

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—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污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、三河島及び芝浦の污水処分場の空地に、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、三河島污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、芝浦污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、三河島污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。し尿の消化汚泥は繊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ため、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100 t/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300 t/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。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50 t/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300 t／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、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、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年の三河島污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た。



写真5-2 汚泥乾燥床（芝浦）

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℃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、加圧水圧力4～6 kg/cm²のとき、気泡付着率は、従来の20～50%から85%に向上した。

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重力で濃縮を行うもので、操作が容易でランニングコス

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

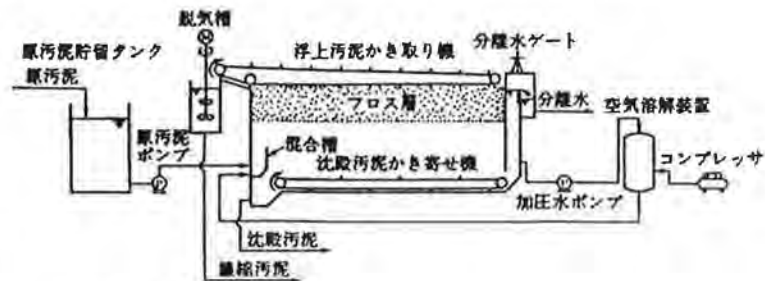


図5-1 加圧浮上濃縮の例

建設し、現在も落合処理場からの送泥汚泥に利用してその能力を遺憾なく発揮している。

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年にかけて下水道局の「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薬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 $0.5\sim 1.6\text{kW}/\text{m}^3$ 、余剰汚泥の場合は $0.5\sim 1.0\text{kW}/\text{m}^3$ 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、タング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ヵ月間運転した結果、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

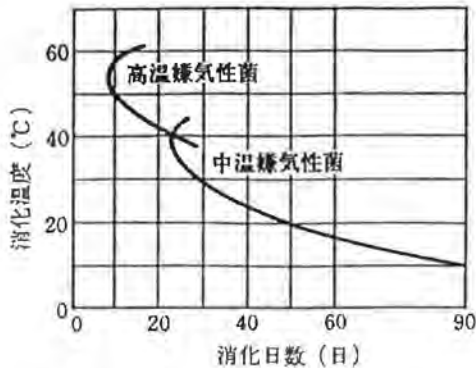


図5-2 消化温度と消化日数

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。

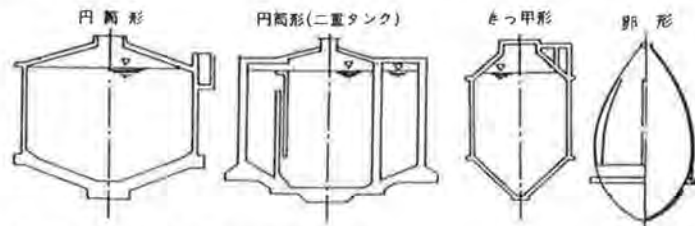


図5-3 汚泥消化槽の形状例

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ったことである。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、腐食に強い鋳鉄

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となった。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

心にセンターシャフトにラプルアームを取り付けて、炉床ごとに脱水ケーキを掻き寄せて上段から下段へと乾燥，燃烧，冷却させるものである。特徴は，①燃費が少ないこと，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等である（図5-7）。

昭和42年5月に，小台処理場にわが国最大規模の100 t／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150 t／日の多段焼却炉が砂町処理場に，そして昭和46年に200 t／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和48年8月には，砂町処理場で東洋一の300 t／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。

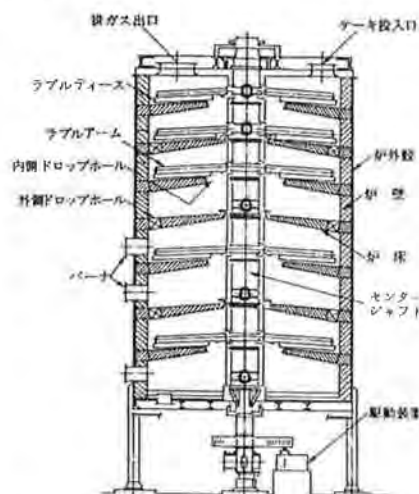


図5-7 多段焼却炉の構造の例

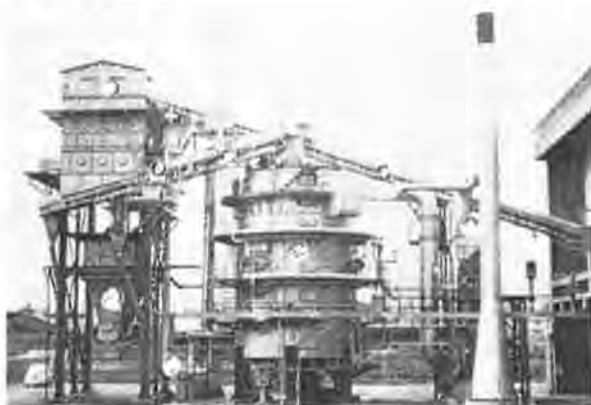


写真5-7 昭和42年稼働の100t／日多段焼却炉

（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～

大型化の過程での経験を基に，その主な改善点は，燃烧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，燃烧排気ガス

800℃の高温流動状態とし、その中に脱水ケーキを投入し、瞬間的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℃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こと等、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っ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

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

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。それでも増えつつける汚泥のため、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ったものもあるが、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、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を使用する等で、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	股水用水	修景用水 ^{*1}
基準水質	大腸菌群数(個/m ²)	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 ^{**}	0.4以上	—
目標水質	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、壱泉、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取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

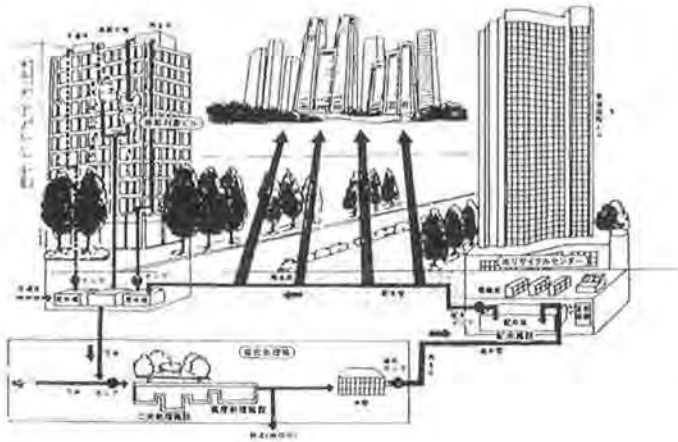


図6-1 広域循環方式

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たしてきた。



写真6-1 野火止用水

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ょ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。

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重金属等について十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。

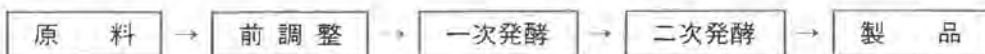


図6-2 コンポスト化基本フローシート

南多摩処理場では、昭和63年度実績で2,200 tの脱水ケーキから840 tのコンポストを生産し、このうちの780 t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アしてい

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0.3~5mm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50~70t (3t/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、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℃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

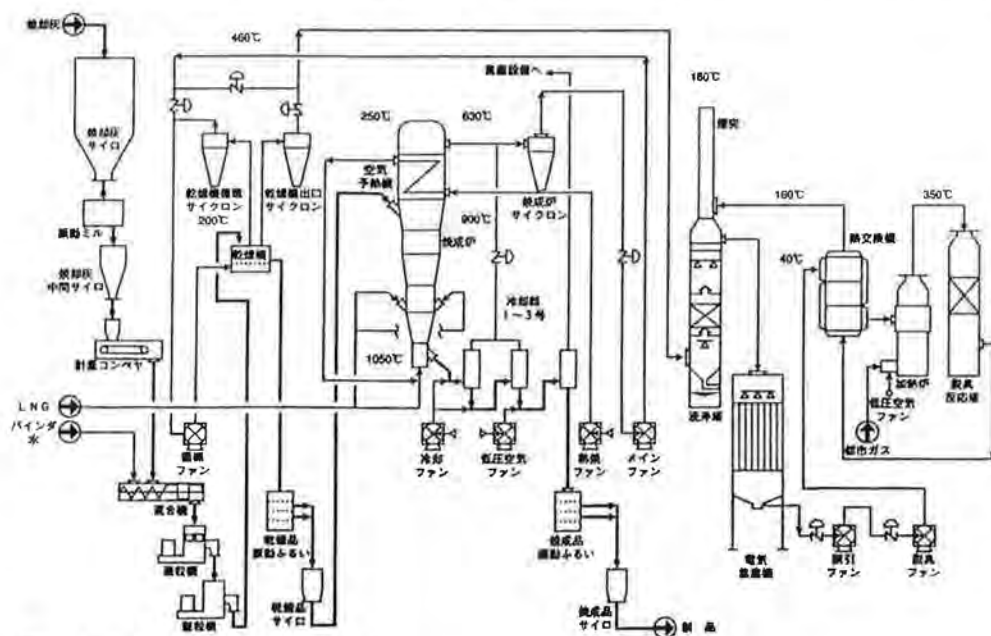


図6-3 スラジライトフローシート

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月に南部スラッジ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。

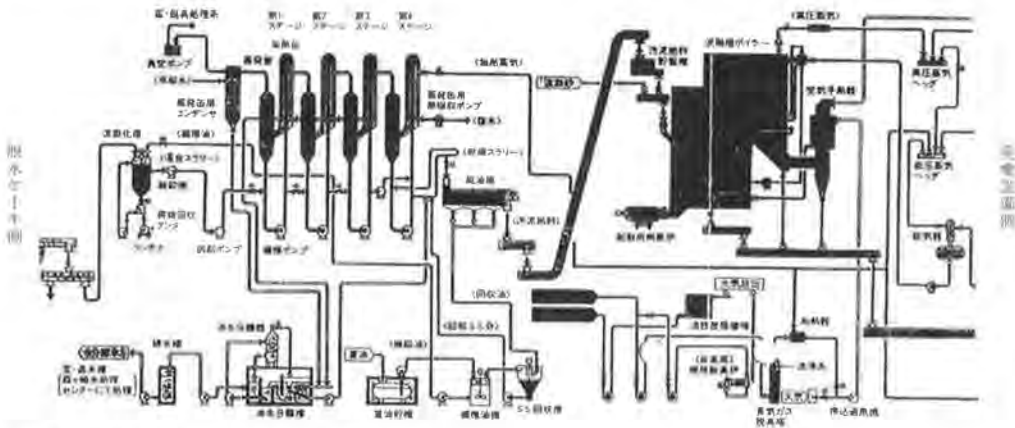


図6-4 汚泥燃料化システムフローシート

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（スクリー式高圧プレス）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、高温高压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ることで、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にしてある。

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	重油	湿りスラリー	乾燥スラリー	乾燥ケーキ	焼却灰	排ガス	高圧蒸気	発電量	精製油
10,417kg/h 脱水率=80%	10,309kg/h	20,426kg/h	18,160kg/h	3,396kg/h 含水率=4% 8,040kcal/kg	640kg/h	25,400Nm ³ /h	1,700kg/h 圧力=40kg/cm ²	8,777kg/h	777kg/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、軽量細粒材に続い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ダー容器に入れて、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1 t/cm²の圧力で圧縮成形して都市ガスを燃

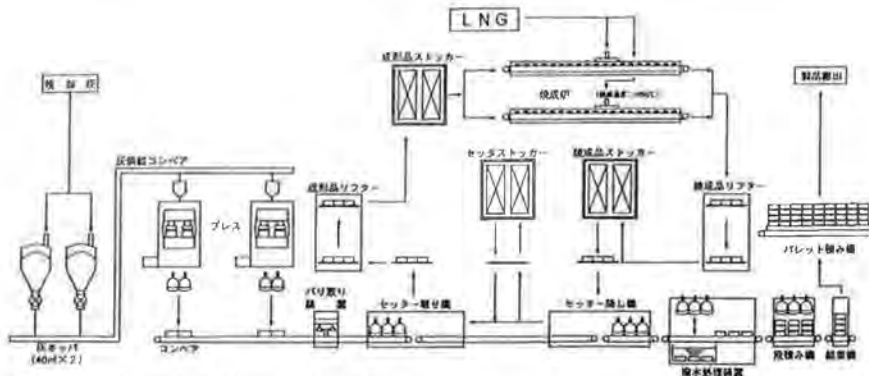


図6-5 メトロレンガフローシート

料とした焼成炉（ローラハースキルン）で約1,000～1,200℃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来る。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、低吸水性レンガを製作し、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 1 t / 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ースキルン形の連続炉で約 1,050℃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ダ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、排ガスとともにバグフィルターで分離捕捉後に100 μmの微

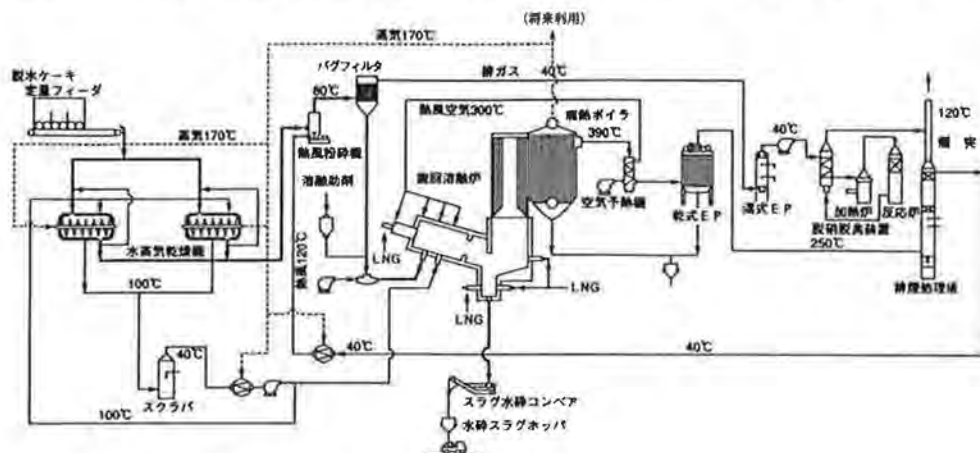


図6-6 汚泥溶融システムフローシート

細にして巡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、水中で急冷する水砕スラグと大気中で徐冷する結晶化スラグとがある。巡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、巡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砕する。巡回溶融炉は、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160 t/日でスラグ製造量は、約10 t/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。このガラスを巡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5,000 t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

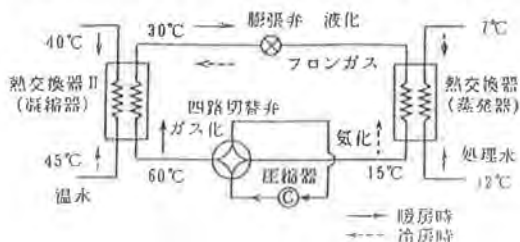


図6-7 ヒートポンプの原理



写真6-2 ヒートポンプ

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

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式会社を設立した。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カ所となっている。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臭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なり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 3台 電気着火式、水冷4サイクル、無過給エンジン、1,100PS・ 1,030rpm、圧縮空気始動、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

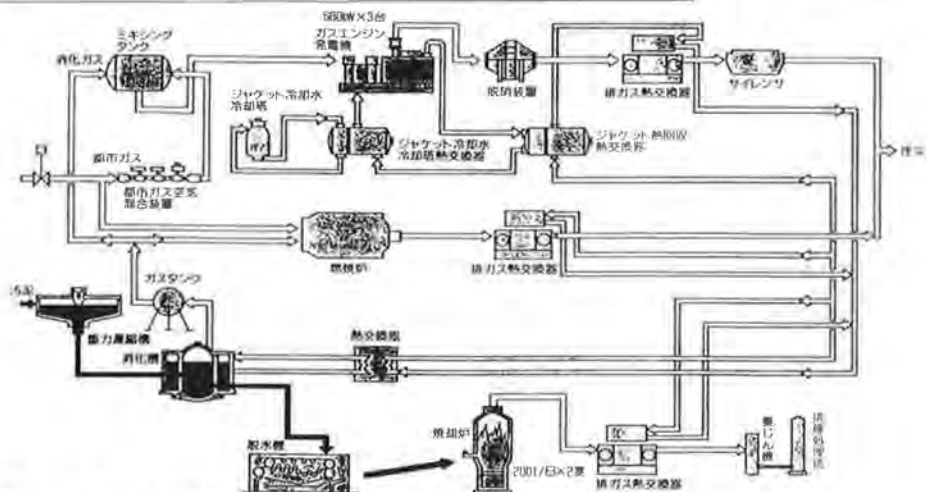


図6-8 消化ガス発電フローシート

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、汚泥の低位発熱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。

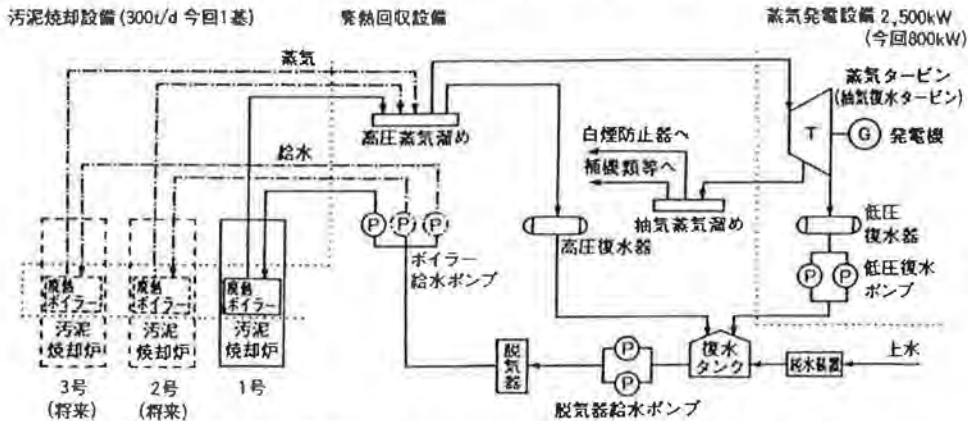
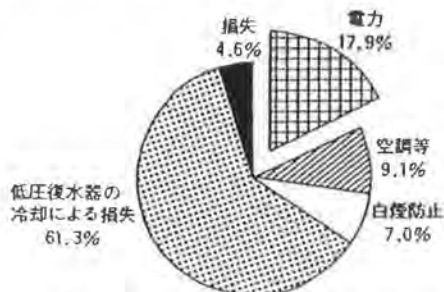


図6-9 廃熱回収蒸気発電フローシート

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 処理量：300t/d、燃焼温度：約830℃、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 処理量：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 処理量：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



回収熱量 4,007,000kcal/h (焼却炉1基当たり)

図6-10 回収熱量の利用割合

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)、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

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一部利用、設備に関係があるものとして

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よ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ロボットを示す。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ロボット

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、アスファルトファイ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にとまなう重金属等の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、土壌汚染、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（スクラパー式）による志茂ポンプ所の脱臭設備がはじまりである。臭気をスクラパーに導き、水道水

で稀釈した芳香剤でマスク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なかった。

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収させ、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、土壌中に生息する微生物により、臭気を浄化させる土壌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った。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種類のみのもの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・しさ掻揚時、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	同上 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	同上 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ったり、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 別	第一種区域	第二種区域	第三種区域
	該当地域	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。



写真7-1 マスキング用スクラバー

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、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、

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、メチルメルカプ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	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 ₃ +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) ₃ NH+Na ₂ CO ₃ +2H ₂ O+3NaCl (CH ₃) ₃ NH+3Na ₂ CO ₃ +2NaOH→ CH ₃ NH ₂ +Na ₂ 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) ₃ NCI+HCHO+HCl +H ₂ O
酸性	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
	メチルメルカプタン CH ₃ SH	水溶性	(CH ₃ SH+NaOH→CH ₃ SNa+H ₂ O) 2CH ₃ SNa+NaClO+H ₂ O→ (CH ₃) ₂ S ₂ +NaCl+2NaOH (CH ₃) ₂ S ₂ +5NaClO+H ₂ O→ 2CH ₃ SO ₂ H+5NaCl	CH ₃ SH+3HClO→ CH ₃ SO ₂ H+3HCl
中性	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 ₂ 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 CH=CH ₂	難溶性	反応せず	C ₆ H ₅ CHCH ₂ +HClO→ C ₆ H ₅ CHOHCH ₂ 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、

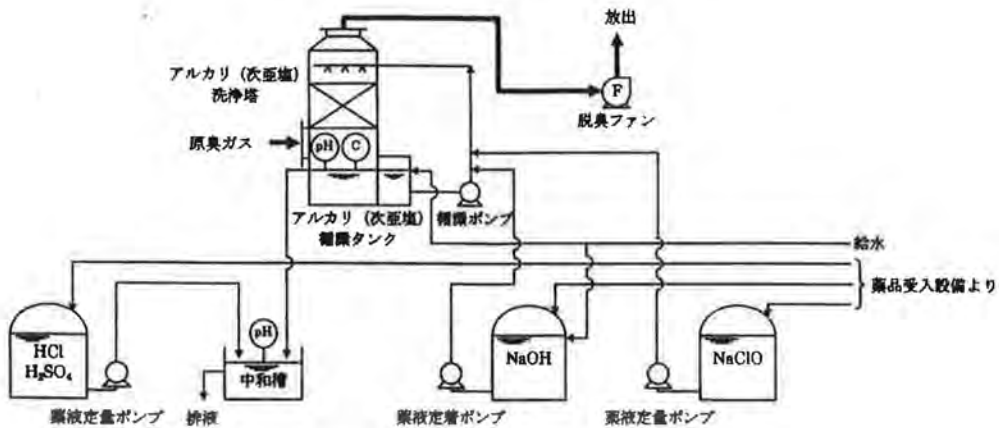


図7-3 酸化剤洗浄法フローシート

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。

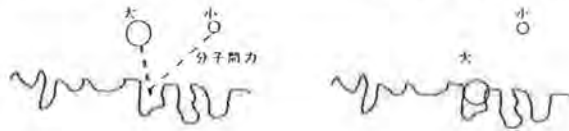


図7-4 活性炭表面における臭気吸着概要図

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

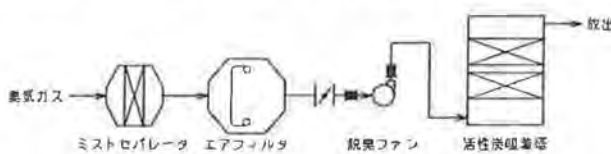


図7-5 活性炭吸着法フローシート

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）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 $31\text{m}^3/\text{分} \times 32$ 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。



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、エネルギー源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。

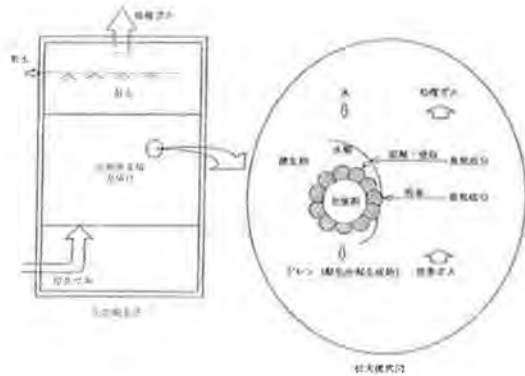


図7-6 生物脱臭塔の処理機構

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。



写真7-4 充填塔式生物脱臭装置

② 土壌脱臭法

土壌脱臭法は、図7-7に示すように、臭気ガスを湿った土壌層に通過させた時、臭気ガスが土壌粒子に吸着あるいは土壌水分に溶解して、土壌中に捕捉、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

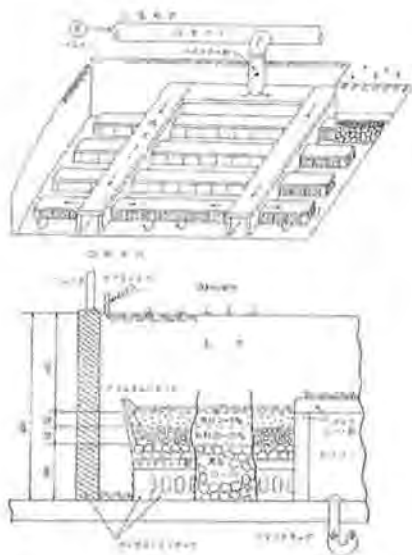


図7-7 土壤脱臭装置構造例

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

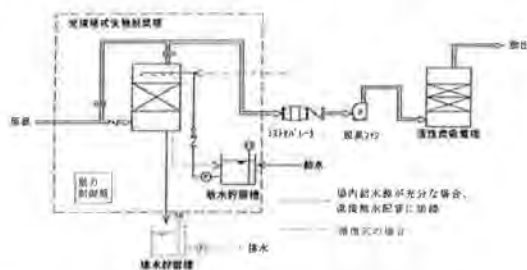


図7-8 生物脱臭法+活性炭吸着法フローシート

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土壌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、大雨が降ると土壌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、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。

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

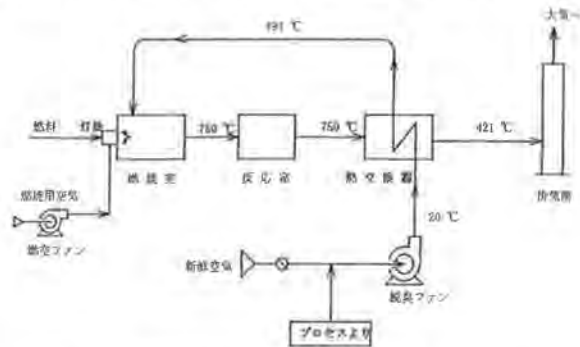


図7-9 直接燃焼法の一般的なフローシート

本方式を採用し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℃)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、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。

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℃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

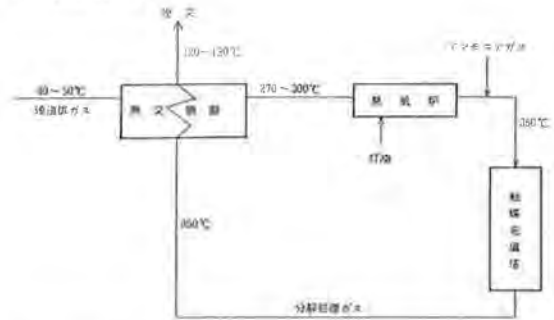


図7-10 脱硝脱臭設備フローシート

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	メチルメルカプタン	$\text{CH}_3\text{SH} + 3\text{O}_2$	$\rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	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	$2(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + 11\text{O}_2$	$\rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
臭	トリメチルアミン	$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 21\text{O}_2$	$\rightarrow 12\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 + 18\text{H}_2\text{O}$
	アセトアルデヒド	$2\text{CH}_3\text{CHO} + 5\text{O}_2$	$\rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
	スチレン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH=CH}_2 + 10\text{O}_2$	$\rightarrow 8\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
	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。

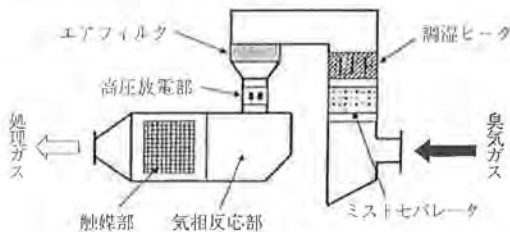


図7-11 放電式脱臭設備概要図

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。