

# 環境配慮型水処理システムについて

## About an environment-conscious Water Processing System

須賀工業(株) 技術本部 技術研究所 竹田 喜一, 中村 勉

SUGA CO., LTD R&D Center Kiichi Takeda , Tsutomu Nakamura

キーワード：電気分解，水質浄化，無薬剤，排水処理，貯留槽

Key word : Electric coating, Purification of water, Non- Chemicals, Drainage processing, Retention tank

### はじめに

水資源の有効利用は、省資源化と低炭素社会の実現に向け、給排水衛生設備では重要な課題とされている。従来、雨水利用や再生水，工業用水の利用などを通して、上水道設備から供給される飲料用水の削減を図ってきた。今年の8月には、大阪市のドーンセンターにて、「第4回雨水ネットワーク会議 全国大会 2011 in 大阪」が開催され、雨水利用の事例や日本以外にバングラディッシュ，タイでの雨水利用プロジェクトなどが紹介されている。このように、自然界よりもたらされる雨水については、一般家庭まで利用が進んでおり、再生水については、冷熱源と同様に地域施設にて処理され、周辺建物に供給することも始められており、初期の目的である、水資源の削減については、市民レベルまで浸透していると考えられる。

本報告では、建物で実際に使用されている水や発生する排水を対象に、薬品を使用せずに浄化する水処理システムを紹介する。

ノンケミカルであることから、発生する排水には薬剤が混入することなく、さらに、作業員や管理者にも微量でも薬剤を吸引することが防止し、腐敗臭や悪臭を発生しないなど、環境に配慮した水処理システムと位置付けられる。

## 1. 電気分解処理による水質浄化システムの概要とモデル実験

### 1-1. 水質浄化システムの概要

屋外に設置されている開放型冷却塔の循環冷却水システムでは、冷却能力を発揮させるために、水質の維持管理は重要なメンテナンス項目とされている。水質管理が十分に行われなければ、一般的にスケール障害，腐食障害，スライム障害を引き起こし、エネルギーロスや過剰な水資源の消費などにつながる。冷却塔の維持管理では、多くは薬品注入による処理を適用しているが、近年、環境問題対応への意識の向上とともに、排水に含まれる薬剤の環境への影響が懸念されている。

本方式では、環境にやさしい技術としての電気分解法に着目し、陽極酸化被膜( $TiO_2$ )の絶縁破壊によっ

て得られるスケール成分等の除去性能を利用し、水中に対向して設置されたTi電極間に、定電流を印加することにより、水中の無機質系物質の析出に伴うスケール成分の濃度を低下させる(図1-1 参照)。

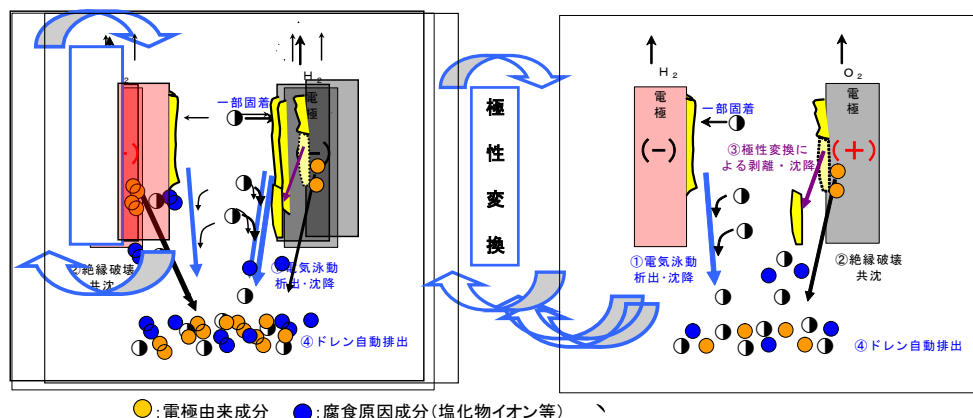


図1-1 電極の反応機構と極性変換

## 1-2. モデル実験

定電流電解処理によるモデル実験にて、計測された電圧、電気伝導率と水質分析値の変化を図 1-2、図 1-3 に示す。

- ① 電圧は、一旦上昇するが、その後低下し 15~17V に収束し、電気伝導率は、経過時間と共に値は減少する（図 1-2 参照）。
- ② 水質分析結果では、全ての項目にて 24 時間処理後の濃度が低下している（図 1-3 参照）。

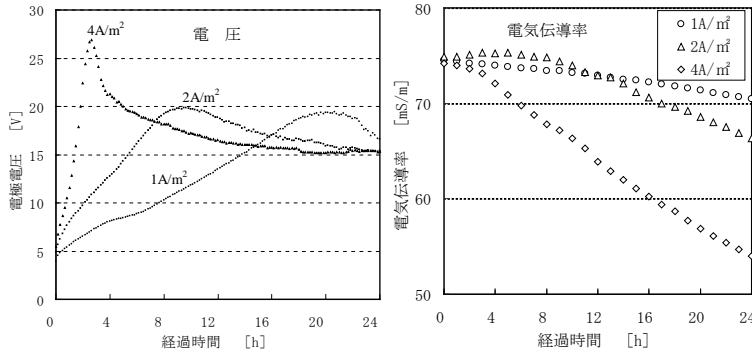


図 1-2 電圧と電気伝導率の経時変化

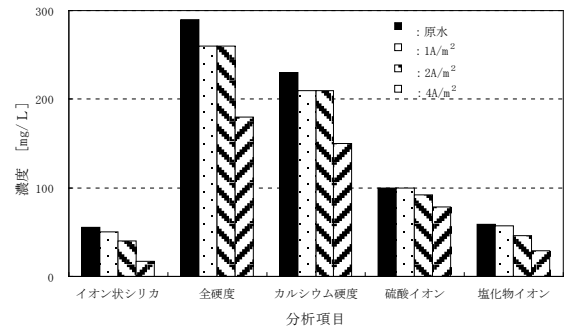


図 1-3 24 時間電解処理時の水質の変化

## 1-3. フィールド性能検証概要

国内では地域により水質が異なることを勘案し、代表として 3 地域（栃木、長野、静岡）を選択し、既設の冷却塔を循環している冷却水を試料としてサンプリングし、本システムでの性能検証を行った。

### (1) 実験装置

実験装置には、PVC 製の電解槽と制御盤を内蔵し、電解槽底部に沈降した Si、Ca、Ti 等を含む沈殿物を、定期的に分離・排出する機能と、カソード析出した固着成分を剥離するための極性変換機能を付加した。

電解槽の仕様を表 1-1 に示す。

### (2) 実験条件

冷却塔の容量は、80, 250, 450 冷凍トンの 3 種類とし、水処理方法は、電極に電流密度 3A/m<sup>2</sup> の定電流を流し、循環冷却水の一部を装置内に供給し、1 パス処理後に循環系に戻す方法で、24 時間連続処理を約 6 ヶ月メンテナンスフリーで行った（図 1-4 参照）。

表 1-1 電解槽の仕様

項目	仕様
電極サイズ	Ti 電極：JIS2 種，304mm×609mm×2mm 厚
電極設置枚数	アノード用とカソード用各 18 枚を交互に配列

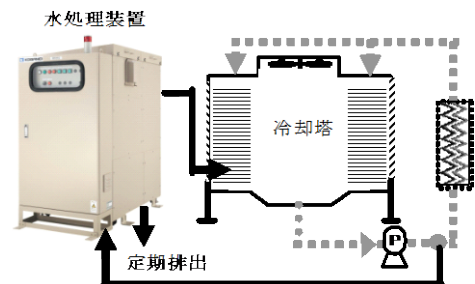


図 1-4 検証試験フロー

なお、冷却塔の大きさに応じ電極面積と処理流量は調整した。

### (3) 分析項目

分析は、下記の 6 項目を対象に実施した。

- 1) 装置入口と出口の水質分析
- 2) アノード、カソード間の電圧計測
- 3) 電極板表面状態の観察
- 4) 電気伝導率の測定

- 5) 沈殿物の成分分析
- 6) 循環水・ドレン水における有害物質の有無

#### (4) 分析・計測方法

分析・計測方法を以下に示し、測定装置の仕様を表 1-2 に示す。

- 1) 装置入口と出口の水質分析
  - ① 水質分析は、定期サンプリング後に行った。
  - ② 分析は、pH 他 12 項目について実施したが、今回は、溶解性蒸発残留物、イオン状シリカ、全硬度の 3 項目に着目し、水処理装置の入口と出口の水質分析値を示す。
  - ③ 腐食性などを判定は、安定度指数、飽和指数を計算より求めた。
- 2) アノード、カソード間の電圧計測
  - ・ 1 時間毎に、小型電圧ロガーを用いて測定を行った。
- 3) 電極板表面状態の観察
  - ・ 定期的に、電極板表面状況の観察を行った。
- 4) 電気伝導率の測定
  - ・ 4 時間毎に、処理水の電気伝導率の測定を行った。
- 5) 沈殿物の成分分析
  - ・ 採取した沈殿物は、蛍光 X 線にて成分分析を行った。
- 6) 循環水・ドレン水における有害物質の有無
  - ・ イオンクロマトグラフ及び ICP 発光分光法にて、有害物質の有無について分析を行った。

表 1-2 測定装置仕様

項目	仕様
電 圧	小型電圧ロガー：Type3645，日置電機(株)製
電気伝導率	pH/導電率：D-54S，(株)堀場製作所製
成分分析	蛍光 X 線分析装置：JSX-3000，日本電子(株)製
有害物質	イオンクロマトグラフ：HIC-6A，島津製作所製
	ICP 発光分光装置：VISTA-PRO，ジャパソニリミテッド製

#### 1-4. フィールド性能検証結果

##### (1) 装置入口と出口の水質分析結果（電気伝導率も含む）

装置入口と出口の水質分析より得られた各分析項目に対応した濃度の期間平均値を表 1-3 に示す。(なお、装置に供給された循環水は、1 パスで処理されているため、入口と出口の濃度差が成分除去性能に該当する)

次に、処理した循環水の腐食性などを確認するため、水質分析結果から、安定度指数と飽和指数を算出した(図 1-5 参照)。

- ① 電気伝導率，溶解性蒸発残留物，イオン状シリカ，全硬度ともに、成分除去性能（濃度の低減効果）が確認された。
- ② いずれの地域においても、求めた安定度指数，飽和指数は、スケール性，腐食性に偏ることなく、大きな変動もみられず、ほぼ安定した数値を示している。

表 1-3 地域別での水質分析結果  
(6ヶ月間2週ごとの平均値, 夏季を含む)

項目		栃木	長野	静岡
電気伝導率 (mS/m)	入口	39.2	93.1	60.7
	出口	38.3	92.3	59.0
	差	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>1.7</b>
溶解性蒸発残留物 (mg/L)	入口	321.6	711.4	458.8
	出口	302.0	699.9	448.5
	差	<b>19.6</b>	<b>11.5</b>	<b>10.3</b>
イオン状シリカ (mg/L)	入口	75.6	164.6	82.7
	出口	71.6	160.5	81.5
	差	<b>4.0</b>	<b>4.1</b>	<b>1.2</b>
全硬度 (mg/L)	入口	110.5	213.8	208.6
	出口	100.2	208.6	196.0
	差	<b>10.3</b>	<b>5.2</b>	<b>12.6</b>

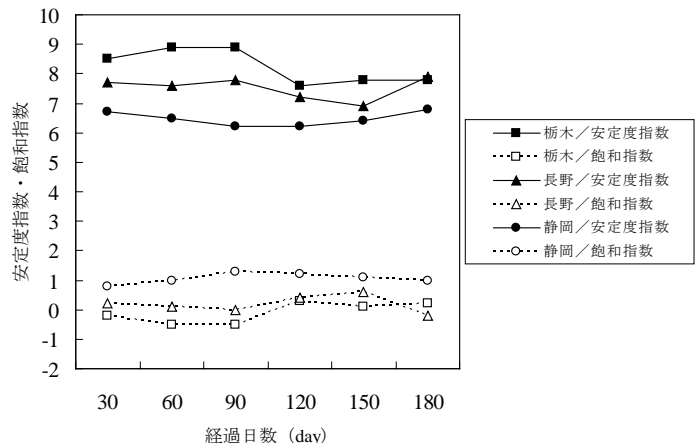


図 1-5 地域別安定度指数, 飽和指数の経時変化

## (2) アノード、カソード間の電圧計測結果

実験期間中の電圧推移を図 1-6 に示す。

- ① 電圧は 6~21V 付近で推移しており、特徴的として、振れ幅の大きい電圧振幅が確認された。
- ② 電圧振幅は、電極板金属の Ti 表面にて陽極酸化作用により、酸化被膜(TiO<sub>2</sub>)の生成と破壊が繰り返されたことを裏付けている。

## (3) 電極板表面状態の観察結果

アノードおよびカソード表面の写真を、写真 1-1 に示す。

- ① アノード側の電極板には、縦横に Ti の溶解による線状の溝や孔が観察された。
- ② カソード側もアノード側と同様の溝や孔がみられるのは、一定時間で極性変換を行った結果、同様の現象が発生したことを示している。
- ③ カソード側に析出した固着物は、極性変換によって陽極酸化被膜(TiO<sub>2</sub>)の破壊が起こると同時に剥離することが確認された。

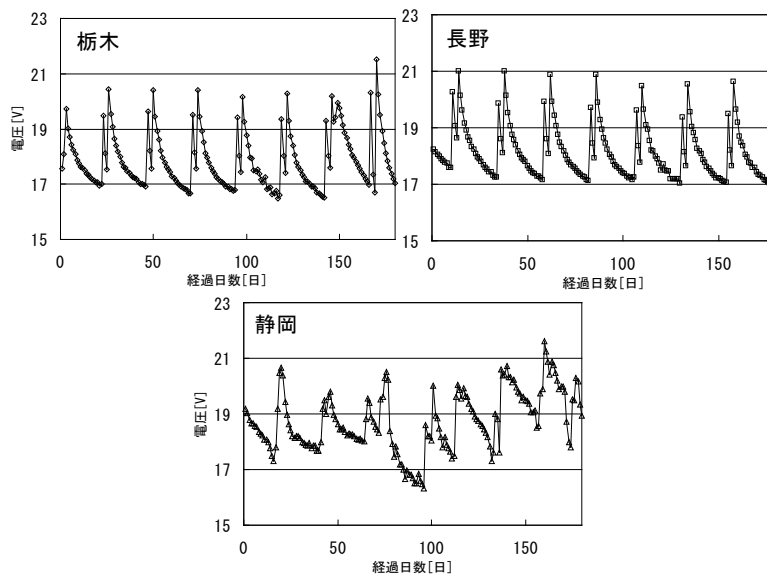
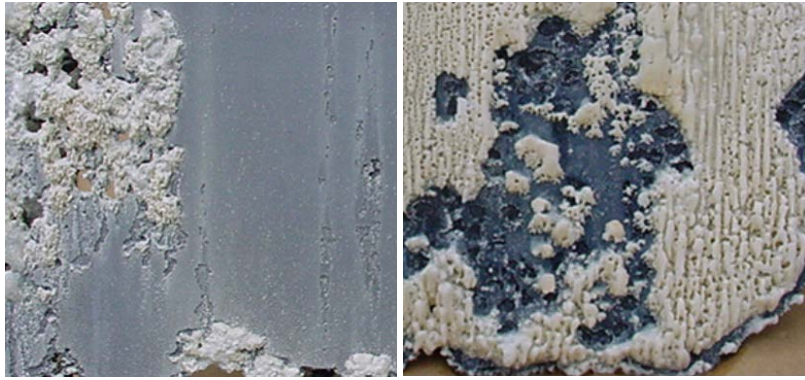


図 1-6 地域別アノード vs カソード電圧の経時変化



[アノード側]

[カソード側]

写真 1-1 電極板の表面状態（180 日経過後）

#### （４）分離・排出した沈殿物の成分分析結果

排出された、白色沈殿物の写真を、写真 1-2 に示し、沈殿物をろ過、乾燥させ、蛍光 X 線より得られた分析結果を基に、Ti 電極由来物を除く成分比率を表 1-4 に示す。

- ・ 求めた成分比率より、沈殿物には主に Ca、Si、Cl 等が含まれており、この結果は装置入口と出口の水質分析結果と同様の傾向を示している。



写真 1-2 排出された沈殿物

表 1-4 排出された沈殿物の主成分（成分比率%）

地域	化学種			
	Ca	Si	Cl	Mg
栃木	50.75	20.05	22.11	0.00
長野	27.48	40.99	22.07	3.15
静岡	86.26	4.92	4.85	1.27

#### （５）循環水、ドレン水における有害物質の有無

イオンクロマトグラフによる分析結果を表 1-5 に、ICP 発光分光装置による分析結果を表 1-6 に示す。

- ・ いずれの分析結果においても、有害な物質は検出されなかった。

表 1-5 イオンクロマトグラフによる分析結果  
(mg/L, 分析は長野地域のみ)

種類		循環水	ドレン水
陽イオン	Li <sup>+</sup>	0.1 未満	0.1 未満
	Na <sup>+</sup>	101	91
	Ca <sup>2+</sup>	52	71
	Mg <sup>2+</sup>	10	32
陰イオン	Cl <sup>-</sup>	119	124
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	64	64
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	143	177

表 1-6 ICP 発光分光分析装置による分析結果  
(mg/L, 分析は長野地域、循環水のみ)

10 以上	0.1 以上～ 10 未満	0.1 未満
Ca, Mg, Na	Al, Ti	Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, In, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, Zn

#### 1-5. 水処理装置の性能評価

今回の水処理装置において、反応が進行した状態での装置処理能力に関して、下記に示す成分除去量によって評価を試みた。

式(1)に示すように、水処理装置の入口と出口の処理水に含まれる、溶解性蒸発残留物の濃度を基に、処理流量から時間当たりの成分除去量を求めた（表 1-7 参照）。

$$M = (R_1 - R_2) / 1000 \times Q \times 60 \quad \text{式(1)}$$

M : 成分除去量 [g/hr]

R<sub>1</sub> : 装置入口の溶解性蒸発残留物 [mg/L]

R<sub>2</sub> : 装置出口の溶解性蒸発残留物 [mg/L]

Q : 装置で処理される流量 [L/min]

表 1-7 成分除去量 (式(1)より算出)

地域	成分除去量 (g/hr)
栃木	11.8
長野	13.8
静岡	12.4

試算より、成分除去量は、ほぼ 12~14g/hr となっており、地域による大きな差は認められない。また、この除去量は、年間稼働条件では 105~123kg/year ほどに相当し、大きな除去効果が得られることが示された。

## 1-6. まとめ

- ① モデル実験結果より、Ti 電極を用いた電気分解法にて、イオン状シリカやカルシウムなどの無機質系物質の濃度を低減させることが可能であり、処理効果は、電気伝導率を計測することによって確認できることが示唆された。
- ② フィールド性能検証にて、地域の異なる水質において、循環冷却水中に含まれるスケール成分等を物理的に分離・除去できることと、絶縁破壊を継続的に発生させ電流を流し続けることで除去性能が維持できることを確認した。
- ③ 24 時間の連続処理を、約 6 ヶ月メンテナンスフリーで行った結果、電極板についてはアノードとカソードを定期的に極性交換し、交互に使用することで長期間性能を維持できることを確認した。
- ④ 水質分析値及び不安定度指数、飽和指数とも、極端に変化することはなく、安定した状態で循環冷却水中の成分除去を連続して実施可能であることが示された。
- ⑤ 性能評価として、溶解性蒸発残留物から時間あたりの成分除去量を試算した結果、地域による差はほとんど認められない。

## 2. ビルピットの水質浄化装置

### 2-1. ビルピットの維持管理

主として排水を貯留することを目的に、建物の地下に設置されるビルピットの維持管理は、下水道法施行令が平成 16 年 4 月に改正され、新築、改築物件を対象に「汚水を一時的に貯留する排水設備の構造は、臭気の発散により生活環境の保全上支障が生じないようにするための措置が講ぜられていること」との旨が明記されることとなった。

この施行令に対応して東京都では、ビルピット対策指導要綱が昭和 61 年 10 月に設けられ、平成 17 年 月に改正された。他の都道府県では、東京都のビルピット対策指導要綱に準拠して、地下排水槽などの清掃・点検要領を作成している。

### 2-2. ビルピットによる悪臭の防止対策について

排水が長期間ビルピットに貯留されると、槽内の排水が腐敗し、いわゆる「硫化水素」などのガス状物質等が発生し、悪臭の原因になる。

以下にホテルでのビルピットに貯留された排水の状況についての、調査事例を示す。

#### (1) 写真 2-1

水中攪拌機を設置しているが、蝶バエなどが発生し、硫化水素濃度も 50ppm を超えている。

## (2) 写真 2-2

曝気を行っているが、エア量が少ないため、オイルボールができるだけで、硫化水素濃度も高いときには、700ppm を超えている。



写真 2-1 ホテルビルピットの観察例 No1



写真 2-2 ホテルビルピットの観察例 No2

さらに、硫化水素は水と反応し硫酸となることから、コンクリートピットなどの鉄筋を腐食させ、強度低下を引き起こし、最悪な場合、ピット上部コンクリートの陥没などの障害を発生させる(図 2-1 参照)。

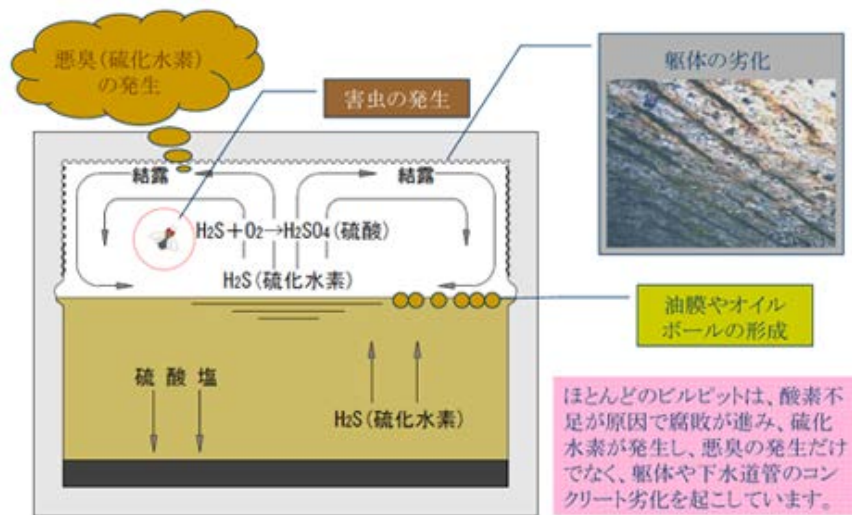


図 2-1 ビルピットでの悪臭などの発生

ビルピットでの悪臭発生を防止するため、構造基準では、排水調整槽や悪臭発生のおそれがある排水槽へのばっ気・攪拌併設装置<sup>注)</sup>などの設置を定めている。

**注)** ここでの「ばっ気・攪拌併設装置」とは、ばっ気及び攪拌の機能を持った装置、あるいは、ばっ気装置と攪拌装置の両方を設置しているものを指す。

### 2-3. ビルピットの悪臭防止装置

排水が貯留されたビルピットでは、時間経過と共に下部に汚泥などの沈でん物や浮遊汚泥(スカム)が発生し、嫌気性環境が形成される。堆積した汚泥からは、硫化水素などの悪臭物質が発生する。

本装置は、流体力学を駆使した新開発の特殊形状フィンを設置し圧縮空気を供給し水の浄化を行う（写真 2-3, 写真 2-4 参照）。

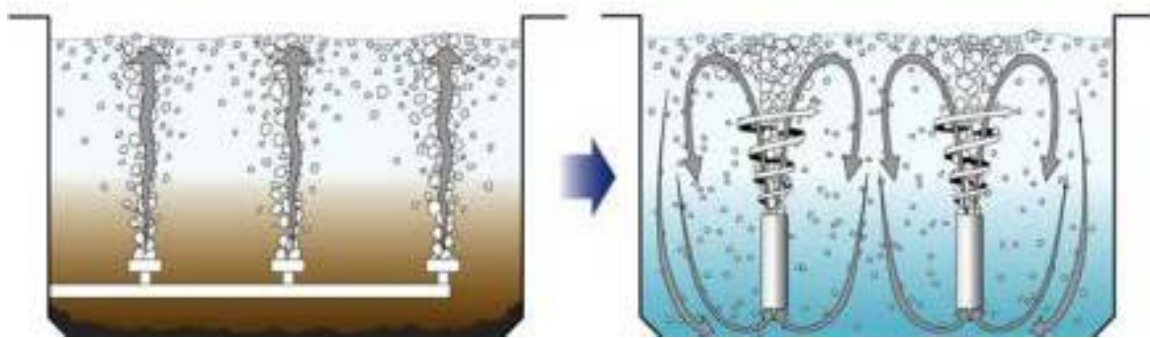


写真 2-3 特殊形状フィン設置例



写真 2-4 エア-供給状況

従来の下部からのエアレーション方式に比べて、微細な気泡を供給し、さらに、槽内全体を攪拌する水流を形成させ、排水の滞留部分をなくすことで、水への空気の溶解性を高め、好気生処理を促進し、悪臭などの発生原因である水の腐敗を防止するものである（図 2-2 参照）。



下部からのエアレーション方式

本方式

図 2-2 エアレーション方式の比較

具体的な、水質処理方式を以下に示す（図 2-3 参照）。

- ① ブロアからの空気をノズルから高速噴射する。
- ② エアリフト効果で底の水と汚泥を巻き上げる。
- ③ 特殊形状フィンで空気と水を激しく混合させ、超微細気泡と旋回流を発生させる。
- ④ 旋回流が発生することで、溶存酸素濃度の上がり難い水槽の底のコーナー部にも超微細気泡を送り込む。
- ⑤ 好気処理により、腐敗を防止しながら槽内を攪拌し、悪臭の発生を防止する。

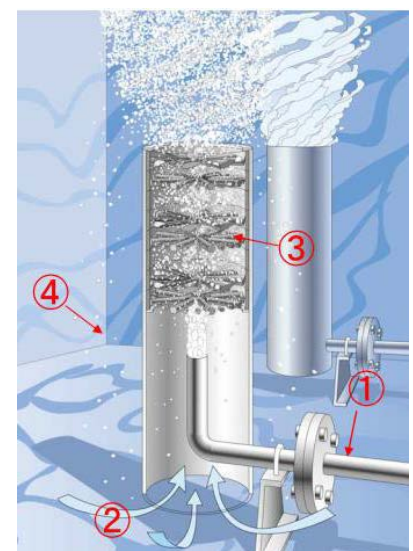


図 2-3 水質処理方式



## 2-4. 悪臭防止装置の効果

特殊形状フィンから供給する空気のみで、水質浄化が可能となる本装置の効果を下に示す。

- ① 槽全体を攪拌でき、排水の腐敗による悪臭発生を防止する。
- ② 腐敗臭に集まってくる害虫もなく、衛生的である。
- ② 硫化水素の発生を抑制でき、躯体や機器の劣化を防ぐ。
- ③ 汚泥発生量が減少し、排出処理の費用を削減できる。

## おわりに

冷却塔の循環水を対象とした水質管理は、濃縮倍率を基にした薬剤投入とブローによる方法が主流であるが、効果を継続させるには十分な維持管理が不可欠である。

電気分解による水質浄化システムでは、人手をかけることなく利用でき、導入による効果としては、下記の事項が挙げられる。

- ① 薬品レス（薬品排水の削減）
- ② 水資源（ブロー水）の省資源化と熱交換効率の up による省エネ化
- ③ 冷却塔、冷凍機の保守費用削減

本水処理装置は、電気分解による硬度成分の析出と、極性変換による析出物の剥離を自動的に行うものであり、ノンケミカルで環境に優しい装置といえる。

次に、特殊形状フィンを利用したビルピットの水質浄化装置についても、従来ではビルピット全体を十分に攪拌することは難しく、ビルピット対策として、即時排水型ビルピット設備<sup>注)</sup>が考案され実用化されている。しかし、施設の有効利用の観点と排水処理負荷の平準化を考慮すると、貯留型のビルピットの有効利用を図る必要がある。

本方式は、ノンケミカルでありながら、微細な気泡を槽全体に供給する水流を形成させ、従来の好気処理を促進させること、排水の腐敗と悪臭の発生を防止しており、環境配慮型水処理装置に位置付けられる。

**注)** (財) 下水道新技術推進機構とメーカー数社にて共同開発したもの

## 【参考文献】

- 01) 酒井康行著：空調設備の腐食と防食 第3章 冷却水の水管理と配管材, pp64, 1996/05, 技術書院発行
- 02) 和氣敏治, 堀池誠：冷却水系の腐食抑制剤, 材料と環境, 50, pp3, 2001
- 03) 佐々木国興：冷却水系の腐食と管理 開放式冷却塔, 冷凍, 第77巻, 第897号, pp48, 2002/07
- 04) 高田秋一, 川原孝七：クーリングタワー, 省エネルギーセンター, pp87, 2003年
- 05) 小倉和美：薬品による水質管理技術, 冷凍, 第79巻, 第922号, pp3, 2004/08
- 06) 仲野崇行, 加藤正人, 水流 徹：循環冷却水の電解によるスケール除去と電解条件の検討, 第54回材料と環境討論会講演集, pp445, 2007年10月
- 07) 仲野崇行, 加藤正人, 水流 徹：循環冷却水の電解によるスケール除去と性能評価, 第55回材料と環境討論会講演集, pp467, 2008年5月
- 08) 津田崇弘, 永井崇昭, 朝倉祝治：流動する水道水中の鋼にエレクトロコーティングを形成させるカソード分極条件, 材料と環境, 54, pp483, 2005
- 09) 東京都環境局：ビルピット臭気対策マニュアル
- 10) (財) 下水道新技術推進機構：即時排水型ビルピット設備技術マニュアル
- 11) ㈱アイエンス：技術資料 (アクアブラスター)