

上水道における高度処理

Advanced Treatment in Water Supply System

(環)製品開発室
 三原 恒 美
 Tsunemi Mihara
 西尾 弘 伸
 Hironobu Nishio

Unusual blooms of phytoplankton caused the eerie "freshwater red tide" every year, clogging trouble in cleaning beds, and unpleasant smelling of tap water.

This paper introduces as follows

- 1) Requirement of "tasty water" and "safety water"
- 2) Contaminant materials in water: odor, trihalomethane, ammonia, etc.
- 3) Equipment and process developed by Shiko-Pfaudler Co., Ltd: Intermittent aerohydraulics gun, Intermittent aerated bio-contactor Ozonation-granular activated carbon process.

まえがき

わが国では、水道の普及率が92%を越え、国民にとって水道は日常生活に欠かさない存在となっている。

ところが、全国の急激な都市化や工業化にともない水道水源である湖沼や河川の汚染が進み、特に湖沼では富栄養化による異臭味被害や浄水障害が増加している。また、これまで清浄な飲用水源とみられていた地下水も、トリクロロエチレン等の有機塩素化合物に汚染されていることが判明して、大きな社会問題にもなっている。

このようなことから、「おいしい水」「安全な水」に対する国民の要望はますます強くなっている。また、国民生活が豊かさを増し、嗜好が高級化してきたこともあってか、1ℓ200円（ガソリンより高く、水道水の約2000倍）もする水が、ミネラルウォーターや自然水と称して、デパートやスーパーマーケットなどの店頭にずらりと並べられ、販売されている。

日本の水は、おいしい水としてのミネラルバランスがとれており、諸外国に比べて恵まれているとされてきた。ところが、近年の水源地汚染は、琵琶湖や淀川水系においても例外でなく、富栄養化によるプランクトンの発生などによって、毎年のように臭気が発生している。したがってこ

の水系を利用している1300万人の人々がその影響を受けている。

本稿では、「おいしい水」「安全な水」とはどのようなものか、また、その対象物質は何かなどについて述べ、そのための対策技術の一端に触れてみることにした。

1. 「おいしい水」「安全な水」とは¹⁾

「おいしい水研究会」の報告によれば「おいしい水」と「安全な水」とは、必ずしも一致しない。「安全な水」というのは、健康に悪影響をおよぼす有害物質を含まない水ということであり、当然「おいしい水」の前提条件でなければならない。

しかし「おいしい水」となると、おいしさそのものが個人の味覚による問題であり、個人差が大きく、特に味覚は、生活環境、食生活などによって異ってくるといわれる。また個人差は別にしても、気象条件やそのときの健康状態、体調、飲む容器や雰囲気、水温などによって異なるといわれる。このように水のおいしさは様々な要件によって左右されるが、一定の水質要件を備えた水は、大半の人がおいしいと感じる。「おいしい水」とはこのような水ということになる。

1.1 水の味に影響をおよぼす水質要素、条件

塩類等を全く含まない水はおいしいものではない。水の味は、水に含まれる成分によって決まる。その味に影響をおよぼす水質要素を第1表に示す。

また、おいしい水の条件を第2表に示す。

1.2 「おいしい水」の水質例

おいしい水（ミネラルウォーター）と称されるものの一例を第3表に示した。これをみると、蒸発残留物、硬度は高いものが多いようである。

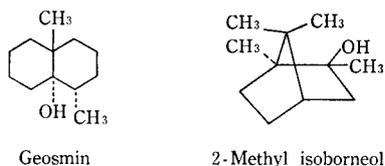
第1表 水の味に影響をおよぼす水質要素
 Table 1 Factor of tasty water

Parameters	Constituents	Contaminant level	
		moderate	excess
Total solids	Ca, Mg, K, Na, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , SiO ₂	Mild	Bitter Rough Salty
Hardness	Ca, Mg		Excess: Hard and persistent Less: Light and flagging
Free CO ₂	CO ₂	Refreshing	Stimulating
KMnO ₄ consumption	Organic matter		Rough
Odor	Various odor from the water source		Moldy, Earthy Musty, Rooty
Residual chlorine	Cl ₂		Chlorine odor
Temperature		<20°C	

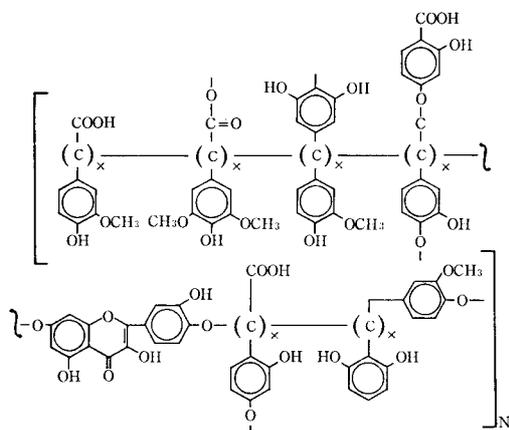
Parameters	Recommended level mg/l
Total solids	30~200
Hardness	10~100
Free CO ₂	3~30
KMnO ₄ Consumption	<3
Odor	<3 (TON)
Residual chlorine	<0.4
Temperature	<20°C

第2表
 おいしい水の水質要件
 Table 2
 Tasty tap water quality standards

TON: Threshold odor number



第1図 カビ臭物質の化学構造
Fig. 1 Chemical structure of musty materials



第2図 フミンの構造
Fig. 2 Chemical structure of humic substances

2. 「おいしい水」「安全な水」のための処理対象物質

安全でおいしい水を得るために、在来の方法に加えて処理（高度処理）を必要とする物質の主なものについて次に述べる。

2.1 異臭味……かび臭物質

毎年夏になると、プランクトンの異常発生によってかび臭が発生する。「おいしい水」を一番阻害しているのがこのかび臭である。このかび臭の原因物質はジオスミンおよび2-メチルイソボルネオール (2-MIB) で、どちらも第1図に示すような二環性の化学構造を持ったイソプレノイド化合物である²⁾。これらのかび臭物質は、放線菌や藍藻類である *Phormidium*, *Anabaena*, *Oscillatoria* という水中微生物が増殖する際に、代謝産物として生成されると考えられている。

これらの物質は、ほんの微量で臭気を感じ、その限界濃度は10~15 ng/l (mg/lの100万分の1) といわれている。琵琶湖などでプランクトンの異常発生が起こると、これらの物質が数十 ng/l から、多いときは数百 ng/l のものが流出してくるのである。

2.2 トリハロメタン

1974年、米国ニューオリンズ市の浄水中に存在する有機物質が、発がん性の可能性があるという米国EPAの報告に端を発し、水道水中の有機物に関する研究が広く行われるようになった。その結果、有機塩素化合物の中のクロロホルム (CHCl₃) をはじめとする、ブロモジクロロメタン (CHBrCl₂)、ジブロモクロロメタン (CHBr₂Cl)、ブロモホルム (CHBr₃) などのトリハロメタン類が発がん性を有することが明らかにされた。これらトリハロメタン (以下

第3表 「おいしい水」の水質例
Table 3 Samples of tasty water

	Drinking water quality standard	Tasty* water standard	Kobe city water	Fuji water	Rokko water	Yamasaki water	Miyazaki
Total solids mg/l	<500	30~200	122	242	326	286	136
Hardness mg/l	<300	10~100	41.8	81.0	70.5	134	53
Free CO ₂ mg/l	—	3~30	—	—	—	—	—
KMnO ₄ Consumption mg/l	<10	<3	2.2	2.4	2.7	8.9	2.1
Odor TON	not abnormal	<3	ND	ND	ND	ND	ND
Residual chlorine mg/l	—	<0.4	1.0	—	—	—	—
Temperature °C	—	<20°C	17.2	20.0	20.0	20.5	25.2

*Proposed by "Research group on tasty water"

第4表 トリハロメタンの構造式と名称⁵⁾
Table 4 Structural formula of THMs

structural	formula	structural	formula
1. $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Trichloromethane (Chloroform) CHCl ₃	6. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Bromochloroiodomethane CHClBrI
2. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Bromochloromethane CHBrCl ₂	7. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{I} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Chlorodiiodomethane CHI ₂ Cl
3. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromochloromethane CHBr ₂ Cl	8. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromiodomethane CHBr ₂ I
4. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	Tribromomethane (Bromoform) CHBr ₃	9. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{I} \end{array}$	Bromodiiodomethane CHBrI ₂
5. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Dichloroiodomethane CHCl ₂ I	10. $\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{I} \\ \\ \text{I} \end{array}$	Triiodomethane (Iodoform) CHI ₃

THMと略す)の構造式と名称を第4表に示した。

THMは浄水工程で、有機物、アンモニア、鉄、マンガンなどの酸化やバクテリアの不活性化に使用される塩素と原水中に含まれるフミン質 (第2図) などの有機物との反応によって生成されることが見いだされている。これらの

第 5 表 有機化学物質に関する暫定水質基準等³⁾

Table 5 Guideline values of organic chemical constituents of possible health significance

Parameters	mg/l	Remark
Trihalomethane	0.10	Control guideline (tentative)
Trichloroethylene	0.03	
Tetrachloroethylene	0.01	
1,1,1-Trichloroethane	0.3	

THMの前駆物質は、フミン質のように、もともと土壌中に存在するものが大部分であるが、一部は、下水、し尿、工場排水、雑排水等都市より排出される人為的汚濁物質から生成されることが確かめられている。

2.3 アンモニア性窒素、酸化態窒素

アンモニア性窒素は水中の溶存酸素を消費して水質悪化を招くため、塩素などによって酸化が行われる。日本の浄水場では、前塩素処理によりアンモニア性窒素を処理するところが多い。このため、水源の汚濁などによってアンモニア性窒素を多く含む原水は多量の塩素注入を必要とし、それがまたTHM生成の要因にもなっている。

酸化態窒素とは硝酸性窒素と亜硝酸性窒素であるが、アンモニア性窒素が硝化されると酸化態窒素になる。飲料水中の酸化態窒素が多量に存在すると、乳幼児には、とくに悪影響をおよぼすといわれ、その水質基準は10mg/l以下と定められている。

2.4 トリクロロエチレン等有機塩素化合物

高度な分析技術の発達により表流水のみならず、地下水の微量有機化合物による汚染状況が明らかにされるようになり、金属洗剤やドライクリーニング剤等に使用されるトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタンによる汚染事例が、しばしば報告されるようになった。

厚生省では、こうした汚染物質に対して、水道により供給される水の安全性確保の観点から、第5表に示すような暫定的な水質基準を設定し、水質検査を義務付けている。

(THM:1981年3月, トリクロロエチレン他:1984年2月)

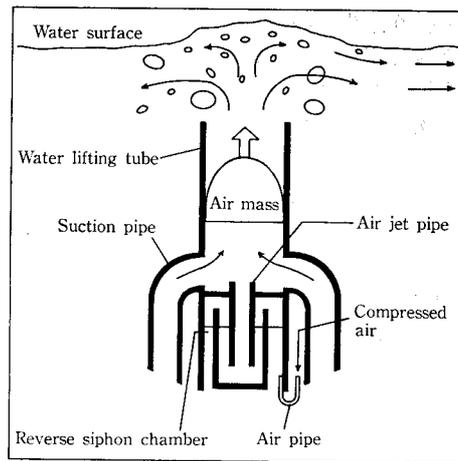
3. 安全でおいしい水造りをめざして

おいしい水造りの対策としては、単に、浄水場における対策だけでなく、水源の浄化対策、さらには発生源の対策にもおよぶと考えられるが、ここでは、水源対策技術としての間欠空気揚水筒、浄水場における前処理技術としての間欠曝気型接触酸化装置、浄水工程でのオゾン、活性炭によるTHM除去技術に触れることとしたい。なお、地下水汚染に対する技術については、本号の別稿を参照されたい。

3.1 間欠空気揚水筒

間欠空気揚水筒は水源対策で注目を集めているもので、貯水池、湖沼等の閉鎖性水域の水質改善に大きな成果をあげつつあり、現在20数カ所に設置されている。

この装置は1961年英国の J. G. Bryan によって考案されたものだが、その動作原理は第3図に示すように、本体下部の空気室にコンプレッサーから圧縮空気を送り、逆サ

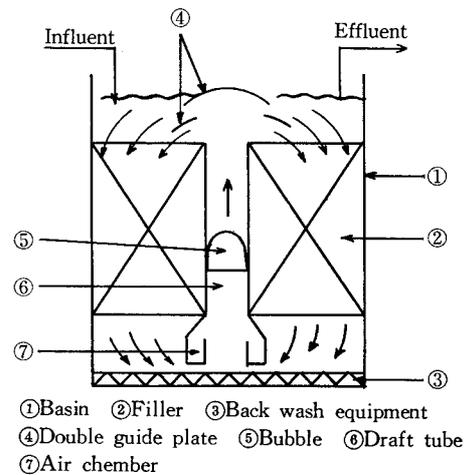


OPERATION PRINCIPLE

- 1) Compressed air is sent to reverse siphon chamber.
- 2) Compressed air pushes down water surface in the reverse siphon chamber.
- 3) When the water surface falls to the lower end of air jet pipe, air in the reverse siphon chamber sprouts in a mass into water lifting tube.
- 4) The air mass rising up water lifting tube acts as piston and water is drawn into suction pipe from the bottom.
- 5) The water sprouted by rising air mass to the water surface is dispersed in a horizontal direction.

第3図 間欠空気揚水筒の動作説明

Fig. 3 Operation principle of Aero-Hydraulics Gun (AHG)



第4図 間欠曝気型接触酸化装置

Fig. 4 Intermittent aerated bio-contactor

イホン作用により、揚水筒内に、ピストン状の空水塊を間欠的に上昇させる。これをくり返すことにより、小さなエネルギーで広範囲の水域に対して垂直流を起し、対流、攪拌を行い、底部の無酸素層に溶存酸素を供給する。また、表層付近のプランクトンを受光層以下の水域に送り込んで、大量増殖を防止する役割をするもので、水道水源における異臭味、赤水、プランクトンの異常発生などの防止に大きな効果を発揮している。

3.2 間欠曝気型接触酸化装置⁶⁾

間欠曝気型接触酸化装置は、先に述べた間欠揚水筒を循環駆動力として薬品などを使用せず、自然の生物的浄化作用の原理をそのまま生かし、ハニカムチューブに形成させ

た生物膜によって行う浄化方法である。この方法によって原水中のアンモニア性窒素や有機物が、チューブ壁面に付着した生物群と接触し吸着酸化、分解されるのである。

装置のメカニズムは第4図に示すように、処理槽、曝気機（間欠揚水筒）、充填材（ハニカム）より構成される。水槽内にハニカムを設置し、中心部に間欠空気揚水筒を、水槽下部に空気逆洗装置を設置したものである。この間欠空気揚水筒は円筒下部より間欠的に空気泡を噴出させて、槽底の水を揚水して表面に拡散させる。水は槽内を慣性力とともに脈動しながら槽内を循環する。揚水筒上部にとりつけられた2段式水流変更板は、円筒内を空気泡と共に上昇した水を、ハニカム表面に均等分散させる役割をしている。また、この2段水流変更板によって、吹込まれた空気泡は変更板に衝突し、飛散と表面拡散により、水に巻き込まれて、原水への酸素供給も効率よく行われる。ブロワーの風量を制御することにより、間欠曝気の間隔、槽内の循環水量（ハニカム内の流速）を決めることができる。充填材のハニカムは、水質負荷を考慮してセルサイズを選ぶことができると、単位面積当りの接触面積を大きくとれ、循環時における接触抵抗が少ないなどの特色がある。

3. 2. 1 連続式処理との比較

間欠曝気方式と連続曝気方式には次のような相違点が上げられている。

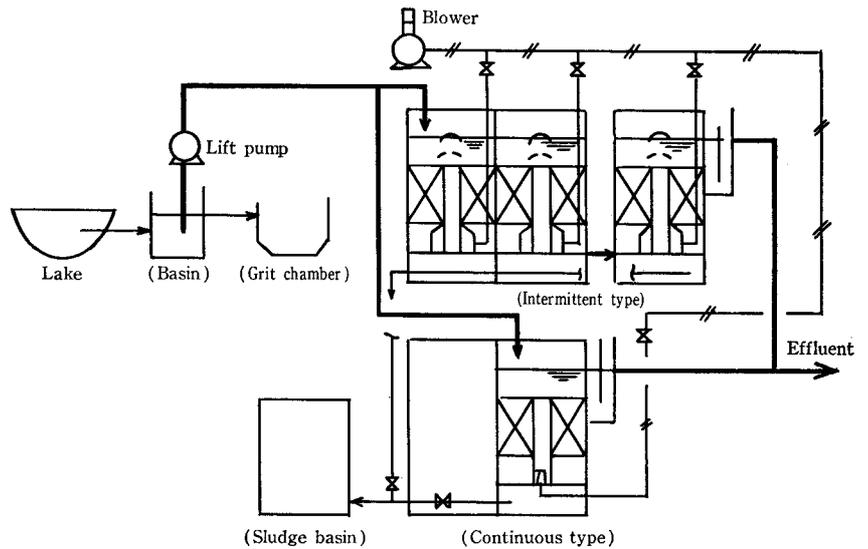
- 1) 従来の連続曝気に比べ、間欠曝気の方が同一曝気量に対して揚水量が多く、そのためハニカム内の循環流速が大きくなり処理効果が優れる。また同一風量に対して揚水量が多いことは省エネルギーとなる。
- 2) 連続曝気方式はハニカム内の循環流速が不均一となり易く、ハニカム全体での処理が難しい。一方、本装置では、2段式水流変更板により均等分散が得られ、ハニカム全体で有効に処理できる。
- 3) 連続曝気方式では、水の浄化の度合によりハニカムの壁面に付着した生物膜が肥大化し、目詰り閉塞を起こすため、定期的に逆洗剥離が必要であるが、間欠曝気方式の場合、ハニカム内を循環する脈動流が適度のショックを与え、生物膜の剥離を促進し、目詰りが起こりにくく、逆洗頻度が少ない利点がある。

3. 2. 2 実験装置の概要

実験装置のフローシートを第5図に示す。本実験では、ハニカム接触酸化槽を4槽とし、3槽を間欠式、1槽を連続式で行った。原水は湖沼から取水し、原水ポンプにより、ポンプアップし、それぞれの処理槽へ供給される。間欠式では第1槽から第2、第3槽へと3段処理となっている。第6表に実験装置の仕様を示した。

3. 2. 3 実験条件と方法

実験は、まず間欠式と連続式の比較を、曝気性能とアン



第5図 実験装置のフローシート
Fig. 5 Flow diagram of pilot plant

第6表 実験装置の仕様

Table 6 Pilot plant design specification

Treatment method	Intermittent type	Continuous type
Reaction tank	3 tanks	1 tank
Tank structure	1m \square ×4m ^H SS	
Tank volume	4m ³	
Filler	honeycomb 13 mm/cell	
Filler volume	2.5 m ³ ×3 tanks	2.5 m ³ ×1 tank
Aeration unit	200 mm ϕ ×2 750 mm	
Blower	0.4 m ³ /min×0.75 kW×0.45 kg/cm ²	

第7表 実験条件

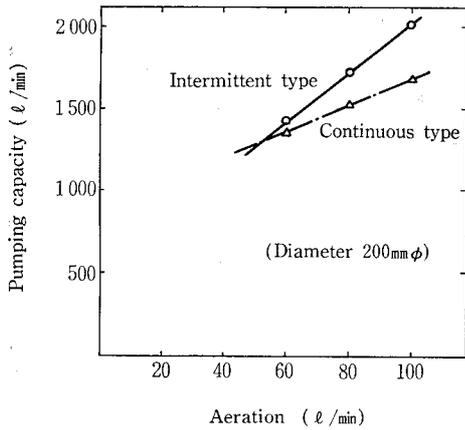
Table 7 Operating parameters

Parameters	
Flow rate	3.5 m ³ /h
Aeration flow rate	3.6 Nm ³ /h·tank
Load/honeycomb	0.47~1.4 m ³ /m ³ ·h
Retention time	1~3 hr

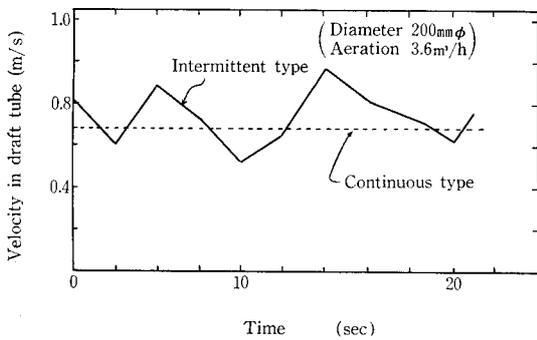
モニア性窒素の処理効果で調べ、次いで第7表に示す実験条件で間欠式だけの処理効果を調べた。分析項目はアンモニア性窒素、臭気濃度、藻類とし、採水は原水および間欠式の各槽で処理水を同時に行った。間欠式と連続式の比較はアンモニア性窒素のみとし、原水および第1槽の処理水で行い、分析法は上水試験法に基づいて行った。

3. 2. 4 実験結果と考察

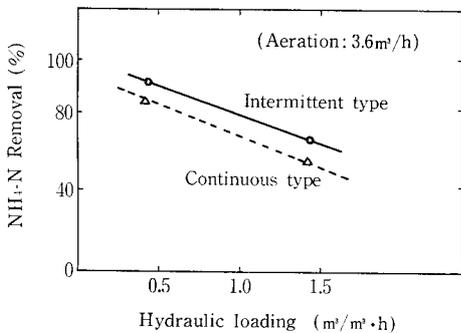
間欠式と連続式の性能比較をするため、揚水筒内の流速を測定し、揚水量を求めた。第6図に曝気風量と揚水量の関係を示した。この図から、曝気風量が一定以上になると、間欠式の揚水量が多くなり揚水効果が優れている。



第6図 曝気風量と揚水量
Fig. 6 Pumping rate



第7図 曝気筒内流速変化
Fig. 7 Velocity curve in draft tube



第8図 水量負荷とアンモニア性窒素の除去率
Fig. 8 NH₄-N removal

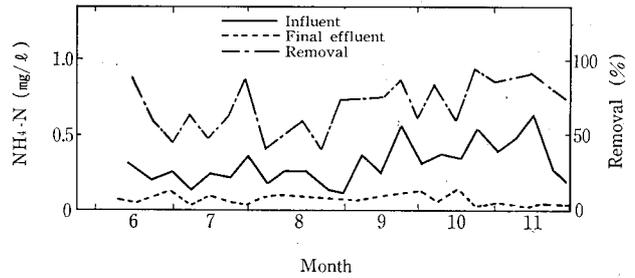
揚水筒内流速変化については第7図に示すように、間欠式では、ほぼ一定のサイクルで脈動が繰り返される。

次に間欠式と連続式のアンモニア性窒素の除去効果についての比較を第8図に示した。間欠曝気の方が優れているのは、連続式に比べて、揚水量が大きいため循環流速が大きくなり、生物膜との接触度合が大きくなるからと考えられる。

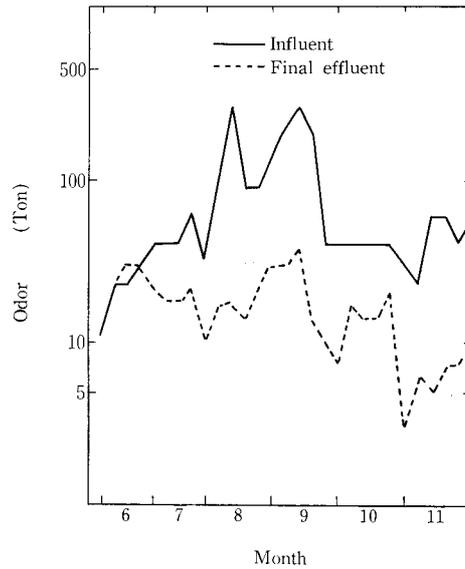
3. 2. 5 間欠曝気方式の処理効果

1) アンモニア性窒素の除去

アンモニア性窒素の硝化は、水量負荷（滞留時間）、曝気量（循環流速）、水温等によって異なるが、本実験では第9図に示すような結果を示した。原水濃度の変化によ



第9図 アンモニア性窒素
Fig. 9 NH₄-N observations



第10図 臭気濃度
Fig. 10 Odor observations

て異なるが、平均除去率は、73.4%と良好であった。

2) 臭気の除去

臭気濃度について、原水と処理水の変化を第10図に示した。臭種はおもに藻臭、青草臭、土臭、かび臭であり、通常、臭気濃度TOは30~60度位であったが、かび臭発生時には200度以上に達した。除去率は最高80.9%であったが、平均的には、70%前後であった。

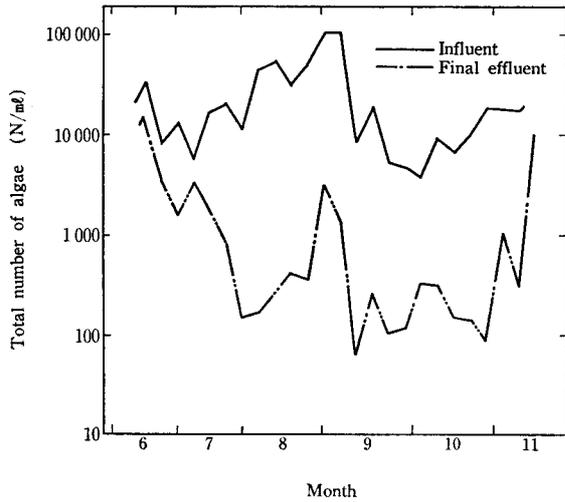
3) 藻類の除去

藻類を含む原水は浄水工程において、砂汚過継続時間を短縮するだけでなく、水に臭味をつける原因となる。藻類総数の除去変化を第11図に示した。その除去率は第12図に示すように、運転の初期を除き、第3槽の出口では85%以上の除去率が得られた。

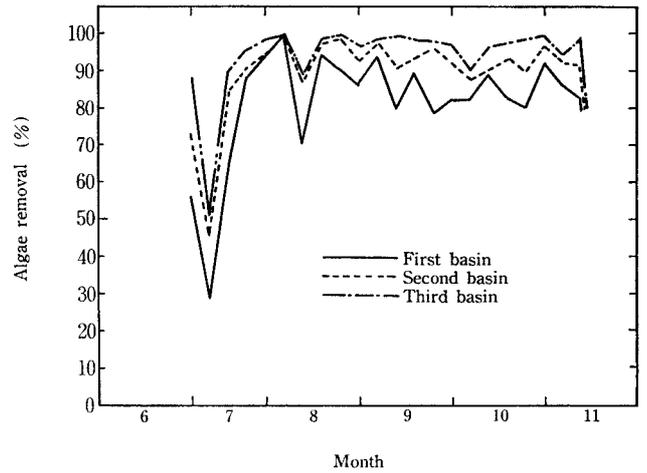
3. 3 THM除去技術について

浄水工程において、塩素を使用しなければ、THMの生成量は、大幅に減少させられる。しかし、塩素の水に対する消毒効果（特にその残留性）は優れており、今、他の代替物におきかえることは難しい。従って、浄水工程でのTHMのある程度の生成は止むを得ないとして、どれだけ生成されたTHMを除去できるか、THM前駆物質を除去できるかが浄水処理における課題であり、高度処理の目的でもある。

今回は、前塩素処理を行った場合の浄水処理工程におけるTHM、さらにオゾン、粒状活性炭処理を行った場合の



第11図 藻類の総数
Fig. 11 Total number of algae



第12図 藻類の除去率
Fig. 12 Algae removal

THMの低減について、実験の一部を報告する。

3. 3. 1 現状の浄水処理工程におけるTHM

淀川水系の原水、沈殿水、沓過水のTHM (THM_{inst}: サンプルング時にすでに生成されているTHM), THM生成能 (THMFP) の経時変化を第13, 14図に示す。ここでいうTHM生成能とは、上水試験法 (1985年版) に基づき、一定の条件で試料の塩素処理を行い生成したTHM量をいい、通常THM前駆物質量の指標とされる。しかし、今回のTHM生成能は、すでに生成されているTHM_{inst}も含まれる。

第13図から分るように、原水のTHMはゼロであるが、前塩素処理を行った沈殿水では、THMが生成され、砂沓過を行った後も数値はほとんど変わらず、砂沓過ではあまり除去されないことがわかる。

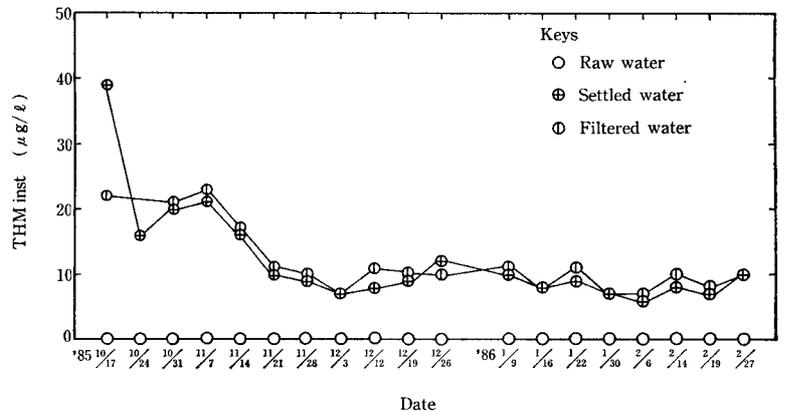
第14図のTHM生成能でみると、原水との数値の差から凝集沈殿で約25%除去されるが、砂沓過では除去されにくいことがわかる。

現状の浄水工程では、THMが多少なりとも生成されるが、これを高度処理を行わずに、低減化を計ろうとすれば、前塩素処理をやめ、後段に切り替えるプロセスが考えられる。

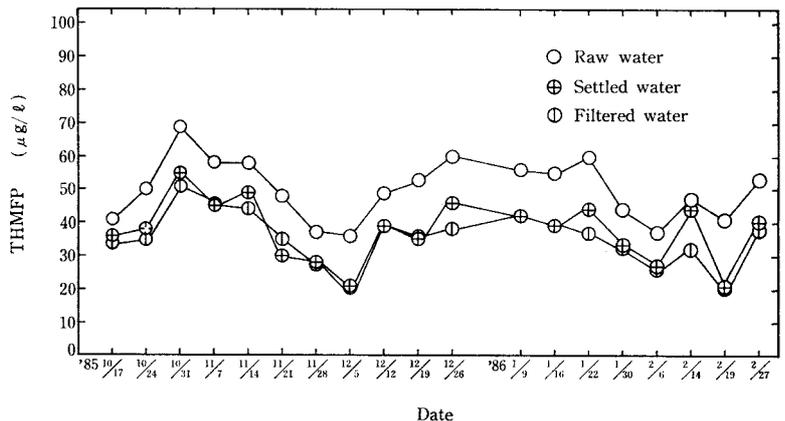
3. 3. 2 オゾン、粒状活性炭によるTHMの低減

淀川水系の処理水についてオゾン、粒状活性炭(GAC)によるTHMの低減化実験を行った。

第15図に、その実験フローシートを示した。フローは、A, B 2系列を設け、A系列はオゾン+粒状活性炭処理、



第13図 原水、沈水、沓水 THM_{inst} の経時変化
Fig. 13 Variation of instantaneous THM of Raw water, settled water, filtered water



第14図 原水、沈水、沓水の THMFP 経時変化
Fig. 14 Variation of THM formation potential of raw water, settled water, filtered water

B系列は粒状活性炭処理のみとした。粒状活性炭の条件は同じである。実験条件は次の通りである。

オゾン注入率 2 mg/l
粒状活性炭沓過方式 固定層式
粒状活性炭沓過速度 L V = 15 m/h

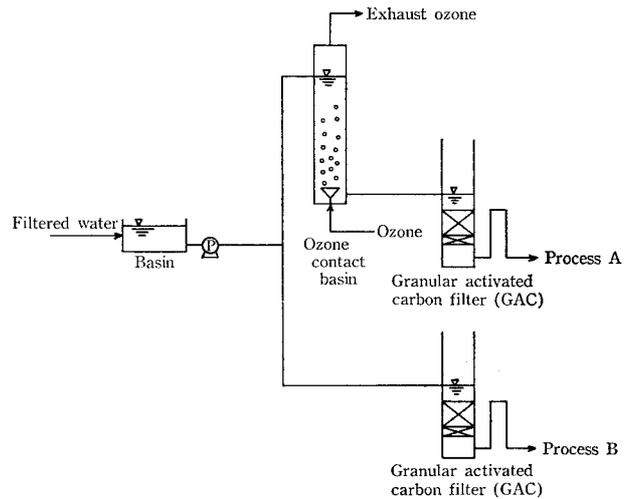
SV=10 1/h

粒状活性炭層高

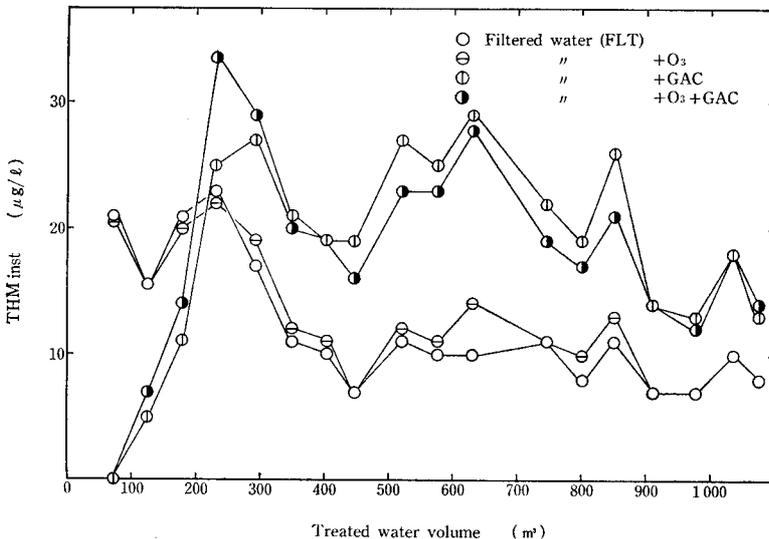
L=1.5 m

第16図にA系列, B系列におけるTHMと積算通水量を示した。この図より, オゾン接触によるTHMの低減効果は認められない。また, THMの粒状活性炭による吸着量は多くなく, 短時間で処理効果がなくなってしまう。また, 吸着効果がなくなると, 流入より流出のTHMの濃度の方が高くなる傾向もみられる。これは活性炭に吸着された流入水中の有機塩素化合物が, 時間の経過とともに加水分解されて, THMを生成することによると考えられている4)。

第17図に, A系列, B系列におけるTHM生成能と積算通水量を示した。この図から, オゾン接触によるTHM生成能の低減にも顕著な効果は認められなかった。THM生成能でみた場合, 活性炭の吸着効果がまったくなくなるまでの通水量は, 第16図でみたTHMにおける効果がなくなるまでの通水量よりかなり大きい。これは, THMよりTHM前駆物質の方が, 活性炭に吸着され易いことを示している。

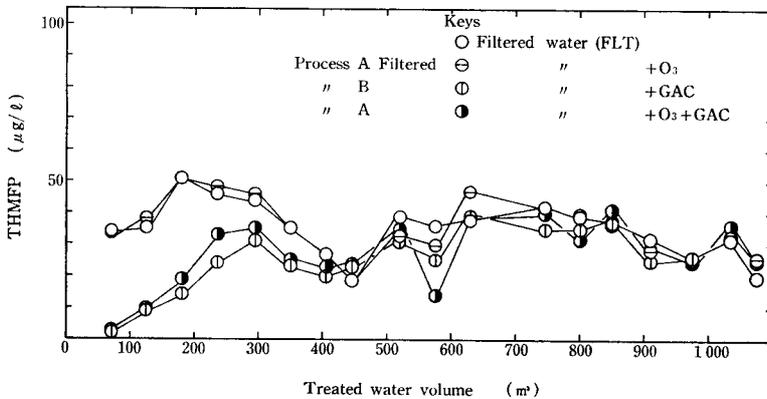


第15図 実験装置フローシート
Fig. 15 Flow diagram of pilot plant



第16図 汙水, 汙水+O₃, 汙水+GAC, 汙水+O₃+GACにおけるTHM_{inst}と通水量との関係

Fig. 16 Relationship with instantaneous THM and treated water volume in FLT, FLT+O₃, FLT+GAC, FLT+O₃+GAC



第17図 汙水, 汙水+O₃, 汙水+GAC, 汙水+O₃+GACにおけるTHMFPと通水量の関係

Fig. 17 Relationship with THM formation potential and treated water volume in FLT, FLT+O₃, FLT+GAC, FLT+O₃+GAC

今回は, 現在の前塩素処理を行う浄水工程について, オゾン, 粒状活性炭によるTHM低減の検討について述べたが, 前塩素処理を行わない場合や, オゾン, 活性炭の別のプロセスについては, 今後の機会にゆずりたい。

むすび

本稿では, おいしい水, 安全な水造りに関して, 技術の一端を紹介するにとどまったが, おいしい水, 安全な水造り, そのための高度処理技術の確立は, 水道事業者ばかりでなく, 水処理メーカーにとっても急務の課題となっており, 当社も各方面の協力を得て, 研究開発を進めており, 今後とも, おいしい水, 安全な水造りのために貢献してゆきたい所存である。

【参考文献】

- 1) 厚生省: おいしい水の水について, おいしい水研究会資料 (1985)
- 2) 佐藤敦久: 水質汚濁研究 Vol. 8, No. 11 (1985)
- 3) 森下忠幸他: 水処理技術 Vol. 26, No. 8 (1985)
- 4) 安藤朝広: 水処理技術 Vol. 26, No. 8 (1985)
- 5) USEPA 編, 真柄泰基監訳: 「飲料水とトリハロメタン制御」公害対策技術同友会, p. 11 (1985)
- 6) 神鋼ファウダー技報 Vol. 29, No. 1 (1985/3)