方式） 134
空気遮断器（ABB） 109, 110
グラフィックパネル型 125, 126
クラブバケットジブクレーン 3

クラブパケット門型クレーン	3
計装関係の出来事	136
計装設備	133
軽量細粒材	68, 72
計算機制御	129
ゲート設備	2
下水エネルギーの利用設備	78
結晶化ガラス	77
嫌気・好気活性汚泥法 (AO法)	42, 43
嫌気性消化	49, 50, 54, 57
嫌気・無酸素・好気活性汚泥法 (A ₂ O法)	38, 44
建設残土改良プラント	82
原動機	17, 102
現場個別制御 (制御方式)	122
現場操作盤	124
高圧現場操作盤	124
高圧配電設備	112, 113
降雨情報システム	121
工業計器盤	128
合成樹脂製チェーン	27
高速ばっ氣槽 (エアロアクセレーター)	30
高度処理	37, 46, 70
コントロールギヤ	102, 113
混気ジェットポンプ	4, 5
コンクリートキュービクル	107
コントロールセンター	102, 114
コンパートメント型受電設備	106
コンビネーションスター	113
コンボスト化	68, 71
<サ行>	
酸アルカリ洗浄法	89, 90, 91, 92
酸化剤洗浄法	89, 90, 91, 92, 93
酸化法	89, 96
散気式ばっ氣槽	29, 30, 31, 120
散気設備	28, 29, 31, 35
散気筒	30
三次処理	37, 38
散水ろ床法	23, 24, 28
3相一括形 (GIS)	109
3相変圧器 (Tr)	111
酸素消費速度計 (Rr計)	143
次亜塩素酸ソーダ式消毒設備	35
次亜塩素酸ソーダ (脱臭剤)	86, 91, 92
CRTモニター	127
シーケンサー (制御システム)	128, 142, 146
シーケンス制御 (制御方法)	123
自家発電設備	18, 116
磁気遮断器 (MCB)	110
軸流ポンプ	11, 12, 13, 15
資源化設備	67, 69, 71, 83
し渣洗浄設備	1, 7
自走式サンドポンプ	4
遮断器 (CB)	109
斜流ポンプ (立軸・横軸)	11, 13, 15
臭気発生源と主な臭気成分	87
充填塔式生物脱臭法	89, 95
周辺牽引型ドル式クラリファイナー	24
重力濃縮	51, 52
受電回線数	103
受電方式	104
受変電設備	101
主ポンプ設備	11, 12, 17, 19, 113
焼却灰等を民間企業に提供して資材化	77
消化ガスの熱利用	79
消化ガス発電	79, 116, 118
消化ガス	79, 116
消化ガス発電設備	50, 79
焼結型 (アルカリ蓄電池)	147
昇降式バケットコレクター	4
昇降式バケットコンベヤ	4
上向流式急速ろ過法	39
触媒酸化法 (脱硝脱臭法)	89, 97
除砂設備	1, 3
消毒設備	9, 23, 34, 38
処理水供給装置	39, 40
処理水再利用設備	39
処理水の広域循環方式	70
処理水の資源化設備	69
真空電磁開閉器	114
真空遮断器 (VCB)	110
真空脱水機	57
進相コンデンサ	115
深槽ばっ氣槽	24, 31
シンプレックス式ばっ氣槽	23, 24, 28, 29
水撃対策	19
水中モーターポンプ	12

スーパージャー	30
スキップホイスト	8
スクリューコンベヤ	4, 5, 7, 59
スクリュー式集砂装置	4
スクリュー式沈砂搬送機	8
スクリュー式渦巻ポンプ	12
ステップ流入式嫌気・無酸素・好気法	45
砂ろ過法	39
スポットネットワーク方式	105
静電容量式（水位計）	139, 141
生物脱臭法	89, 95, 96
生物脱臭法+活性炭吸着法	89, 96
生物膜ろ過法	38, 43, 44
清流復活用水	35, 67, 70
清流復活事業	40
堰式（流量計）	133, 138, 139
絶縁方式（Tr）	111
接触脱りん法	37, 42
先行待機型ポンプ（無注水型）	12, 17, 21
洗浄槽スクリュー型し渣洗浄機	7
走行型旋回腕パケット式	3
走行起伏腕式パケットエレベーター	3
送風機	23, 32, 101, 139
<タ行>	
第一沈殿池生汚泥ポンプ	12, 20, 124
多孔管式	30
脱臭方法	87, 89, 98
多段焼却炉	50, 61
多段ターボブロワ	23, 32
脱臭設備	8, 85, 87, 89, 100
脱硝脱臭法	89
单一レー式ろ格機	1, 5
単位閉鎖配電盤（スイッチギア）	107
单相形（GIS）	108
单相変圧器（Tr）	111
担体添加活性汚泥法	38, 43
单段増速ブロワ	32, 33
チェーンフライ特式汚泥かき寄せ機	23, 25, 26, 27
窒素除去設備	43
窒素封入変圧器（Tr）	112
窒素・りん同時除去設備	43
中心駆動型クラリファイヤー	25
超音波式（水位計）	139
超音波汚泥濃度計	144
帳票端末装置（データロガー）	127
直接燃焼法（燃焼脱臭法）	89, 97
直列リアクトル	115
沈砂洗浄設備	1, 6
沈砂池設備	1, 2
沈砂分離槽付きスクリューコンベヤ洗浄機	7
低圧動力盤	124
低圧配電設備	113, 114
低圧配電盤	102, 114
低圧フィーダ盤	102
ディーゼルエンジン	102, 117
ディーゼルエンジン掛けポンプ	17
ディスクフューザー	30
DO制御	145
手元操作盤	113, 124
電気式（伝送方式）	134
電極式（水位計）	135, 139
電磁式（流量計）	135, 139
添着炭吸着法	89, 92, 94
電動機掛けポンプ	17
電動式ゲート	1, 2
天日乾燥	28, 49, 50, 51, 67
電力貯蔵設備（NaS電池）	118
電力ヒューズ	114
東京都下水道式油圧駆動揚砂機	4, 5
東京型走行サイホン式採泥機	25
特別管理産業廃棄物（PCB）	102
土壤脱臭法	8, 95
ドル式S型電動格子型ワイヤー式ろ格機	5
<ナ行>	
2回線受電方式（1CB）	104
2回線受電方式（2CB）	104
2階層式沈殿池（2層式沈殿池）	24, 26
二重化（水位計）	141
燃焼脱臭法	89, 97
燃焼法	89, 97
ノズル式集砂装置	4, 5
ノンクロックポンプ	12
<ハ行>	
排ガス処理装置	64
配線用遮断器（MCB）	114

配電設備	101, 112
パイプスキーマ	27
投込式(水位計)	139
ばっ氣槽設備	23, 28
パドル式ばっ氣槽	23, 28
PCB含有機器	102
光ファイバーケーブル	68, 82, 121, 122
微細気泡式散気板	29
ファジー制御(制御方法)	123, 143
フィードバック制御(制御方法)	123
フィードフォアード制御(制御方法)	123
フライットコンベヤ沈砂洗浄機	6
フライット式沈砂搬送機	8
ブレードレスポンプ	12, 20, 28
フロート式(水位計)	133, 139, 140
プログラマブルコントローラー	128
閉鎖配電盤方式	101
ペインレスポンプ	20
ベルトプレス脱水機	51, 57, 60
変圧器(Tr)	111
返送汚泥ポンプ	12, 20, 28
ベンチボード型監視制御盤	120, 125
ベンチュリ式(流量計)	133, 137, 139
放射線式(γ 線式密度計)	135
放電コイル	115
放電脱臭法	89, 98, 99
ポケット型(アルカリ蓄電池)	147
補助リレー盤	128
細目ろ格機	5, 6
ホッパー設備	8
ポンプ設備	11, 28, 130
ポンプ総合診断システム	19
<マ行>	
マイクロコントローラー	129, 142
マイクロ波汚泥濃度計	144
埋設防止型パケットコレクター	3, 4
マスキング法	85, 89, 92
マルチスクリーンディスプレー	121, 126
ミーダー型汚泥かき寄せ機	27
水処理設備	2, 23, 24, 35
水洗浄法	89, 90, 92
無停電電源装置	147
メトロレンガ施設	74
<メ行>	
メンブレン式散気装置	35
モールド式(Tr)	112
<ヤ行>	
薬液洗浄法	89, 90, 94, 95
薬液洗浄法+活性炭吸着法	89, 94
ヤングフィルター型真空脱水機	50, 57
油圧式(伝送方式)	136
油圧式ゲート	2
UF膜法	41
UV計	144
油入式(Tr)	112
油入遮断器(OCB)	109
揚砂装置	4
用水ポンプ	11, 12
容積型プロワ(ルーツ型, 可動翼型) 32, 33, 34
ヨウ素酸添着炭吸着法	89, 92, 94
溶存酸素計(DO計・質的)	135
翼車回転式ろ格機	1, 6
横軸機械攪拌式(スクリュー型) し渣洗浄機	7
余剰汚泥ポンプ	12, 28
<ラ行>	
力率改善	115
流動焼却炉	50, 61, 62, 81, 97
流入ゲート	1, 2, 8
流量制御	18, 20, 28, 53, 142
リンクベルト式汚泥かき寄せ機	26
りん除去設備	41
ループ受電方式	105
ロードセンター	102, 114
ロープ式懸垂型(定置式)ろ格機	5
ロープ式台車型ろ格機	5
ろ格機設備	1, 5
<ワ行>	
ワーマンポンプ	20
ワイヤードロジック(システム)	128

資 料

下水道局のポンプ所・水再生センターの現在の監視盤写真

監視制御設備は設備の変遷の中で最も変革の多きものがあります。今後も素晴らしい発展が期待されます。そこでポンプ所及び水再生センターの現在の監視盤の写真を掲載して、将来の技術進歩を検証するための参考にしたいと思います。

ポンプ所(有人)監視盤



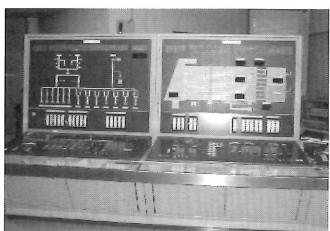
01-1 錦町ポンプ所監視室



01-2 錦町ポンプ所監視盤



02-1 浜町第二ポンプ所監視室



02-2 浜町第二ポンプ所監視盤



03-1 汐留ポンプ所監視室



03-2 汐留ポンプ所監視盤



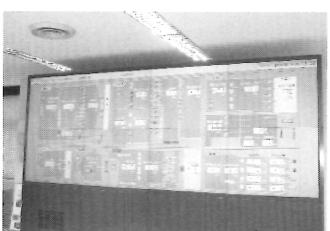
04-1 桜橋第二ポンプ所監視室



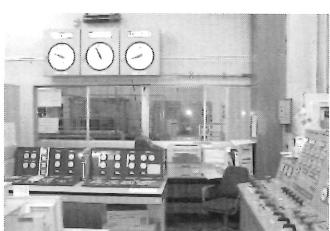
04-2 桜橋第二ポンプ所監視盤



05-1 蔵前・監視室



05-2 蔵前・監視大型スクリーン



06-1 町屋ポンプ所監視室



06-2 町屋ポンプ所監視盤



07-1 尾久ポンプ所監視室

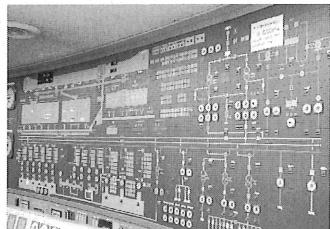


07-2 尾久ポンプ所監視盤



08-1 梅田ポンプ所監視室

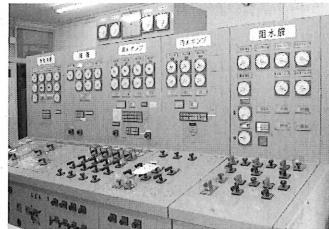
ポンプ所(有人)監視盤



08-2 梅田ポンプ所監視盤



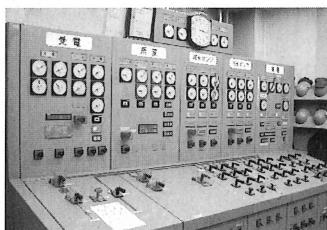
09-1 志茂ポンプ所監視室



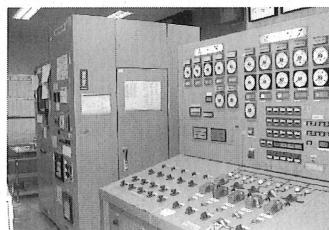
09-2 志茂ポンプ所監視盤



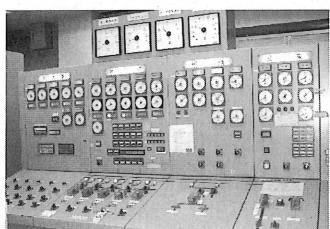
10-1 新田ポンプ所監視室



10-2 新田ポンプ所監視盤



11-1 王子ポンプ所監視室



11-2 王子ポンプ所監視盤



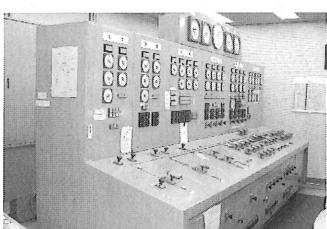
12-1 木場ポンプ所監視室



12-2 木場ポンプ所監視盤



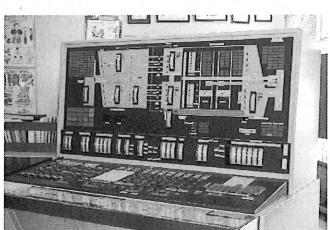
13-1 東雲ポンプ所監視室



13-2 東雲ポンプ所監視盤



14-1 小松川ポンプ所監視室



14-2 小松川ポンプ所監視盤



15-1 両国ポンプ所監視盤



15-2 両国ポンプ所監視盤

ポンプ所(有人)監視盤



16-1 吾嬬ポンプ所監視室



16-2 吾嬬ポンプ所監視盤



17-1 吾嬬第二ポンプ所監視室



17-2 吾嬬第二ポンプ所監視盤



18-1 千住ポンプ所監視室



18-2 千住ポンプ所監視盤



19-1 亀有ポンプ所監視室



19-2 亀有ポンプ所監視盤



20-1 東小松川ポンプ所監視室



20-2 東小松川ポンプ所監視盤



21-1 篠崎ポンプ所監視室



21-2 篠崎ポンプ所監視盤



22-1 新小岩ポンプ所監視室



22-2 新小岩ポンプ所監視盤



23-1 平和島ポンプ所監視室

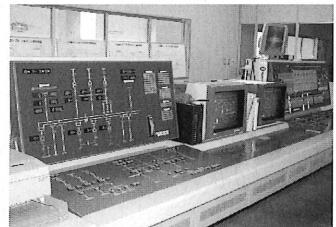
ポンプ所(有人)監視盤



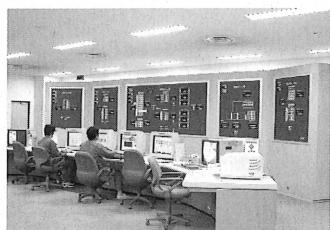
23-2 平和島ポンプ所監視盤



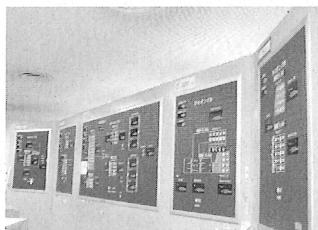
24-1 大森東ポンプ所監視室



24-2 大森東ポンプ所監視盤



25-1 東糀谷ポンプ所監視室



25-2 東糀谷ポンプ所監視盤グラバネ

ポンプ所(無人)監視盤



01-1 箱崎ポンプ所監視室



01-2 箱崎ポンプ所監視CRT



02-1 明石町ポンプ所監視室



02-2 明石町ポンプ所監視盤



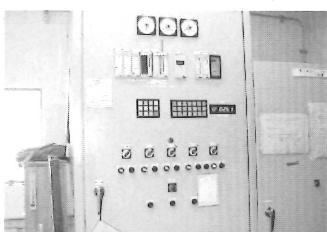
03-1 桜橋ポンプ所監視室



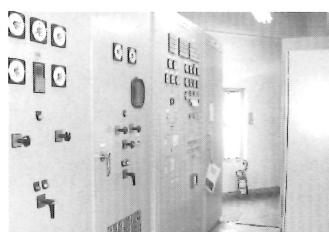
03-2 桜橋ポンプ所監視盤



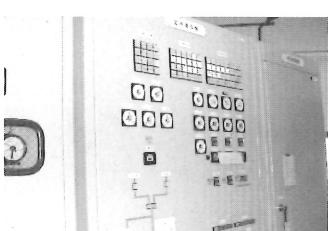
04-1 品川ふ頭ポンプ所監視室



04-2 品川ふ頭ポンプ所監視盤



05-1 天王洲ポンプ所監視室



05-2 天王洲ポンプ所操作盤



06-1 芝浦ポンプ所監視室



06-2 芝浦ポンプ所監視CRT



07-1 汐留第二ポンプ所監視室



07-2 汐留第二ポンプ所監視CRT



08-1 白鬚西ポンプ所監視室

ポンプ所(無人)監視盤



08-2 白鬚西ポンプ所監視盤



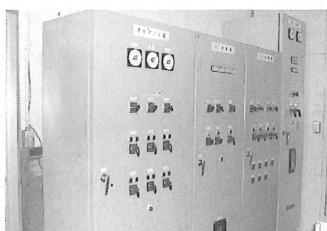
09-1 日本堤ポンプ所監視室



09-2 日本堤ポンプ所監視CRT



10 山谷ポンプ所操作盤



11 和泉町ポンプ所操作盤



12-1 後楽ポンプ所監視室



12-2 後楽ポンプ所監視CRT



13-1 湯島ポンプ所監視室



13-2 湯島ポンプ所監視盤



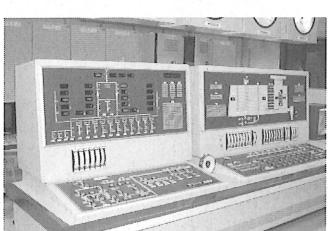
14-1 加平ポンプ所監視室



14-2 加平ポンプ所監視CRT



15-1 東金町ポンプ所監視室



15-2 東金町ポンプ所監視盤



16-1 熊の木ポンプ所監視室



16-2 熊の木ポンプ所監視盤

ポンプ所(無人)監視盤



17-1 志村ポンプ所監視室



17-2 志村ポンプ所監視CRT



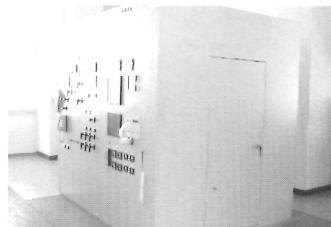
19 東雲南ポンプ所監視盤



20 新砂ポンプ所監視盤



21 新木場ポンプ所監視盤



22 若洲ポンプ所監視盤



23-1 大島ポンプ所監視室



23-2 大島ポンプ所監視CRT



24-1 業平橋ポンプ所監視室



24-2 業平橋ポンプ所監視盤



25-1 隅田ポンプ所監視室



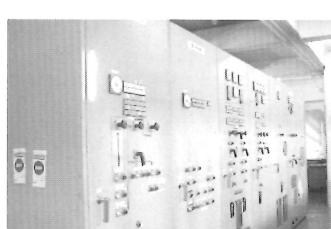
25-2 隅田ポンプ所監視盤



26-1 佃島ポンプ所監視室

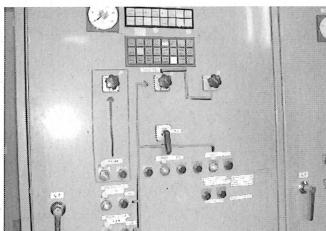


26-2 佃島ポンプ所監視CRT



27-1 越中島ポンプ所監視室

ポンプ所(無人)監視盤



27-2 越中島ポンプ所監視盤



28-1 千住西ポンプ所監視室



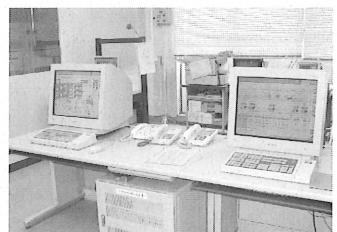
28-2 千住西ポンプ所監視盤



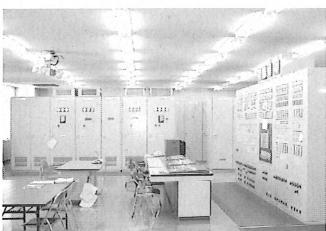
29 本田ポンプ所監視室



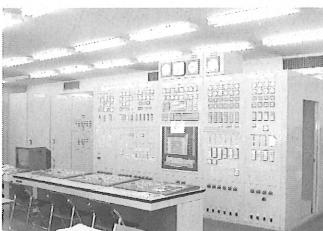
30-1 堀切ポンプ所監視室



30-2 堀切ポンプ所監視CRT



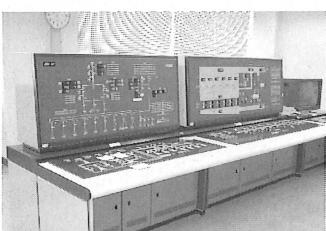
31-1 西小松川ポンプ所監視室



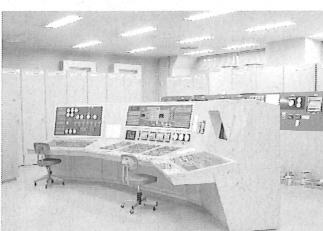
31-2 西小松川ポンプ所監視盤



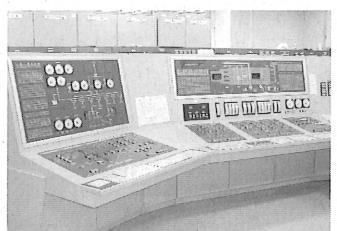
32-1 新川ポンプ所監視室



32-2 新川ポンプ所監視盤



33-1 新宿ポンプ所監視室



33-2 新宿ポンプ所監視盤



34-1 細田ポンプ所監視室



34-2 細田ポンプ所監視盤



35-1 小岩ポンプ所監視室

ポンプ所(無人)監視盤



35-2 小岩ポンプ所監視盤



36-1 鮫洲ポンプ所監視室



36-2 鮫洲ポンプ所監視盤



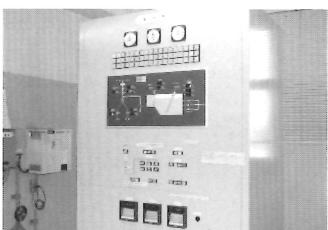
37-1 浜川ポンプ所監視室



37-2 浜川ポンプ所監視盤



38-1 京浜島ポンプ所監視室



38-2 京浜島ポンプ所監視盤



39-1 東海ポンプ所監視室



39-2 東海ポンプ所監視盤



40-1 八潮ポンプ所監視室



40-2 八潮ポンプ所監視盤



41-1 矢口ポンプ所監視室



41-2 矢口ポンプ所監視CRT



42-1 六郷ポンプ所監視室

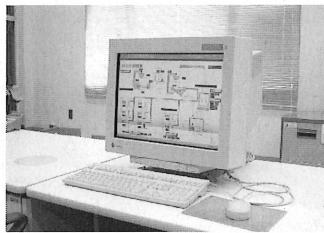


42-2 六郷ポンプ所監視盤

ポンプ所(無人)監視盤



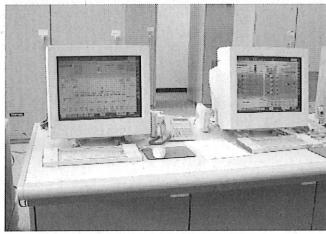
43-1 羽田ポンプ所監視室



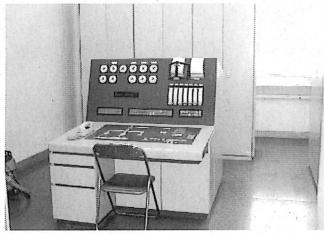
43-2 羽田ポンプ所監視CRT



44-1 雜色ポンプ所監視室



44-2 雜色ポンプ所監視CRT



45 城南島ポンプ所監視室

区部・水再生センター監視盤



01-1 芝浦・監視室



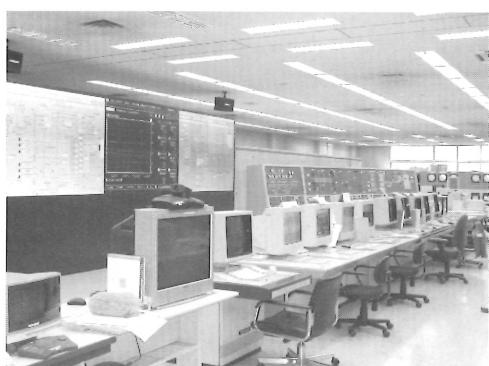
01-2 芝浦・監視大型スクリーン



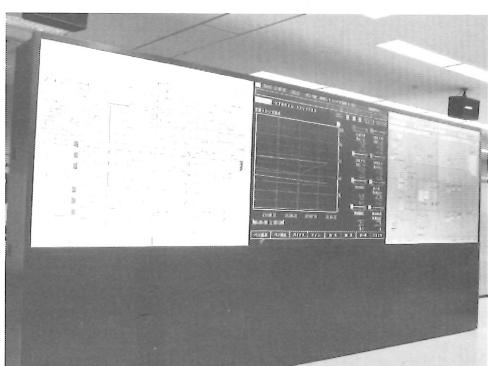
02-1 三河島・監視室



02-2 三河島・監視盤

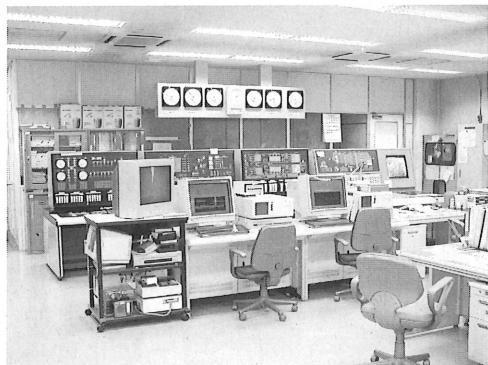


03-1 中川・監視室

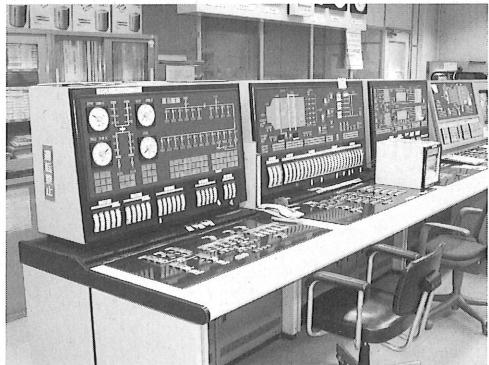


03-2 中川・監視大型スクリーン

区部・水再生センター監視盤



04-1 みやぎ・監視室



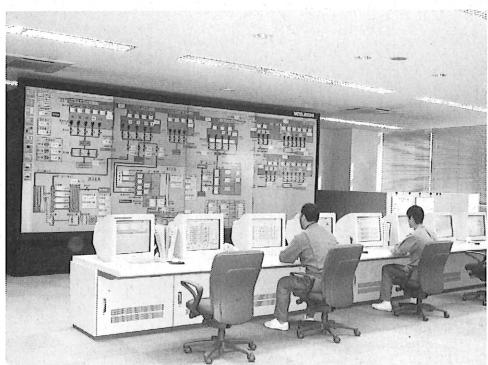
04-2 みやぎ・監視盤



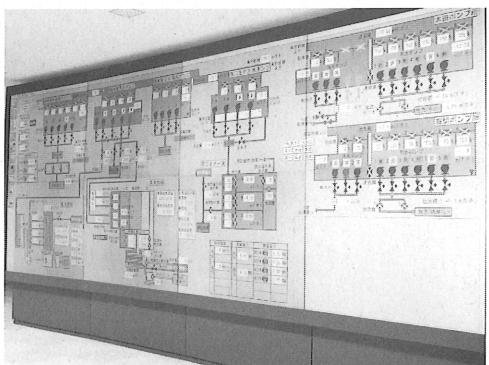
05-1 有明・監視室



05-2 有明・監視盤(画像表示)



06-1 小菅・監視室



06-2 小菅・監視盤

区部・水再生センター監視盤



07-1 葛西・監視室



07-2 葛西・監視盤



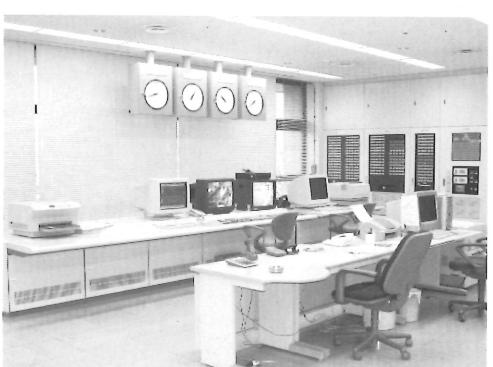
08-1 落合・監視室



08-2 落合・監視盤



09-1 中野・監視室



09-2 中野・監視盤

区部・水再生センター監視盤



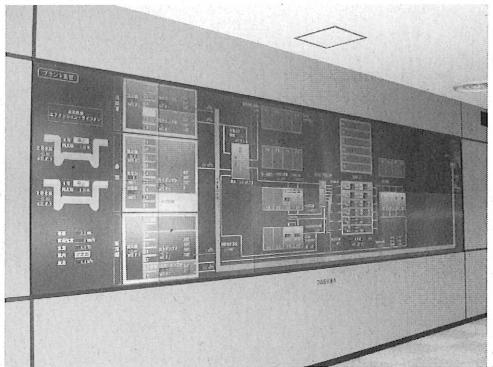
10-1 新河岸・監視室



10-2 新河岸・監視盤



11-1 浮間・監視室



11-2 浮間・監視大型スクリーン



12-1 砂町セ・監視室

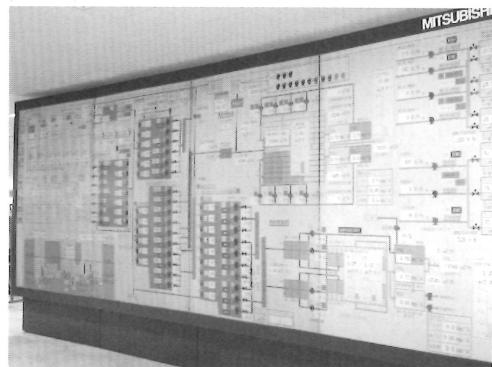


12-2 砂町セ・監視盤（受電系）

区部・水再生センター監視盤

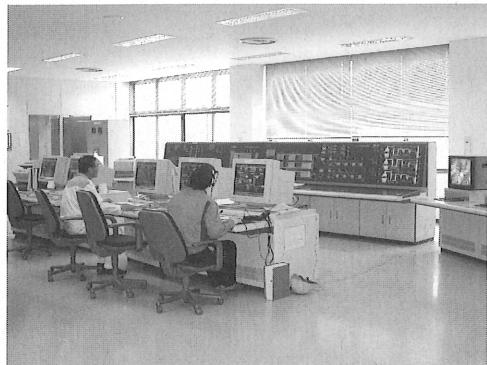


13-1 森ヶ崎・監視室

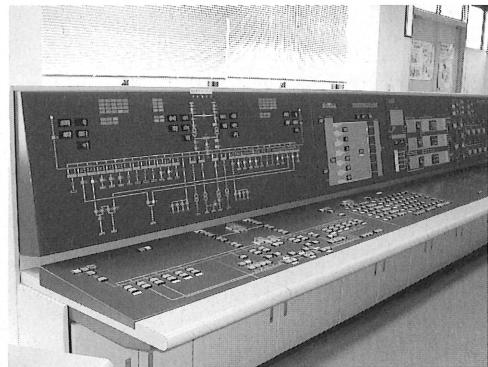


13-2 森ヶ崎・監視大型スクリーン

流域・水再生センター監視盤



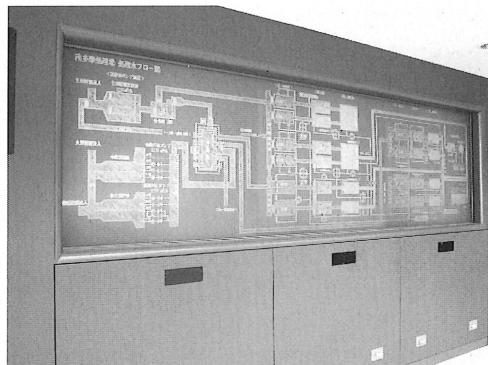
01-1 北多摩一号・監視室



01-2 北多摩一号・監視盤



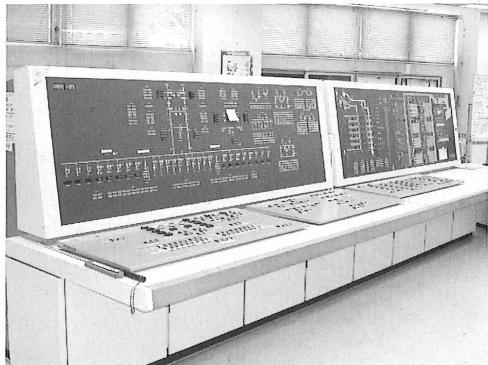
02-1 南多摩・監視室



02-2 南多摩・監視大型スクリーン



03-1 北多摩二号・監視室

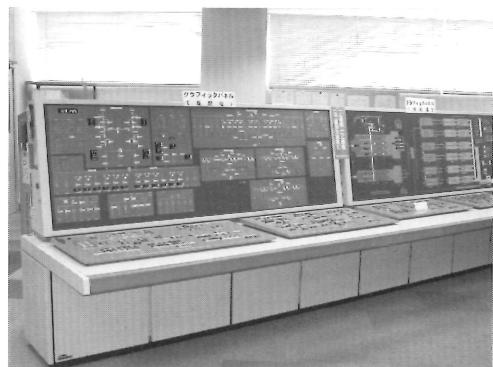


03-2 北多摩二号・監視盤

流域・水再生センター監視盤



04-1 浅川・監視室



04-2 浅川・監視盤



05-1 多摩川上流・監視室



05-1 多摩川上流・監視盤



06-1 八王子・監視室



06-2 八王子・監視盤

流域・水再生センター監視盤



07-1 清瀬・監視室



07-2 清瀬・監視大型スクリーン

設立20周年記念出版

下水道設備の流れ

平成16年11月29日発行

発行者 藤村宏幸

発行所 社団法人東京下水道設備協会

東京都新宿区西新宿1-23-1 TK新都心ビル

〒160-0023 TEL (03) 3346-3051

URL <http://www.setubikyo.or.jp/main/>

制作 株式会社水道産業新聞社

