

下水処理施設の悪臭対策の現状と問題点

財団法人日本環境衛生センター 公害部 重田芳廣

1. 悪臭発生源としての下水処理施設の位置付け

悪臭公害問題は昭和40年の初め、へい獣処理施設、製紙工場、養豚養鶏場、し尿処理場などの高濃度、不快感の強い悪臭公害が起り、一通りの調査と対策へのアプローチがなされてきた。昭和40年の後半になって、中濃度で不快感もそれほど強くない印刷・塗装工場、鋳造工場、食品工場、石油化学コンビナート工場などの臭気苦情対象となり、次いで、本施設のような低濃度ではあるが臭気量が多い発生源についても、ここ数年末寄せられるようになってきた。このように、ここ十数年の悪臭苦情の推移とみてみると、養豚養鶏場などの畜産業を除いて初期の高濃度の悪臭苦情は対策が進み、苦情件数は減少してきたが、この間における住民の公害意識の向上があって、不快感の少ない臭気である有機溶剤系臭気、食品工業（製菓、香料香料、醸造、発酵、コーヒ、フレー

バーなどの製造工場）臭気などでも昨今は苦情の対象となってきた。

このことは、臭気の不快感などに対する住民の認容性がきわめて厳しくなり、臭気の種類を問わず強度の強さが第一義的に向われ

る時代に入ってきていることを意味している。

表-1は、讀者の機関で過去10数年に亘って調査をした悪臭発生事業所の事業所別に、OER (Odor Emission Rate, 臭気排出強度 = 臭気濃度 * 排ガス量 (Nm³/分)) の測定例と悪臭公害の起り具合との関係を示

表-1 OER と悪臭公害の起り具合

臭気排出強度 (Nm ³ /分) (Total OER)	悪臭公害の起り具合	発生業種の代表例	備 考
10 ⁻⁴ 以下	特殊な場合を除いて起こらない。	パン工場、醸造工場	
10 ⁻⁵⁻⁶	現在小規模の公害が起っているかその可能性を内在している。	塗装、塗料工場、印刷、インク工場、皮革工場、FRP工場、飼・肥料工場、下水処理場	悪臭の最大到達距離は1~2 kmで悪臭苦情も500m以内が中心で、1km以上はまずないといえる。
10 ⁻⁷⁻⁸	小~中規模の公害が起っている。	鋳造工場、し尿処理場、養豚養鶏場、石油化学工場	悪臭の最大到達距離は2~4 kmで悪臭苦情は1km範囲内である。
10 ⁻⁹⁻¹⁰	大規模の公害が起っている。	KP工場、セロファン工場、へい獣処理場、レイヨン工場	悪臭の最大到達距離は10 km以内で悪臭苦情は2~3km範囲内である。
10 ⁻¹¹⁻¹²	最大の発生源でその例は少ない。	公害対策をしていない大規模のKP工場	悪臭の最大到達距離は数10 kmに及び被害も4~6kmの範囲に及ぶ。

したものである。また、備考の欄にOERの指数と悪臭最大到達距離や、付近住民からの苦情範囲との概略的な相関関係と記してある。なお、ここで言うTotal OERは各臭気発生源別のOERの数値と一事業所単位で加算した総和の数値であり、その数値の意味は、例えば、1.0 × 10⁻⁶ Nm³/分の例で説明すると、100万m³の清浄空気に毎分当り、微かにニオイをつける臭気排出強度があることを意味している。因みに100万m³の体積は東京の霞が関ビル（地上36階）で約50万m³のビル容積があるので、その2倍分の空気と着臭しう汚染強度が毎分あるとのことである。

一般的な下水処理場のTotal OERは10⁻⁵~10⁻⁶の範囲に入っているもので、悪臭の最大到達距離は1~2 kmで、悪臭苦情範囲は500 m以内の場合が多い。したがって、し尿処理場から較べると、その汚染強度は1/10~1/100程度小さい場合が普通であると思われる。但し、脱水汚泥の乾燥炉や多段式焼却炉ガスを脱臭しないで排出している場合には10⁻⁶~10⁻⁷の範囲に入ってくる例も多い。この場合のTotal OERの数値は脱臭装置等の本格的な脱臭対策と実施していない場合と原則として異なるので、最近のように十分に脱臭対策をおこなっている下水処理場の場合は表-2に示したように10⁻⁵オーダーの数値となり、最大臭気到達距離は0.5 km以内、苦情範囲も150~200 m程度となると考えられる。

なお、臭気最大到達距離と苦情範囲との関係は、大まかには、苦情範囲は到達距離の約1/3程度と考えて間違いないと思われる。因みに、平均値を公害意識をもった住民が、このニオイは公害であると騒ぎはじめ臭気濃度 * 臭気濃度とは、どのような強度の臭気でも、無臭空気で薄め続けければニオイがなくなるので、その希釈倍数を

表-2, T. O. E. R 経験則 (日本環境衛生センター)

業 種	規 模 (工程)	公害対策 (脱臭)	T. O. E. R (Nm ³ /分)	臭気到達 距離 (km)	推定有効 高発生源 (m)
畜 養 豚 場	10 — 30頭	—	10 ^a	1	0 — 5
	200 頭 以 上	—	10 ^{a-2}	2 — 3	0 — 5
	3,000 — 10,000羽	—	10 ^a	1	0 — 5
産 養 鶏 場	30,000羽 以 上	—	10 ^{a-7}	1 — 3	0 — 5
	原料 20t/日以下 (従来の方式)	—	10 ^{a-9}	3 — 5	0 — 10
	原料 40t/日以上 (アトラス方式, ミーレン方 式, 油温脱水方式等)	(工程改善, 直燃)	10 ^a	1	5 — 10
魚 腸 青	原料 20t/日以下 (従来の方式)	—	10 ^a	2 — 4	0 — 10
	原料 30t/日以上 (デュック方式, オールブラ イト方式, 油温脱水方式)	(工程改善, 直燃)	10 ^a	1	5 — 10
	原料 10t/日以下 (従来の方式)	—	10 ^a	2 — 4	0 — 10
施 設 フェザー	原料 20t/日以上 (ダグラスロソソ方式, オール ブライト方式, 油温脱水方式)	(工程改善, 直燃)	10 ^a	1	5 — 10
	—	もっとも進んでいる (直燃, 樹脂, 活性炭)	10 ^a	0.5 以下	10 — 30
	—	進 ん で い る (直燃, 薬液, オゾン)	10 ^{a-7}	1 — 3	10 — 25
都 市 し尿処理場	—	進 ん で い な い	10 ^{a-8}	2 — 4	5 — 20
	—	進 ん で い る (薬液, 活性炭, オゾン)	10 ^a	0.5 以下	10 — 30
	—	進 ん で い な い	10 ^{a-7}	1 — 3	10 — 30
清 掃 下水処理場	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
施 設 固液等の汚 水処理場	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
施 設 ごみ焼却炉	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
火 葬 場	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20
	—	—	10 ^a	0.5 以下	5 — 20

に、日本でもアメリカでも約10前後
であるといわれている。

2. 下水処理施設の悪臭発生源とそ の臭気の測定例。

下水処理施設の発生源は大別して
受け入れ前処理施設、ばう気槽、汚
泥処理施設の3系統ある。これらの
中で至近距離の民家に影響を与える
のは前処理施設の悪臭であるが、0.
5～2km 範囲の遠距離にまで影響
を与えるのは汚泥処理のうち、汚泥
焼却炉または乾燥炉からの臭気であ
る場合が多い。

ばう気槽からの臭気は至近距離の
民家に若干の影響を与える程度で、
一般的には余り問題にならないが、処理
場における土地の複合利用によつて
、ばう気槽と地下、又は半地下にし
た場合、覆土上部と公園やスポーツ
施設として付近住民に開放する場合
には悪臭とする危険がある。

次に、この施設の各工程からどのような臭気成分が排出されるかを述べてみよう。

1) スクリーン、沈砂池 ----- メタルメルカプタン、硫化メチル、硫化水素、アンモニア、トリメチルアミン、プロピオン酸、酢酸、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、ベンゼン、トルエン、MIBK、アセトンその他。

2) ばう気槽 ----- メタルメルカプタン、硫化メチル、硫化水素、アンモニア、トリメチルアミン、キシレン、トルエン、ベンゼン、トリクロロールエタン、エチルアルコール、アセトン、その他不明成分が多数ある。

3) 沈砂ばう気槽、前ばう気槽 ----- メタルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル、硫化水素、アンモニア、プロピオン酸、n-酪酸、イソ吉草酸、酢酸、トルエン、キシレン、n-ヘキサン、エチルアルコール、アセトンその他。

4) オー沈砂池 ----- メタルメルカプタン、硫化メチル、硫化水素、ベンゼン、キシレン、テトラクロロールエチレンその他。

5) 汚泥脱水機室 ----- 硫化水素、メタルメルカプタン、硫化メチル、アンモニア、プロピオン酸、n-酪酸、酢酸、トルエン、キシレン、n-ヘキサン、アセトンその他。

6) 汚泥焼却炉 (タテ型多段炒、灯油使用) ----- ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、n-ブチルアルデヒド、硫化カルボニル、二硫化炭素、プロパンまたはプロピレン、n-ペンタン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、イソプロピルベンゼン、MEK、アセトンその他の炭化水素類多数。

3. 脱臭方法選定の決め手

3.1 主原因物質の究明と脱臭方式の選定

脱臭方法選定の一つの重要な要因として、脱臭対策すべき臭気の原因物質を究明し、それら成分の物理、化学特性に応じた脱臭方法を選定することが脱臭対策成否の決め手となる。例えば、表-3のし尿処理場の臭気

表-3 し尿処理場臭気の代表的成分例 [ppm]

採取場所	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ Se	NH ₃	(CH ₃) ₂ N
投入室関係	200	40	5	1	37	0.1
無希釈ばっ気槽	45	4	1	0.1	300	0.05
遠心分離機室	0.1	0.02	0.002	nd*	0.5	nd*
汚泥焼却炉	2	0.5	0.2	0.02	100	nd*

注 * ガスロマトグラフの検出限界以下を示す。

表-4 し尿脱臭対策成分の推定計算例*

臭気成分	検出成分別の臭気濃度		
	投入室関係臭気	無希釈ばっ気槽臭気	汚泥焼却炉臭気
H ₂ S	200 + 0.002 = 100 000	45 + 0.002 = 22 500	2 + 0.002 = 1 000
CH ₃ SH	50 + 0.000 5 = 167 000	4 + 0.000 5 = 20 000	0.5 + 0.000 5 = 1 670
(CH ₃) ₂ S	5 + 0.000 5 = 10 000	1 + 0.000 5 = 2 000	0.2 + 0.000 5 = 400
(CH ₃) ₂ Se	40 + 0.000 3 = 1 000	0.1 + 0.000 3 = 330	0.02 + 0.000 3 = 67
NH ₃	37 + 0.3 = 123	300 + 0.3 = 1 000	100 + 0.3 = 330
(CH ₃) ₂ N	0.1 + 0.000 4 = 250	0.05 + 0.000 4 = 125	

注 * 測定値 + 6段階濃度 1.5 のレベル検出成分の臭気濃度

う必要がある。表-4は、し尿処理場臭気も各々の閾値(3臭比較式臭袋法による臭気濃度を用いているので、無臭室法の臭気強度 1.5 のレベルを用いた)で割った値を示したもので、この検出成分別の臭気濃度の表から判るように、投入室臭気の原因物質は検出された6成分の中では、CH₃SHとH₂Sが主要であり、次いで、(CH₃)₂Sの順で、NH₃はまず影響していないことが判る。また、無希釈ばっ気槽からの臭気は、H₂S、CH₃SHが同様に主原因で、次いで(CH₃)₂S、NH₃の順であった。このように、一般に脱臭対策すべき臭気成分は嗅覚閾値が極めて低いものが多く、この観点からすれば、下水処理施設の脱臭対策はCH₃SH、H₂S、(CH₃)₂Sの硫黄化合物と主要成分とし、NH₃、トリメチルアミンなどの塩基性物質、プロピオン酸、n-酪酸、イソ吉草酸などの低級脂肪酸などにも配慮した脱臭方式の選定とすることが必要である。但し、汚泥焼却炉排ガスの脱臭対策は全く別で、その原因成分がホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒドなどのアルデヒド類と硫化カルボニル、二硫化炭素などの硫黄化合物、トルエン、エチルベンゼンなどの炭化水素類なので、NaClO、NaBrOなどの酸化剤溶液とNa₂SO₃などの還元剤溶液による薬液洗浄法が有効となる。

3.2 臭気濃度と臭気量による脱臭方式の選定

二つの重要な要素は、それらの臭気濃度と臭気量によっても選定する脱臭方式が異なってくることである。例えば、し尿処理場の投入槽臭気のようにH₂SやCH₃SHの濃度が高く、処理風量が少ない場合は燃焼脱

表-5 悪臭発生源の9型分類

高濃度臭気 (臭気濃度 10万~500万)	中程度臭気 (同 上)
臭気量 大 (臭気量 1000~5000Nm ³ /分)	臭気量 中 (臭気量 200~1000Nm ³ /分)
高濃度臭気 (同 上)	中程度臭気 (同 上)
臭気量 中 (臭気量 200~1000Nm ³ /分)	臭気量 小 (臭気量 30~200Nm ³ /分)
高濃度臭気 (同 上)	低濃度臭気 (臭気濃度 300~5000)
臭気量 小 (臭気量 30~200Nm ³ /分)	臭気量 大 (臭気量 1000~5000Nm ³ /分)
中程度臭気 (臭気濃度 50000~10万)	低濃度臭気 (同 上)
臭気量 大 (臭気量 1000~5000Nm ³ /分)	臭気量 中 (臭気量 200~1000Nm ³ /分)
	低濃度臭気 (同 上)
	臭気量 小 (臭気量 30~200Nm ³ /分)

臭法は脱硫後の触媒燃焼法が適するし、逆に、下水処理場ばっ気槽排ガスのように臭気濃度は低い、臭気量

量が1000m³/分を越えるような大風量の場合は活性炭吸着法と柱に、前処理としてアルカリ洗浄法などの組み合わせが適する。表-5は、今までの悪臭調査例から臭気濃度の強さ別に高・中・低、臭気量の大きさ別に大・中・小の各3段階に分け、それらの組み合わせから9型に分類したものである。9型の各項目別に適する脱臭方式を選定しようとした提案で、例えば、区分1-①は、現状では脱臭対策費が高くなりすぎて設備とおこなうのがむ

* 閾値とは、生理学用語で人間の五官(視、聴、味、嗅、皮膚感覚)で感知しうる最小の刺激量のことという。

この場合は、嗅覚で感知しうる最小の臭気物質濃度を指す。

ずかしいので、製造工程や処理工程はもとより、場合によっては原料や製品などの抜本的な改善をおこなって、臭気量の大巾な軽減化を計らないと脱臭装置の採用がむづかしい区画である。

4. 臭気捕集方法の優劣による経済性と脱臭性能に与える影響

建設省土木研究所が昭和54年に報告したわが国の下水処理場の脱臭装置の設置施設は、全処理場3850所のうち、129ヵ所(33.5%)であると報告している。²⁾ (したがって、下水処理施設の脱臭方式別の処理技術も向上してきており、脱臭装置としても一応の完成の域に達しつつあるとみられる。

しかるに、臭気捕集方法に関する基本的課題である「その施設や工程から洩れたいための発生源密閉化と最小臭気量の捕集」についての、下水道関係者と脱臭装置メーカーの認識が、残念な限りすれも十分でない。下水処理施設に例を取れば、表-6のように、アルカリ洗浄槽やオゾン脱臭槽の場合は、こぼれ・沈砂池、前ばつ気・ば

表-6 4脱臭プロセスの設備能力別設備状況(%)

脱臭方式	脱臭設備能力 Nm ³ /分					計
	100未満	100~500	500~1,000	1,000以上		
a 活性炭 (a/T)%	13 (33%)	12 (28%)	10 (17%)	5 (31%)	40	40
b アルカリ洗浄 (b/T)%	12 (30%)	7 (16%)	7 (44%)	9 (30%)	45	45
c 酸洗浄 (c/T)%	6 (15%)	8 (19%)	4 (25%)	4 (13%)	22	22
d オゾン処理 (d/T)%	4 (10%)	9 (21%)	6 (38%)	13 (43%)	32	32
T 全脱臭施設 (T)	40	43	16	30	129	

つ気槽、汚泥処理施設(濃縮槽、脱水機室、汚泥洗浄槽等)などの施設と納めた部屋から希薄な臭気を、気積当りの換気回数の方で大量に取り出して脱臭している。

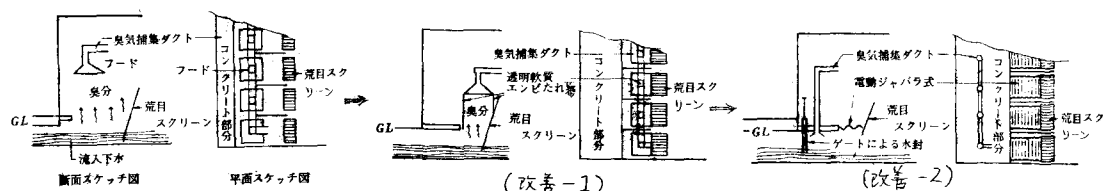
この場合に問題となる経済性と脱臭性能に関することは、一つは、現状での脱臭装置の大きさを決定していることは処理風量であって濃度ではない。したがって、どんな薄い臭気でも大量に引けば脱臭装置のイニシャルコストは膨大となるし、ランニングコストもボロアの電気代や薬液費等も増大してくる。他方、脱臭性能の面から考えても、例えば、硫化水素50

ppmを0.1 ppmの濃度に下げるとは、簡単なアルカリ洗浄による充満槽でも可能であるが、0.5 ppmを0.001 ppmに下げるとは、気液接触を綿密に考えたアルカリ洗浄槽と他の方式(NaClO洗浄、O₃など)との組み合わせなどによって、はじめて達成できるほど難しい技術と設備が要求されてくる。これも実際にあった例であるが、沈砂池を納めた部屋の臭気を吸引して、アルカリ洗浄と次亜塩素酸ソーダ溶液洗浄との組み合わせで480m³/分の臭気を脱臭したところ、臭気濃度が原臭気が850、脱臭後で400であり、約1億かけた脱臭装置が、捕集臭の濃度が薄すぎて十分な性能が発揮できない。

そこで、著者の主張は、従来から臭気捕集量の決定に利用されてきた、部屋の気積当りの換気回数/時の考え方とこの際はつきりと臭気捕集の場合には使用しないことである。気積当りの換気回数の考え方は、劇場、集会室、レストランなど多数の人が集まる場所には、CO₂、粉じん、煙草の煙、人いきれなどの蓄積が起これるので、新鮮空気との入れ代えが必要となってくる。この場合は、あくまでも人の衛生状態を良好に保つたものであって、公害問題のために臭気の発生(漏洩)を防ぐためではない。勿論、処理施設の作業環境を守るための臭気捕集をおこなう場合もあるが、脱臭の場合、あくまでも目的の主体が付近住民の臭気による生活への悪影響を防ぐことであることと明確にしておくべきである。

それでは、臭気の漏洩を防いで必要最小量の臭気捕集をおこなうための改善例を2つほど紹介し、各位の参考

図-1 し渣スクリーン臭気捕集方式の改善例



に供したい。その1は、図-1のように菟目し渣スクリーン周辺から発生する臭気を、左端のように建物天井からのフードで捕集していたが、フード開口部断面径における吸引速度が0.5~0.8m/秒であり、建物の窓や扉

から風が吹き込むと十分に臭気捕集ができな。そこで、改善-1のように透明エンビの重ね幕をたらし、捕集効率を上めると同時に、臭気発生面積を縮小した。さらに、改善-2はスクリュー前の開口部を必要時以外は電動ジャバラで覆せ、流入下水本溝にゲートをつけて下水管からの臭気とシットアウトし、直接密閉構造の流入溝より少量の臭気捕集とるように改善した例である。その2は、汚泥脱水機室で、本室全体から換気回数 $\times$ 容積で臭気捕集とあつなうと、例えば、真空脱水機3~4基ある脱水機室の場合、8回換気で処理風量が500~600 $m^3/分$ となる。これだけ多量の臭気捕集としても、夏期に暑くて窓などを開けると、室内の臭気は外部へ流れて(まう)。そこで、本施設を必要最小限の臭気方式に改善しようとするれば、一つの方式として、各脱水機の真上から電動式の上下可動フードと深く覆せ、装置稼動中は濃厚な臭気と少量取り出すようにする。脱水機の清掃、点検、修理などの場合は、フードと脱水機の上部から1m程度は上へ動力で上げられるようにしておく。この案により臭気量は1/10程度に減少でき、脱水機室に入っても殆んど臭気が感じられなくなるようになる。

5. 下水処理施設の現在臭気対策と今後の方向

現在の下水処理場は建設省土木研究所の調査によると、表-7のようにアルカリ洗浄単独、酸、次亜塩素酸

表-7. 脱臭施設の内訳

脱臭施設	施設数
1 水洗のみ	18
2 オゾン処理	22
3 アルカリ洗浄	24
4 活性炭	15
5 燃焼	16
6 酸アルカリ洗浄	10
7 エアタンブロー	6
8 土壌脱臭	3
9 触媒酸化	3
10 イオン交換樹脂	1
11 マスキング	3
12 酸洗浄	1
13 イオン交換+活性炭	11
14 アルカリ洗浄+活性炭	2
15 オゾン処理+活性炭	4
16 活性炭+土壌処理	1
17 酸アルカリ洗浄+活性炭	4
18 酸アルカリ洗浄+次亜塩素酸	1
19 オゾン処理+中和剤	1
20 酸アルカリ洗浄+オゾン	3
21 アルカリ洗浄+イオン交換+活性炭	1
22 酸アルカリ洗浄+次亜塩素酸+活性炭	1
23 酸アルカリ洗浄+活性炭+オゾン	1
24 酸洗浄+オゾン+活性炭	1
25 オゾン+アルカリ洗浄+活性炭	1
合計	154

リ-ダや活性炭法との併用が全体の約30%を占め最も多く、次いで、オゾン単独、活性炭や薬液洗浄との組み合わせが約21%、活性炭単独、イオン交換樹脂やオゾンとの併用が約25%で、この3つの方式を主にしたものがその主流を占めている。なお、脱臭方式としては、その効果から十分でないと思われるオゾン法、アルカリ洗浄、酸洗浄、エアタンブロー、マスキング、水洗のみなどの単独装置による脱臭方式が全体の約48%を占め、次いで、や、脱臭性能のよい活性炭単独、酸・アルカリ、樹脂単独が約17%、高級処理である燃焼、触媒酸化、樹脂+活性炭、その他2~3方式の組み合わせで最後に活性炭を用いた方式が約34%の内訳となっている。

脱臭装置の出口における臭気濃度を免うにするが、全く下水処理場周辺の住宅地域までの距離や、付近住民の施設に対する存在意識などによって決められるべきものであるが、これらの外部環境要因が厳しければ、出口における臭気濃度は100~300 という厳しい脱臭性能が必要となってくる。

この脱臭性能を有する処理方式は、酸・アルカリ、次亜塩素酸リ-ダ、イオン交換樹脂、オゾンなど活性炭法との組み合わせが最低の必要条件となり

り、脱臭対策に要する費用も相当な高額になる傾向がハッキリと現われてきた。

そこで、脱臭対策の今後方向としては2つある。1つは、既設の下水処理施設の脱臭対策のための方式、操業管理、臭気捕集方式の見直しによる臭気漏洩防止、臭気捕集方式の改善による少量臭気の高性能脱臭方式の採用がある。他の1つは、脱臭対策の観点から見た現在の下水処理方式の再検討である。

この再検討で最も急を要するのが、流域下水道計画などの大規模下水処理施設におけるばう気槽排ガスの脱臭である。表-6ではまだ1,000 $m^3/分$ 以上の臭気脱臭を要する施設が全体の約23%に過ぎず、しかもこれらはまた、簡単なオゾン処理とアルカリ洗浄のみで済ませているからよいが、今後の大規模処理施設からの脱臭すべし臭気量は4,000~7,000 $m^3/分$ にもなり、脱臭装置建設費だけでも10~25億円にも昇る。

そこで、その元凶ともいえるばう気槽排ガスの減量化が必要となり、今の所、機械ばう気方式の見直しや硫酸ばう気方式などに注目されてきている。

参考・引用文献 1) 重田芳彦; 下水処理場の臭気捕集と脱臭, 生活と環境, 23, 9, 1978, 2) 安藤茂, 高橋正宏; 下水道施設の臭気と脱臭方法, 月刊下水道, 2, 8, 1979