

# 噴射衝撃による水質浄化システムの開発

Water Purification System Using High-Pressure Water Jet

井芹寧 森雅佳 松岡陽子(西日本技術開発株)・木俣勲(大阪市立大)  
藤本健二(清本鋸工株)・池田暁子(株太平環境科学センター)・井関基弘(金沢大)

第2回 環境技術研究協会年次大会(2002)

研究発表会予稿集

pp55-58

環境技術研究協会

# 噴射衝撃による水質浄化システムの開発 Water Purification Sytem Using High-Pressure Water Jet

○井芹寧 森雅包 松岡陽子(西日本技術開発㈱)・木俣勲(大阪市立大)  
藤本健二(清本鐵工㈱)・池田桃子(㈱太平環境科学センター)・井関基弘(金沢大)

キーワード：噴射衝撃、水浄化、アオコ、大腸菌、クリプトスポリジウム

## 1. はじめに

近年の人為的汚濁負荷量の増大に伴い、河川水・湖沼水等の水質悪化が問題となっている。

また、富栄養化に伴うアオコ等の生物異常発生を起因とするマイクロシスチン等の生物生産有毒物質、浄水処理過程で生じるトリハロメタン等の副次的有毒物質の生成や、畜産排水等を起因とするクリプトスポリジウム等の有害原虫類の水道水への混入等、直接的に人体に影響を及ぼす障害も生じている。

現在、これらの有害物質・有害生物除去対策として、高度処理による流入負荷源対策、曝気循環、紫外線殺菌、流動制御膜等の異常発生水域対策、利水処理施設における膜ろ過、粒状活性炭散布、オゾン添加等が実施されているが、何れの手法においても、多額の設備・維持管理費を伴うこと、運転に高度の技術を要すること等が欠点となっている<sup>1)</sup>。

本報は、構造がシンプルで経済性も高く、広範囲の水質浄化に適用可能な水質改善システムの開発を目的として、噴射衝撃装置による水質浄化効果確認の基礎実験結果について報告するものである。

## 2. 噴射衝撃装置について

噴射衝撃装置のうち、高圧室内実験装置及び現地低圧小型実験装置を写真 1 に、現地実験装置を写真 2 に、その平面図を図 1 に示す。



写真 1 高圧室内実験装置



写真 2 現地低圧小型実験装置



図 1 現地低圧小型実験装置平面図

装置は原水の吸引と加圧を目的としたポンプと、噴射ノズル及び噴射された水流が衝突する衝撃板を基本構造とする。低圧タイプは最大0.5~1.0MPa、高圧タイプは最大11MPaまでの圧力調整が可能である。吸引からノズル噴射にかけての急激な加圧・減圧に、水流の衝撃板衝突時の衝撃が加わり、生物細胞破壊、溶存化学物質変化作用等を生じ、水質浄化を行うものである。非常にシンプルな構造で、全く部品等を使用しない物理的処理法である。アオコの直接的浄化機構の例を図 2 に示す。

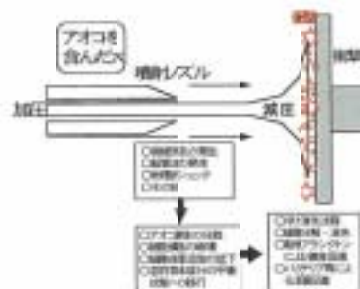


図 2 アオコ浄化機構

### 3. 実験方法

#### 3.1 分析項目

水質改善、有害生物除去効果の確認を目的として、原水及び処理水について下記の項目の分析を実施した。原水に関しては、処理期間中、温度条件等同様な条件で静置攪拌した原水コントロールについても分析を行った。

なお、分析方法はJIS法、上水試験方法等に基づいた。

- ① 栄養塩、イオン類等一般水質項目
- ② トリハロメタン等消毒副産物
- ③ 異臭味物質
- ④ 大腸菌、一般細菌
- ⑤ クリプトスポリジウム
- ⑥ アオコ(*Microcystis aeruginosa*)等プランクトン

#### 3.2 処理実験方法

##### (1) 水質及び細菌類

水質改善及び殺菌を目的として、高圧処理(10MPa)条件で、汚濁河川水を原水として処理実験を行った。

1回処理、連続5回処理における処理前後の栄養塩類、イオン類等一般項目及び細菌類(一般細菌、大腸菌、糞便性大腸菌)の分析を行った。また、ろ過河川水にジオスミン、2-MIB等異臭味物質及びトリハロメタン等有機化合物標準物質の添加を行い、これを原水として処理実験を行い、原水及び処理水の分析を行った。

##### (2) クリプトスポリジウム

クリプトスポリジウムは、生物体内から環境中への放出時はオーシストという形態をとる。ここでは、オーシストの殺滅を目的として、処理実験を行った。

クリプトスポリジウム処理実験として、蒸留水にクリプトスポリジウムオーシストを添加したものを原水として、1回処理、連続5回高圧処理を行い、その殺滅効果を検鏡による方法と、マウス発病実験により確認した。

##### (3) アオコ(*Microcystis aeruginosa*)

ここでは、噴射衝撃を単なる殺菌装置として利用するのではなく、水域の食物連鎖機構に着目して、異常増殖藻類に対する被捕食性の向上を目指した生態系改善システムとしての位置付けから、その富栄養化防止効果の確認を行った。

アオコの発生している湖沼より試料を採取し原水とした。低圧処理(0.5~0.7MPa)1回処理を実施し、処理前後の植物プランクトンの生死を検鏡及び培養法(3000lux, 12hr/12hr明暗, 25℃で5日間培養)により確認した。

### 4. 実験結果

#### 4.1 水質改善及び殺菌効果

水質改善実験結果を表1(1)~(3)に示す。その概要は次に示すとおりである。

#### (1) 一般水質項目

一般項目のうち、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )に関して、減少率が1パスで11.1%、5パスで35.9%、亜硝酸態窒素( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ )に関して、1パス20.0%、5パス18.0%、全リン(T-P)に関して1パス3.5%、5パス17.8%の改善効果が認められた。リン成分に関してはT-Pが減少した分、リン酸態リン( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )に増加がみられ、懸濁態のリン成分が分解され溶存態に移行した可能性が示唆されている。窒素に関しては、形態変化はそれほど認められず、アンモニアは大気中に揮散し減少したことが伺われる。

#### (2) 細菌類

細菌類に関しては、一般細菌、大腸菌群数、糞便性大腸菌とも、明らかな改善効果が認められ、各減少率は一般細菌に関して1パス16.5%、5パス81.3%、大腸菌群数に関して1パス47.6%、5パス95.3%、糞便性大腸菌に関して1パス98.1%、5パス97.1%であった。特に糞便性大腸菌に関しては1パスでも殺菌効果が高いことが確認された。

#### (3) 臭気物質

臭気物質及び消毒副産物に関しては、基本の噴射型ノズルに加え噴霧(散布)型ノズルの処理を行った。臭気強度(TON)に関しては1パスで25.0%、5パスで25.0%、ジオスミンに関しては1パスで24.5%、5パスで38.8%、2-MIBに関しては、1パスで27.3%、5パスで27.3%の改善効果が認められた。

#### (4) 消毒副産物

消毒副産物に関しては、噴霧型が効率がよく、クロロホルムに関して1パスで3.5%、5パスで56.3%、ジブromクロロメタンに関しては1パスで2.6%、5パスで32.5%、ブromジクロロメタンに関しては1パスで11.8%、5パスで44.4%、ブromホルムに関しては5パスで22.5%の改善が認められた。

#### 4.2 クリプトスポリジウム殺滅効果

クリプトスポリジウムに関しては、0.5MPaの条件ではほとんど殺滅効果はなく、10MPaの条件で細胞内物質の消失等、オーシストの形態的破壊が観察された。5パスで最大40%程度のオーシスト殺滅効果が確認された(写真3参照)。

処理後のオーシストに関してマウス投与試験を行った結果、処理後に、形態的变化が認められなかった群に関しては、発症能力が残存していることが確認された。



写真3 クリプトスポリジウムオーシスト処理状況。



表 1 (1) 水質改善実験結果 (一般項目及び細菌類)

項目	単位	実験原水	処理水		減少率 (1パス)	減少率 (5パス)
			1パス	5パス	(%)	(%)
COD	mg/L	9.6	9.7	9.7	-1.0	-1.0
BOD	mg/L	13.2	13.3	13.6	-0.8	-3.0
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	1.17	1.04	0.75	11.1	35.9
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	0.050	0.040	0.041	20.0	18.0
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	1.22	1.23	1.24	-0.8	-1.6
T-N	mg/L	3.58	3.46	3.52	3.4	1.7
PO <sub>4</sub> -P	mg/L	0.032	0.040	0.059	-25.0	-84.4
T-P	mg/L	0.281	0.257	0.231	8.5	17.8
Phl	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
pH	-	7.8 (22)	7.8 (22)	8.1 (22)	-	-
R-pH	-	8.1 (19)	8.0 (21)	8.1(21)	-	-
CRP	mV	438	429	429	2.1	2.1
DO	mg/L	11.5	10.9	7.7	5.2	33.0
Na <sup>+</sup>	mg/L	20.4	21.0	21.3	-2.9	-4.4
K <sup>+</sup>	mg/L	2.4	2.5	2.5	-4.2	-4.2
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	26.2	26.6	26.7	-1.5	-1.9
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	3.1	3.2	3.1	-3.2	0.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	22.2	22.1	21.9	0.5	1.4
Cl <sup>-</sup>	mg/L	26.5	26.2	26.4	1.1	0.4
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	<2	<2	<2	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	83	86	85	-3.6	-2.4
CO <sub>2</sub>	mg/L	3	3	<2	0.0	33.3
TON	-	30	30	25	0.0	16.7
EC	mS/m	28.5	28.6	28.6	-0.4	-0.4
一般細菌	個/1ml	91000	76000	17000	16.5	81.3
大腸菌群数	個/1ml	2100	1100	98	47.6	95.3
糞便性大腸菌	MPN100ml	170000	3300	4900	98.1	97.1
TOC	mg/L	2.20	1.68	2.02	23.6	-5.5

表 1 (2) 水質改善実験結果 (臭気物質)

## 噴射型

	単位	原水	原水コントロール		1パス	5パス	減少率(%)	
			1	2			1パス	5パス
TON	-	20	20	20	15	15	25.0	25.0
ジオスミン	mg/L	0.000046	0.000048	0.000049	0.000037	0.000030	24.5	38.8
2-MIB	mg/L	0.000033	0.000032	0.000033	0.000024	0.000024	27.3	27.3

## 噴霧型(散布型)

	単位	原水	原水コントロール		1パス	5パス	減少率(%)	
			1	2			1パス	5パス
TON	-	10	5	3	3	3	0.0	0.0
ジオスミン	mg/L	0.000041	0.000037	0.000044	0.000035	0.000029	20.5	34.1
2-MIB	mg/L	0.000030	0.000028	0.000031	0.000025	0.000024	19.4	22.6

表 1 (3) 水質改善実験結果 (消毒副生産物質)

噴霧(散布)型	単位	原水	原水コントロール		処理水		減少率(%)	
			1	2	1パス	5パス	1パス	5パス
クロロホルム	mg/L	0.033	0.034	0.032	0.026	0.014	23.5	56.3
ジブロモクロロメタン	mg/L	0.077	0.077	0.077	0.075	0.052	2.6	32.5
ブロモジクロロメタン	mg/L	0.017	0.017	0.013	0.015	0.010	11.8	44.4
ブromoホルム	mg/L	0.401	0.381	0.391	0.389	0.303	-2.1	22.5
総トリハロメタン	mg/L	0.528	0.509	0.513	0.505	0.379	0.8	26.8
ホルムアルデヒド	mg/L	0.035	0.035	0.035	0.034	0.034	2.9	2.9
ジクロロ酢酸	mg/L	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.0	0.0
トリクロロ酢酸	mg/L	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.0	0.0
COD	mg/L	87.7	91.5	79.1	78.7	77.5	14.0	2.0
pH (測定時温度)	- (°C)	5.4 (21)	5.8 (21)	5.8 (20)	6.0 (20)	6.5 (20)	+0.4	+0.9
Cl <sup>-</sup>	mg/L	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0	0

#### 4.3 アオコの制御効果

我が国で富栄養化障害を引き起こし最も問題となる藻類は藍藻類 *Microcystis* 属である。*Microcystis* は①細胞が群体を形成し大型化することにより、動物プランクトンの捕食圧から逃れている。②群体の周囲に形成される寒天質等の作用により効率的な栄養塩吸収が可能。③細胞内にガス胞を有し、日中は光合成に有利な表層に集積する。などの特質を有する。このように他の藻類と比較して増殖に優位な条件を自ら形成することが、特異的増殖の一要因と推定されている。

噴射衝撃装置は、ミクロキスティスの細胞群体及び寒天質の分散作用並びに細胞内のガス胞破壊による表層集積能力の消失作用により、ミクロキスティスの増殖優位性を低下させ、バランスのとれた植物プランクトン相に改善する富栄養化防止法として期待される。

原水から処理水へのプランクトン細胞数除去率を表 2 に示す。異常発生種の *Microcystis aeruginosa* に対しては、処理により生存細胞数が 1/10 程度に大きく減少するが、その競合種となる珪藻類や捕食者となる動物プランクトンに対しては比較的影響が少ない。また、栄養塩等化学成分に関してはほとんど変化は認められなかった。また、低圧ではガス胞破壊による細胞の沈降、高圧では細胞全体の破壊効果による分散現象が観察された。

表 2 プランクトンに対する殺藻効果

プランクトン	圧力 (MPa)	除去率 (%)
藍藻類 <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.5	90
<i>Phormidium</i> sp.	0.5	86
珪藻類 <i>Cyclotella</i> spp.	0.5~0.7	1~12
<i>Melosira</i> spp.	0.5	1~8
輪虫類 <i>Bosmina longirostris</i>	0.5	8
<i>Keratella</i> <i>vaigai</i>	0.5	8

#### 5. おわりに

今回は、噴射衝撃装置によって水質改善効果、殺菌効果、富栄養化防止効果が確認された。噴射衝撃法は、①他の手法と比較して設備費用が少ない、②構造がシ

ンプルで操作及び維持管理が容易である。③維持管理費用が少ない。④薬品などを全く使用せず 2 次的汚染の影響が少ない。⑤自然生態系の食物連鎖を利用するため、回収汚泥などさらに処理が必要な副生産物を生じない。⑥既往の水中ポンプ、噴水などに追加設置が可能である。等の特長を有している。

また、圧力条件を変化させることにより、各種の効率的な水質改善法としての利用が期待される (表 3 参照)。

表 3 噴射衝撃装置の処理圧力別用途

分類	単位 (MPa)	期待される効果
超高压	10以上	有害有機化合物(ダイオキシン等)の分解による水質改善 高度殺菌等
高压	1~10	汚泥等の分解促進(減容) 脱窒促進のための炭素源供給 ノリの色落ち、磯焼け (珪藻類分解、栄養塩供給、赤潮処理) 排水、上水等の簡易殺菌 異臭気物質除去、トリハロメタン除去 等による水質改善等
中圧	0.5~1	アオコの分散被食率アップによる 富栄養化防止 気液混合装置等
低圧	0.1~0.5	アオコ沈降による富栄養化防止等

本研究は、平成12年度科学技術振興事業団の独創的研究成果育成事業助成金をもとに実施したものであり、ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 井芹: ダム貯水池における淡水赤潮とアオコの発生機構及び対策について、九州技報 No 33 pp. 33-40 (1998)
- 吉村、田嶋、斉藤、井芹: 寺内ダム貯水池における水質管理の調査報告、ダム技術 No 114 pp. 1-12 (1996)
- 井芹、横山、E. Rahim: 物理的衝撃を用いた富栄養化防止手法について、従水学会講演要旨集 p. 78 (2000)
- 井芹、横山、安川: 噴射衝撃と紫外線によるアオコ・淡水赤潮の処理、日本水処理生物学会講演要旨集 (1997)