

実負荷運転における超微細気泡散気装置の省エネルギー効果 Energy-Saving Efficiency of Fine Bubble Diffuser in Actual Operation.

尾松良太*

Ryota Omatsu

活性汚泥法を採用している下水道終末処理場において、活性汚泥への酸素供給と攪拌をするために空気を吹き込むことが必要となる。これに使用される曝気動力は処理場全体で消費される動力の40%以上¹⁾を占めるといわれている。このためエアレーションの効率を高めることは重要な意義がある。

従来のセラミックや合成樹脂製の散気装置に比べ高効率散気装置を実設備に導入することによる曝気動力の省エネルギー効果とそれに伴う温室効果ガスの低減が注目を集めている。

本稿では、超微細気泡散気装置を高砂市下水道部伊保処理場の実設備に導入し、省エネルギー効果について既設散気設備と比較試験を行ったので報告する。

In the wastewater treatment plant, which has adopted the activated sludge method, air supply is necessary into the activated sludge mixed liquor for mixing and oxygenation. It is said that the aeration power used for this occupies over 40 percent of the power consumed in the whole wastewater treatment plant. For this reason, raising the efficiency of aeration has an important meaning.

Reduction of the greenhouse gas accompanying the energy-saving effect of aeration power by introducing high efficient diffuser into real equipment compared with the diffuser of the conventional ceramics or the product made of a synthetic resin attracts attention.

This paper reports energy-saving effect of the fine bubble aeration system in compared with established one in Iho WWTP of Takasago City.

1. はじめに

曝気動力を削減するために送風機動力を低減することが挙げられ、その一つ的手段として送風量を少なくすることが考えられる。しかし、ただ送風量を減らしたのでは、反応タンク内のDO(Dissolved Oxygen: 溶存酸素)の低下、MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid: 活性汚泥浮遊物質)の沈殿を招き処理水質が悪化し下水処理施設の本来の目的を果たすことができない。これを防ぐために少ない風量でも槽内のDOを維持できる、すなわち従来のセラミックや合成樹脂製の散気装置よりも効率よく酸素を溶解させることの可能な高効率型散気装置を導入することで曝気動力を低減することができる。

散気装置の効率には多くの要因が関わっており、その中で気泡が小さいほど効率は高くなることが挙げられる。こうした中で超微細気泡散気装置の性能確認をするため小型水槽における清水での基本性能試験および実設備における既存散気設備との比較を行ったので報告する。

2. 散気装置の構造

散気装置の構造を図1に示す。装置は支持管の外周に多数のスリット孔をあけた散気膜を取り付け、両側をステンレス製のクランプで止めている。

エア吸込口から入った空気が支持管のエア吐出口から吐出され、散気膜と支持管の間に空気が溜まり、圧力がかかることによって散気膜を押し上げスリット孔が開き微細な気泡を発生する。

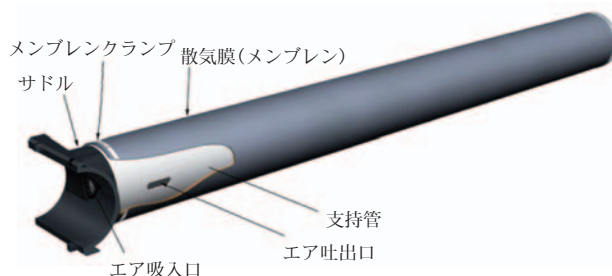


図1 散気装置の構造
Fig. 1 Structure of diffuser

曝気停止時にはスリット孔が閉じ支持管と散気膜が水压で密着する。また、エア吐出口部分の散気膜にはスリット孔を開けていないため曝気停止時に汚水が逆流することなく、目詰まりは発生しない構造となっている。

3. 小型水槽による性能試験

小型水槽における散気装置の性能試験は清水(水道水)を用いた。

3.1 試験装置の概要

本測定に用いた小型実験水槽の装置フローを図2、性能試験に用いた散気装置の概要を表1に示す。

3.2 測定項目と方法

3.2.1 測定項目と測定条件

小型水槽の有効水深を2.8m(容量550L)として非定常

* バルブ事業部 バルブ開発部

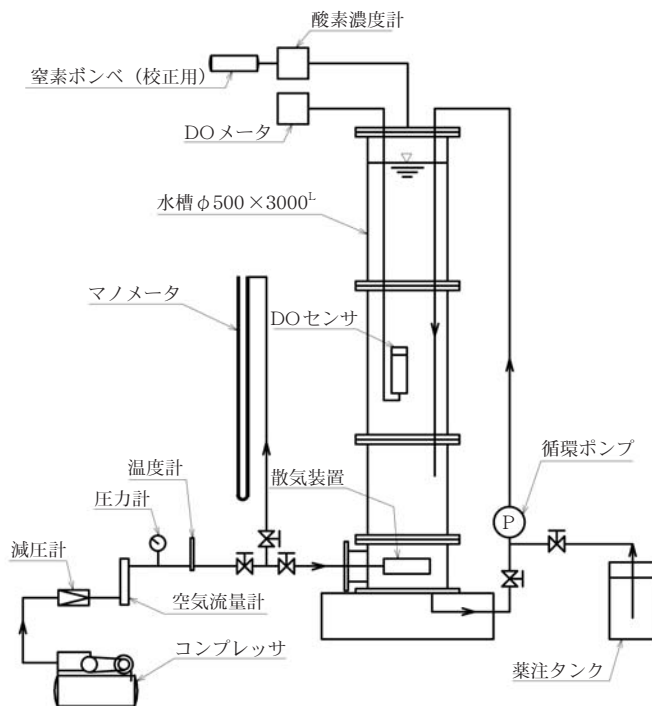


図2 実験装置のフロー
Fig. 2 Flow sheet of test device

表1 散気装置概要
Table 1 Outline of diffuser

項目	概要
形状	φ122×411 ^L
散気膜材質	EPDM(合成ゴム)
支持管材質	PVC
有効発泡面積	500cm ²

法およびオフガス法により KLa (総括酸素移動容量係数) を求め酸素溶解効率を算出した。

測定条件として、散気装置の通気量を22L/min、42L/min、62L/minの3条件とした。また、試験水槽内のDOを0 mg/Lとするため亜硫酸ソーダを添加し、触媒として硫酸銅を使用した。

3.2.2 非常法による酸素溶解効率の算出

KLa の測定は下水道試験方法²⁾に準拠し水温、水深、塩分濃度補正を行った。

$KLa(T)$ の水温、塩分補正は式(1)とした。

$$KLa(20) = 1/\gamma \times KLa(T) \times 1.024^{(20-T)} \quad (1)$$

ここで

γ : 塩分濃度による KLa の補正係数

$$\gamma = 8.8 \times 10^{-6} \times C_z + 1$$

C_z : 亜硫酸ソーダ濃度(mg/L)

散気水深5m時の酸素溶解効率 $E_A(20,5m)$ の補正は式(2)とした。

$$E_A(20, 5m) = E_A(20) \times \left(\frac{5}{H}\right)^{0.72} \quad (2)$$

3.2.3 オフガス法による酸素溶解効率の算出

$KLa(T)$ の算出は式(3)、 $E_A(T)$ の算出は式(4)とした。

$$KLa(T) = \frac{\delta \times G_s}{C_s(T) \times V \times 10^{-3}} \times \frac{100(Z_0 - Z_m)}{Z_0(100 - Z_m)} \quad (3)$$

$$E_A(T) = \frac{100(Z_0 - Z_m)}{Z_0(100 - Z_m)} \times 100(\%) \quad (4)$$

ここで

Z_0 : 吸い込み空気の酸素モル分率

Z_m : 定常時、排ガスの酸素モル分率

3.3 試験結果

非常法による酸素溶解効率曲線を図3、オフガス法による酸素溶解効率曲線を図4、気泡発生状況写真を図5、発生した気泡の写真を図6、各通気量における気泡径の測定結果を表2に示す。

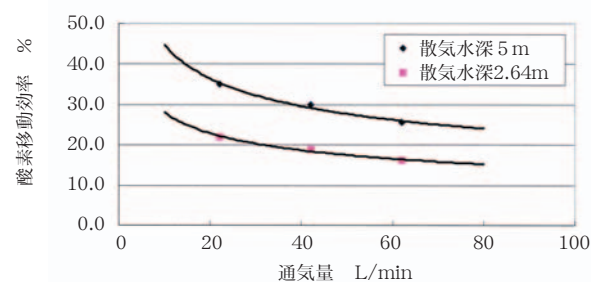


図3 酸素溶解効率曲線(非常法)
Fig. 3 Standard oxygen transfer efficiency curve (Nonlinear regression method)

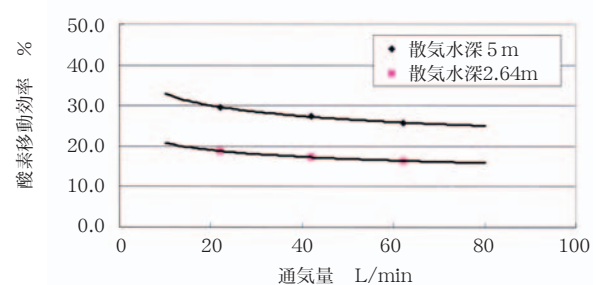


図4 酸素溶解効率曲線(オフガス法)
Fig. 4 Standard oxygen transfer efficiency curve (Off gas method)

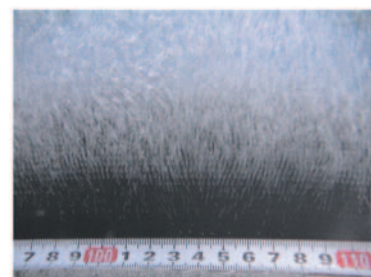


図5 気泡発生状況写真
Fig. 5 Picture of diffused condition

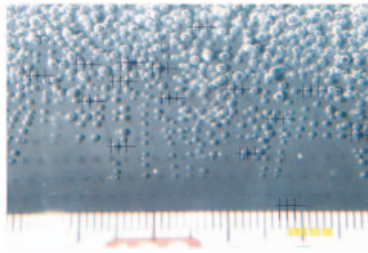


図6 気泡径写真
Fig. 6 Picture of bubble size

表2 各通気量における気泡径
Table 2 Bubble size versus air flow rate

通気量(L/min)	22	42	62
平均気泡径(mm)	1.0	1.1	1.2
気泡径(mm)	0.8~1.3	0.5~1.5	0.7~1.5

酸素溶解効率は通気量が低いほど高くなる傾向がある。これは、表2の気泡径測定結果より通気量を低くすることによる気泡の微細化と滞留時間の増加によるものと考えられる。

4. 実負荷運転による性能比較

小型実験水槽で使用したものと外径寸法、散気膜が同一の超微細気泡散気装置を実設備に導入し、既存の散気設備と比較試験をした。

4.1 設備概要

設備概要を表3に示す。送風機から吐出された空気は、1本の集合配管で送気され反応タンク手前で4本に分岐し各池に分配される。送風量はオリフィス流量計で測定され、空気調整弁の開度調整で各池への風量を調整している。また、送風機の吸い込み側には乾式エアフィルターが設置されており、ある程度の粉塵を除去している。

表5 反応タンク概要
Table 5 Outline of reactor

	No.1池	No.2池	No.3池(比較池)	No.4池(実験池)
散気方式	旋回流式	旋回流式	旋回流式	全面曝気式
散気装置	セラミック散気筒	セラミック散気筒	合成樹脂散気筒	超微細気泡散気装置
数量	128本	128本	128本	40セット
散気水深	4.3m	4.3m	4.3m	4.5m

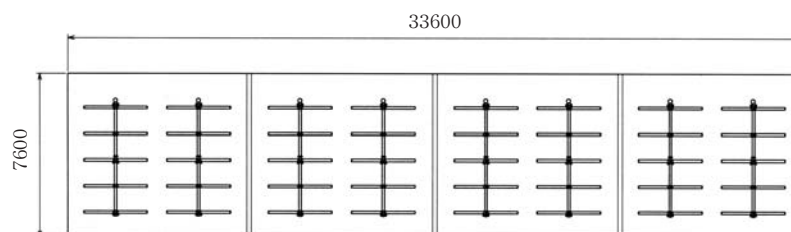


図7 超微細気泡散気装置の配置図
Fig. 7 Layout of fine bubble diffusers

反応タンクは4池有しており、今回No.4池(以下実験池)に表4に示す超微細気泡散気装置を導入し、ほぼ同時期に散気装置を更新した合成樹脂製散気筒設備No.3池(以下比較池)と水処理性能、曝気動力について比較した。

各池の反応タンク概要を表5、実験池の散気装置の配置図を図7に示す。

4.2 測定項目及び方法

4.2.1 運転

1) 送風量、送気圧力

送風量は、各反応タンクへ分配する空気支管に取り付けられたオリフィス流量計で測定し、その現場指示計の表示値とした。また、送気圧力は反応タンク末端部にブルドン管圧力計を取り付けその指示値を送気圧力とした。

2) 反応タンク内混合液

DO値の測定位置は反応タンク内5カ所、さらに水深を

表3 下水処理設備の概要
Table 3 Outline of wastewater treatment plant facility

処理水量	10,000m ³ /日
処理方式	標準活性汚泥法
反応タンク設備	7.6 ^W ×33.6m ^L ×5.0m ^D ×4池 (有効容量: 1237.5m ³ /1池)
送風機	ルーツプロア 25m ³ /min×5,500mmAq×45kW×4台

表4 超微細気泡散気装置の仕様
Table 4 Specification of fine bubble diffuser

外形寸法		φ 122×2921 ^L
有効発泡面積		0.472m ²
材質	支持管	PVC
	メンブレン (散気膜)	EPDM(合成ゴム)

かえて3ポイントの合計15ポイントとした。また、MLSSは反応タンク末端部で採水した混合液を測定した。

3) 間欠運転

セラミックや合成樹脂製散気装置では曝気停止時に汚水逆流などで発生する目詰りによる圧力損失の上昇がある³⁾が、今回使用した超微細気泡散気装置は、曝気停止した場合でも汚水の逆流が発生しない構造となっているため間欠運転による圧力損失の変化を測定した。

4.2.2 水質分析

水処理性能を調査するため反応タンクに流入する汚水と各反応タンク末端部で採水した処理水の水質を分析した。水質分析はJIS規格に定められる方法とし第三者機関による分析結果とした。

4.3 測定結果

4.3.1 運転データ

各種運転状況の経日変化を図8に示す。

4.3.2 水質データ

各種水質分析結果の経日変化を図9に示す。

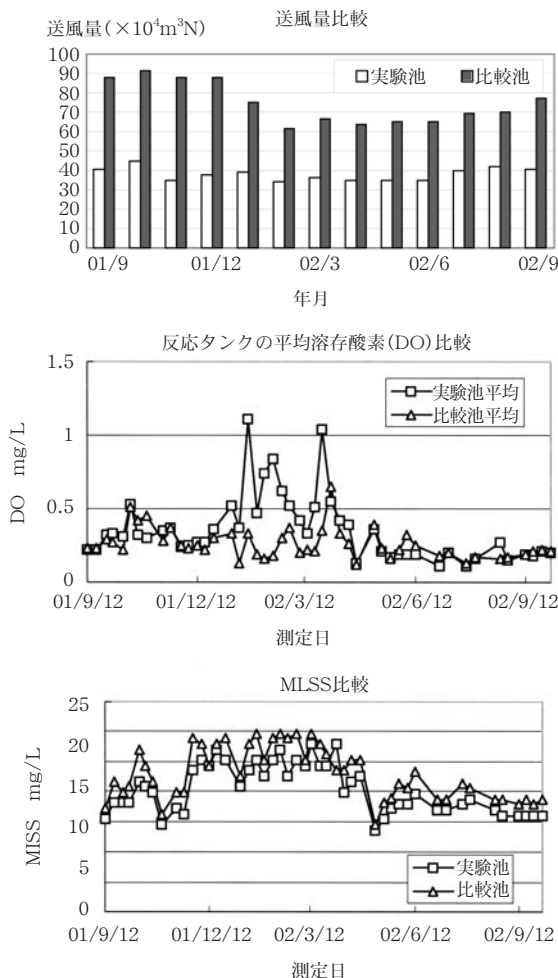


図8 運転結果
Fig. 8 Operating results

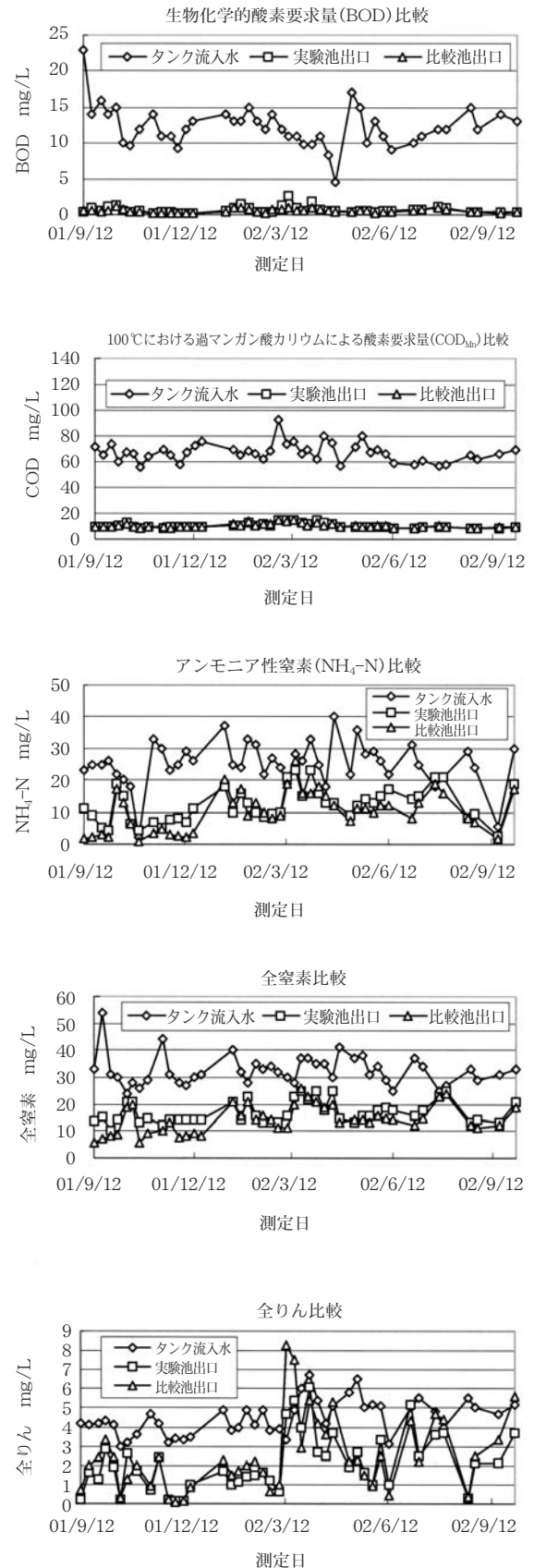


図9 水質分析結果
Fig. 9 Water quality analysis results

4.3.3 間欠運転

間欠運転の調査は、実験池の曝気を停止し曝気停止前の送気圧力と再曝気したときの送気圧力を比較した。

曝気停止から再度曝気を開始するまでの圧力変化を図10に示す。

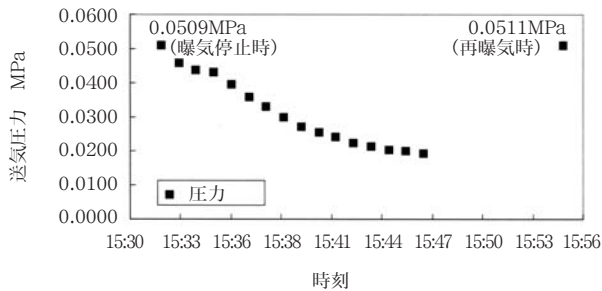


図10 再曝気時の圧力変化

Fig. 10 Pressure loss of intermittent operation

再曝気時の圧力は曝気停止前と比べると0.0002MPaの上昇があったがこれは送風量が増加したものによると考えられる。

比較池の合成樹脂製散気装置については、曝気停止による汚水の逆流などに起因する目詰まりの問題が予想されるためこの試験は実施しなかった。

5. 性能評価

5.1 運転管理

1) 風量調整

各反応タンクへの風量調整を空気支管に設置された風量調節弁の開度調整により風量調整ができることから、本散気装置は既設反応タンク設備へ適用が可能である。

2) 反応タンク内混合液

反応タンク内混合液は実験池、比較池共に同程度の値を示した。このことから反応タンク内混合液の性状に影響することなく、比較池よりも4割以上少ない送風量で運転することができる。

3) 運転管理

従来型のセラミックや合成樹脂製の散気装置では、曝気を停止した場合汚水の逆流による目詰まりなどの不具合が生じることがある。このため最小空気量以上での通気が必要不可欠となり反応タンク内のDO値の上昇による過曝気に注意する必要がある。また経年変化による圧力上昇は数十～数百mmAqともいわれている。

本散気装置は曝気停止した場合でも目詰まりによる圧力上昇はきわめて発生しづらいものと判断できることと最小空気量以上での運転を考慮しなくてもよいことからDO値の制御などの運転管理が容易におこなえる。ま

表6 省エネルギー効果の比較
Table 6 Comparison of Energy-saving Efficiency

散気設備		既設散気設備	現状の散気設備	将来(仮定)	備考
散気装置	No.1池	セラミック散気筒 128本	同左	超微細気泡散気装置 40セット	
	No.2池	セラミック散気筒 128本	同左	超微細気泡散気装置 40セット	
	No.3池	合成樹脂散気筒 128本	同左	超微細気泡散気装置 40セット	
	No.4池	セラミック散気筒 128本	超微細気泡散気装置 40セット	同左	
送風量		68m ³ /min	59.7m ³ /min	34.8m ³ /min	
ランニングコスト	軸動力 (kW)	89.0	81.3	47.4	
	電気代 (円/年)	8,575,000	7,832,000 (-743,000)	4,566,000 (-4,009,000)	()内は既設散気設備との差額。
	低減率	—	-8.7%	-46.8%	
CO ₂ 排出量 (kgCO ₂ /年)		278,300	254,200 (-24,100)	148,200 (-130,100)	()内は削減量
備考		・送風量は運転データの平均値を1池当たりに必要な送風量とした。 ・電気代は11円/kWhとした。 ・CO ₂ 排出量は、「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果総括報告書」(平成12年9月環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会)、一般事業者から供給された電気の使用に伴う排出係数の平成10年度の値(0.357kgCO ₂ /kWh)とした。			

た、停電などによる曝気停止が生じた場合でも再曝気時の圧力上昇は発生しないと考えられる。

5.2 水質への影響

流入、流出水質の比較データより実験池、比較池共に年間を通じて安定したBOD除去性能が得られている。また窒素、リンの流出量は比較池、実験池共に大差はなかった。このことから超微細気泡散気装置は、既存設備と同程度の水処理性能を得ることができる。

5.3 経済性

本散気装置を全池に導入した場合の経済性と温室効果ガス排出量の比較を行った。またループフロアの全断熱効率を0.57と仮定した。

超微細気泡散気装置と既設散気設備の省エネルギー効果の比較を表6に示す。

6. まとめ

今回使用した超微細気泡散気装置の運転及び水質測定結果により下記知見が得られた。

- 1) 散気水深は既設散気筒と同程度の散気水深に設置しても、各風量調整弁で容易に送風量調整が行える。
- 2) 曝気停止後、圧力損失の上昇がないことから汚水逆流による目詰まりがないので間欠運転が可能である。
- 3) 既設散気設備よりも40%以上少ない送風量で同等程度の水処理性能が得られる。

今回の比較実験では、全4池の内1池にのみ超微細気泡散気装置を用いたため、省エネルギー効果は大きいものではないが、本散気装置を全池に導入した場合、下記効果が予想される。

- 1) 送風量低減による消費電力量の削減が可能となる。
- 2) 省エネルギー効果による温室効果ガスの低減ができる。

7. おわりに

酸素溶解効率の高い超微細気泡散気装置を実設備に導入することで曝気動力の低減につながる事が確認された。また、このような高効率型の散気装置が普及し、全国規模で温室効果ガスが大幅に抑制されることを期待している。

謝辞

本研究に関し、フィールドの提供と運転データの開示をしていただきました高砂市下水道部殿ならびに多大な御協力を下さいました伊保処理場の皆様方に深く感謝します。

参考文献

- 1) 散気装置の効率化に関する調査報告書、東京都下水道局、2002、p.1
- 2) 下水道試験方法、社団法人日本下水道協会、1997、pp.275-276
- 3) 下水道施設計画・設計指針と解説、社団法人日本下水道協会、1994、pp.76-81

執筆者

尾松 良太

Ryota Omatsu

平成10年入社

バルブ設計部を経て

下水設備の開発に従事



用語解説

プラズマ・ディスプレイパネル(plasma display panel)

特殊なガスに電圧をかけて生じる放電現象で発光する素子を利用した映像表示装置のことをいう。薄型で高画質、大型化が容易な半面、発光効率、輝度(画面の明るさ)、消費電力、製造コストに課題がある。数社が製品化しており、1990年代後半以降広告表示など業務用実用化が進み、99年には次世代の薄型平面テレビとして登場、2001年から2002年にかけて製品出荷競争が活発になってきた。2000年の世界市場規模760億円が2005年には9000億円に膨らむとの予測もある。ブラウン管、液晶ディスプレイに続く次世代ディスプレイとしては、フィールド・エミッション・ディスプレイ(FED)や有機ELディスプレイにも期待が大きい。