

「開会挨拶」

NPO 法人 21 世紀水倶楽部理事長 安藤茂

本日は多数のご参加有難うございます。本日のテーマであります消毒は、水処理の中でどちらかといえばマイナーで忘れられがちな項目でありましたが、雨天時下水の問題ならびに下水の再利用という観点から再び脚光をあびる課題となってきております。有毒な黴(ばい)菌を無害化するというのが消毒、Disinfection の本来の意味のようではありますが、私どもが使ってきました滅菌という用語とも厳密には違うようでございます。本日はそうしたことも含めて、排水の消毒について説明させていただきます。三人の講師の方々にはご多忙中にもかかわらず本日のためにご準備いただきまして有難うございました。私ども NPO 法人 21 世紀水倶楽部は、会員のボランティアでこうした講演会の開催を続けてきております。是非私どもの活動にもご理解いただければ幸いに存じます。有意義なシンポジウムになることを願っております。

「最近の消毒技術の進歩」

日本下水道事業団技術開発部総括主任研究員 橋本敏一

私は今日のシンポジウムの基礎となる消毒の定義や指標についてまずお話し、次に塩素、紫外線、オゾンの消毒技術のそれぞれの特徴についての比較を紹介します。最後に再利用の分野で最近注目されている膜処理技術を取り上げ、これと消毒の関係についても説明します。

下水道における消毒の必要性は、一つには公衆衛生の確保という点から消毒がなされ、もう一つは再生水の安全性の確保があります。消毒とは「病原微生物と考えられるものの感染力をなくす」と定義され、殺菌や滅菌の概念と少し異なります。

消毒の対象は、水系感染症の原因微生物である細菌、ウイルス、原虫です。消毒の指標としては、これまで大腸菌群数が一般的でしたが、水道水質基準に大腸菌そのものが採用されたことにより、一部この大腸菌も使用するようになってきました。

消毒技術について下水処理水を対象として、塩素、紫外線、オゾンの 3 種類があります。この 3 種の消毒技術の特徴を比較したものを

各消毒技術の特徴の比較

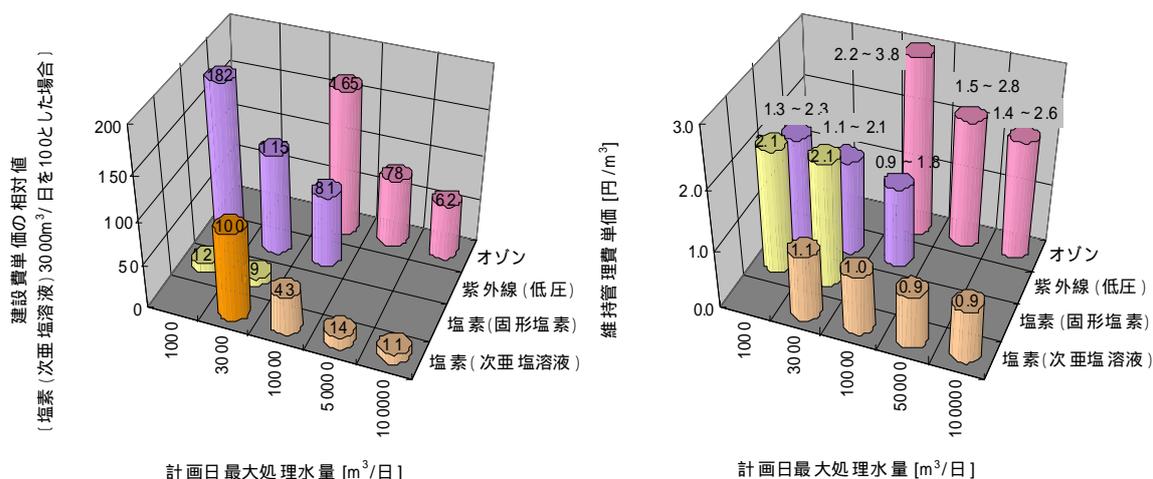
項目	塩素消毒	紫外線消毒	オゾン消毒
主な消毒機構	細胞膜等の変性 酵素の不活性化	核酸塩基を変性し、複製を阻害	細胞膜や核酸等を直接破壊
消毒効果	原虫や一部のウイルスの不活化は期待できない	原虫やウイルスにも効果が期待できる。可視光照射で細菌の活性が回復する可能性がある。	原虫やウイルスの不活化も期待できる
残留消毒効果	あり	なし	なし
消毒副生成物	トリハロメタン等の消毒副生成物による放流先への影響が懸念される場合がある	消毒副生成物の生成はないため、放流先への影響はない	臭素酸等が副生成されるが、微量であること等から一般的に放流先への影響は問題にならない

図 - 1 各消毒技術の特徴の比較

図 - 1、2 に示します。紫外線消毒は、近年水質保全を前提とした塩素代替消毒として中小規模に普及しつつあるが、コストは塩素消毒よりもかかります。オゾン消毒はシステムが大掛かりとなるので、中規模以上、脱色、脱臭の効果も併せての採用事例となっています。

膜処理では微生物の除去は膜の種類口径に拠ると考えられるが、膜分離活性汚泥法(MBR)では大腸菌はほぼ完全に除去されるので、消毒施設は不要となります。シンガポールのNEWaterプロジェクトではMF+RO+紫外線となっているが、紫外線は安全度を高めるためのバックアップの役割と考えられます。

消毒技術のコスト試算例



建設コストの試算例

維持管理コストの試算例

(出典: 日本下水道事業団技術開発部(1997)「最近の消毒技術の評価に関する報告書」)

図 - 2 消毒技術のコスト試算例

「雨天時下水の消毒」

東京都下水道局計画調整部技術開発課新技術担当 代田吉岳

雨天時下水の消毒の必要性については、東京湾岸の親水公園が水再生センター近くにあり、この水質を保全するという意味合いがあります。水浴場の基準としてふん便性大腸菌群数 1000 個/100mL があるが、図 1 に示すように雨が降った後の期間でこの基準が守られていません。この理由は、雨天時の簡易放流水中の大腸菌群数が高いためであり、この対策が求められていました。

雨天時下水の特性としては、水量が多い、水質が大幅に変動、発生が不確定、ということがあり、消毒の対応としてはそれぞれ、短時間接触処理、アンモニアの妨害のコントロール、劣化しにくい薬剤、の必要性がありました。

以上のことから、塩素に代えて図 2 に分子式などを示す臭素剤 (BCDMH) の使用を検討してみる事となりました。この臭素剤は、次亜塩素酸ソーダよりも短時間で消毒効果が現れ、臭素の残留は 1000 秒後にほぼ 0 となり、急性毒性も弱く、かつ消毒副生成物 (BrO₃) も 24 ~ 64 時間後には 0.001mg/L 以下となるなど、水環境にやさしい消毒剤であることが認められました。また、この臭素剤は固体で保管するので劣化しにくいという特性もあります。このように、塩素剤との比較においてこの臭素剤は雨天時下水の消毒剤として優れているが、トン当たり単価が塩素剤に対して二桁近く高いのでランニングコストという点では課題が残っています。

臭素剤 (BCDMH) の薬剤供給システムは、薬剤が固体であるため簡易なシステムとなり、制御も確実です。図-3 に実際の薬剤の注入の例を示します。このときは、総降雨量 31 mm、降雨強度 11.5 mm、簡易放流量 145,800m³、臭素注入量 709 kg、臭素注入率 4.86mg/L、注入時間 4 時間 02 分 でした。

コスト以外の課題としては、薬剤の補充時に飛散、粉体状の薬剤が固化が指摘されます。臭素剤 (BCDMH) は雨天時下水の消毒剤として有効と考えられるが、雨水貯留などの合流改善対策の実施と並行して行っていくことが必要と考えられます。

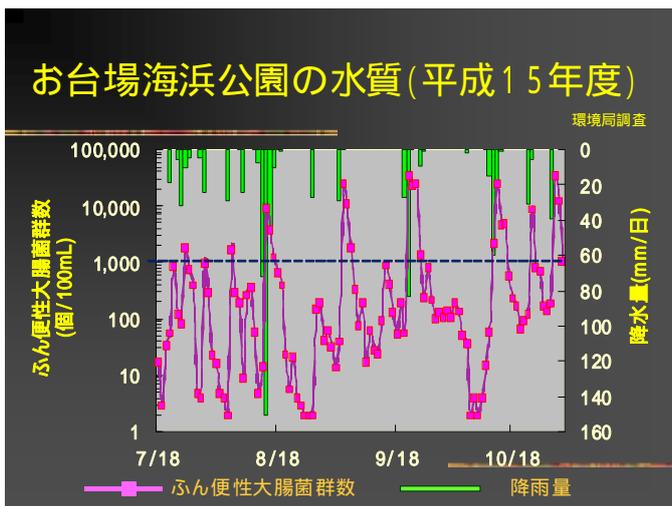


図 1 お台場海浜公園の水質 (平成 15 年度)



図 2 臭素剤 (BCDMH) とは

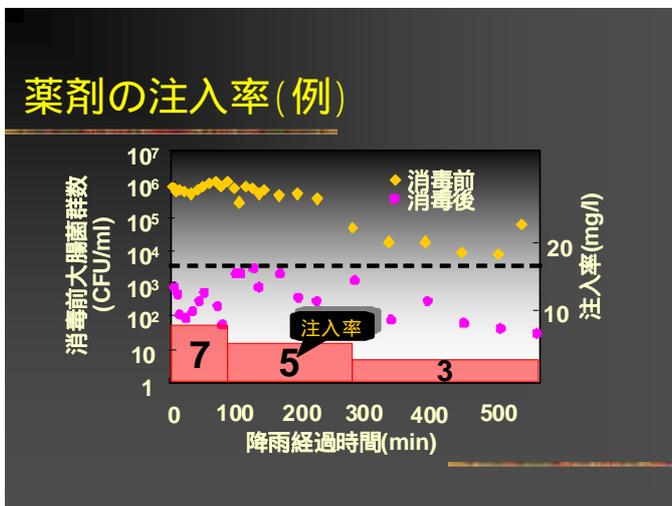


図 - 3 薬剤の注入率 (例)

再生水の利用に当たっての技術上の基準は、平成 17 年 4 月に国土交通省から出されたマニュアルの中で図 - 1 のように示されています。

再生水利用に関する技術上の基準				
	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水
大腸菌	不検出	不検出 ¹⁾	大腸菌群数 1000CFU/100mL (暫定)	不検出 ¹⁾
濁度	(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	(管理目標値) 2度以下	2度以下
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
外観	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
色度	-	-	40度以下	20度以下
臭気	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
残留塩素	(管理目標値) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L 以上	(管理目標値) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L 以上		(管理目標値) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合残留塩素 0.4mg/L 以上
施設基準	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること	凝集沈殿 + 砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること

図 1 再生水利用に関する技術上の基準

この基準は従来のもので大きく変わっており、それまでの大腸菌群数に代えて大腸菌（100mLあたり不検出）を新たな基準として設定しているほか、施設基準を新たに設け、施設が適切に機能していることを担保する指標として濁度を規定しています。再生水の衛生的安全性については、腸管系病原微生物の観点から、細菌類については大腸菌を指標として、また原虫類については処理水の濁度（2度以下）を指標として対処します。

さらに、ウイルスに対する安全性の確保も要請されるが、これについては

ウイルス類に関する課題への対応

今後も引き続き検討、安全性の確認必要

1. 分離・培養法が確立しているものは限られており、その実態は不明な点が多い。
2. PCR法について、得られた結果と感染性の有無の関係が明らかでない。
3. PCR法による下水処理工程における腸管系ウイルスの挙動が十分に把握できていない。
4. リスク評価にあたり必要となる用量反応モデルが提案されていないウイルス種がある。
5. ウイルスの種類により消毒耐性は様々であり、消毒耐性の程度が十分に把握できていない。

図 - 2 ウィルス類に関する課題への対応

図 - 2 に示される検討課題が残されています。

ウイルスの各種消毒法に対する不活化率について、高度処理会議により図 - 3 に示される数値が発表されたことがあります。再生水利用の各用途別に誤摂取等のリスクを想定し、必要とするウイルス除去率を算定した上で、適正な消毒レベルを設定することになります。

名古屋市においては、若宮大通公園およびランの館でのせせらぎ、噴水に再生水を用いています。再生水を得るための高度処理フローは図 - 4 に示すとおりです。この高度処理フローにおける消毒指標菌の挙動を流入下水から示したものが図 - 5 です。このデータは年 4 回のデータの 3 年間分を平均したものです。

これらに併行してウイルスの調査も実施しており、コクサッキーとポリオのウイルスが検出されました。検出されるウイルス量に関して、流入水と二次処理水の比較では 100 : 1 という関係が得られたが、大腸菌ファージにおいてこの比率は 12 : 1 となっており、大腸菌ファージをウイルスの指標とすることについて課題が残りました。

各消毒方法によるウイルス不活化率と消毒強度の関係

消毒方法	原水		ウイルス不活化率		
	種類	濃度 (-)	1log (90%)	2log (99%)	3log (99.9%)
塩素 (mg/L)	二次処理水	3.0~3.5	15	-	-
	三次処理水+NH ₄ -N	0.7	7.0	17	-
	三次処理水	0.4~0.6	2.5	7.9	13
オゾン (mg/L)	二次処理水	3.8	16	-	-
	三次処理水	0.4~0.6	7.6	13	18
紫外線 (mWsec/cm ²)	二次処理水	3.5	980	2,000	-
	三次処理水	0.6	560	1,200	1,800

-: データなし (実験の消毒強度範囲からは算出できない)
 注) -塩素およびオゾンの濃度は注入濃度で、接触時間は 15 分。各数値の有効桁数は 2 ケタ。
 *三次処理水: 窒素りん高度処理 (HRT: 13 時間) + 砂ろ過

「ウイルスの安全性からみた下水処理水の再生処理法検討マニュアル(案)平成13年7月、高度処理会議より(以下3枚同)

図 - 3 各消毒法によるウイルス不活性化率と消毒強度の関係

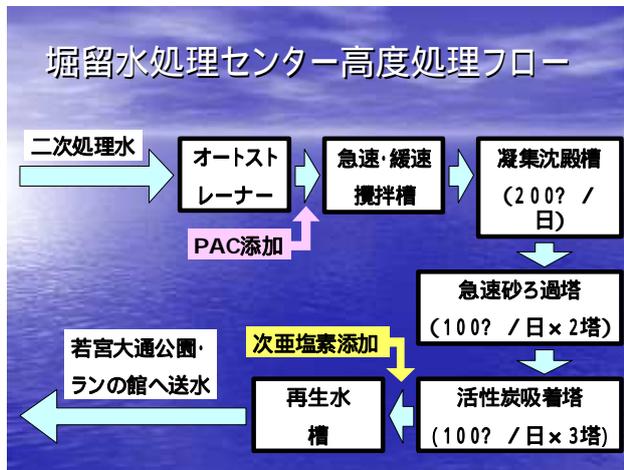


図 - 4 掘留処理センター高度処理フロー

消毒指標菌の平均変動

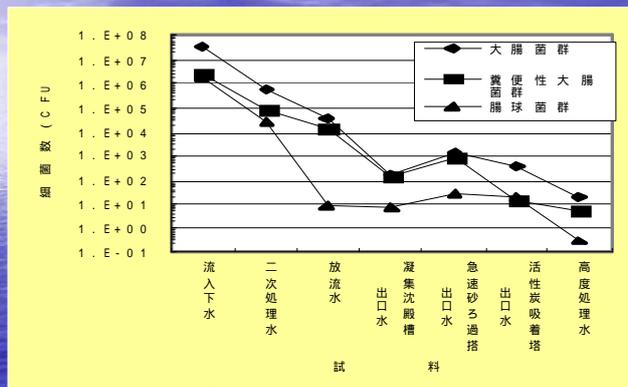


図 - 5 消毒指標菌の平均変動

図 - 5 消毒指標菌の平均変動

「総合討論」

司会 渡部春樹

(Q1) 補足説明の中にあった「年間感染リスク」とはどのような指標か。

(A1) 平成13年1月の高度処理会議「ウイルスの安全性から見た下水処理水の再生利用検討マニュアル」から引用したもので、モンテカル口法により年間のウイルス感染リスクを求めるものである。同じような指標としては、

- ・歩行者の交通事故リスク：10万人に63.89人
- ・喫煙者の死亡リスク：1千人に7人

等の例がある。

(A2) ここでの「年間感染リスク」とは、例えば、1年間に親水施設に全身を浸す人が1千人いるとすると、その内1人がウイルスに感染する程度を目標リスクとする場合、3.8log、99.98%位のウイルス除去率があれば、その程度の感染率で納まるという意味です。

(Q2) 「消毒」ということであるが、「殺菌」や「滅菌」との違いは。

(A1) 消毒は排水基準上は、大腸菌群数を1mlあたり3,000個以下にすること。「大腸菌不検出」という指標があるが、これは100mlあたりで検水量が異なる。いずれにしても菌を完全に無くそうとするものではない。ある衛生学的レベルを保つためどれ位の消毒をすべきかという年間感染リスクの概念があるが、リスクレベルを下げようとする程、消毒をきちっとやらなければいけない。これからの消毒はどこまでのレベルを要求するのかということが重要になると考えているが、消毒の定義としては、少なくとも滅菌ではないこと、菌を完全に無くすことではないことを理解することは大変重要である。

(Q3) 雨天時下水の臭素剤の使用事例では、コストが最大の難点との報告を頂いたが、コスト、費用対効果の見通し、どの程度になれば塩素並みに頻繁に使われるようになるか、見通しはどうか。

(A1) 晴天時には塩素に代わる消毒剤はないのが実情。雨天時下水に対し、今後、臭素剤利用が広まり大量生産がなされるような見通しであるが、臭素は限られた地域に偏在しており、そのような期待は望めないと考えている。限られた地域とはアフリカとイスラエルで、それ以外ではめばしい産地はない。

(Q4) 先程紹介頂いた実際の臭素剤使用事例では、いくら位の費用がかかったのか。

(A1) 先程の事例は芝浦水再生センターでの使用事例であるが、臭素剤の単価は約130万円/トン、当日の使用量が約700kgであるから、費用は130万円×0.7になる。

(A2) 名古屋市の例では、臭素剤：1,500円/kg、臭化カリウム：1,100円/kg、次亜塩素酸ソーダ：25,000円/tであった。名古屋市では、次亜塩素酸ソーダに臭化カリウムを加えた消毒の調査を行い効果が確認された。

(A3) 消毒剤の費用の話を経合すると、

- ・臭化カリウム：1,100 円/kg、純度 100%として 110 万円/t
- ・臭素剤：同様に考えると東京、名古屋の例から、130～150 万円/t
- ・次亜塩素酸ソーダ：25,000 円/t、純度 10%とすると 25 万円/t

となる。高いとは言っても 2 ケタの差ではなく、せいぜい 4 倍から 5 倍の範囲であり、それぞれの消毒剤の効果を考えるとそんなに差はないとも考えられる。

(A4) 合流（雨天時下水）ではそうかもしれない。晴天時では指針上、15 分の消毒時間をとることとされているが、既設の処理場では塩素消毒時間を 4 分とか 5 分とかに短くし同じ消毒効果を出している所があり、塩素は費用対効果という点でメリットがある。

(Q5) 日本には約 2,300 カ所の処理場があって、その内 2,100 カ所が塩素による消毒を採用している。大規模処理場は殆どが臨海部に位置し、お台場のようにすぐそばで水泳が出来る所は別にしても、あまり利用されていない海に流すのに、本当に大腸菌を相当程度減らさなければいけないのか。また、大腸菌が海に入った場合どこまで生きているのか。消毒不要論とは言わないが、まず本当に消毒が必要なのかどうか、また、必要だとしてもどこまでやるべきなのか。根本的にはその辺の所があると思うが。

(A1) 生物処理を経ると大半の所は、消毒無しでも、今の排水基準を満足しているのが実状。例えば、札幌市では、通常は大腸菌群数 100 程度であるため、豊平川の鮭の遡上に配慮し消毒は行わず、簡易処理時のみ塩素消毒を実施している。また、海域放流などの場合で基準が守られていれば、コスト面からも消毒無しで良いという考えがある一方、山間部の小規模な所で、水量も小さく大腸菌群数も問題にならない数値であるにも拘わらず、地場産業である漁業、地元住民対応などの点から、消毒し不検出にしている事例もあると聞いている。あくまでもケースバイケースで判断すべきであると考えます。

(A2) 消毒不要論ということが出たが、私も同じ様なことを考えている。消毒剤は病原性バクテリアを不活化し人間にとって有用なもののように言われるが、毒物であることに変わりがない。それらが水域に出た場合、生態系への影響も少なからずあると考える。何が何でも消毒が必要というのは違うと思う。しかし、そうは言っても、水再生センターを管理する立場からすると、法律という縛りがあり、住民の目、住民感情というものがある。総合的に判断し、必要最小限の消毒を実施しているのが現状である。

(A3) 過去には、活性汚泥処理による大腸菌群除去で十分ではないかという意見もあった。残留塩素濃度が高くなると魚が逃げるといった問題もあるが、硝化菌の影響で処理水の BOD が高くなることもあって、現在は過剰にならない塩素消毒を実施している。

(Q6) 塩素の代わりに紫外線消毒（UV）を採用する例もあるが、その主な理由は何か。

(A1) UV は、ほとんど数千トン規模以下の小規模の処理場で採用されている。大体山間部などで、放流先に漁業権があって鮎が生息していたり、天然記念物のサンショウウオがいたりして、

残留塩素の影響を避けたいという理由で採用される事例が殆どである。

(Q7) 塩素消毒は必要かという議論とも関係するが、膜処理の場合塩素消毒は必要ないのか。

(A1) 事業団の設計仕様では、塩素消毒なしとなっており、必要ない。

(Q8) 膜処理では原理的には、検出されないので必要ないということか。

(A1) 不検出となるので基本的には必要はない。膜の破断時とかの問題も考えられるが、実際のプラントでは、長時間の運転でもそのような問題も生じていない。

(A2) 通常、病原菌というのは単独で浮遊しているのではなく、SS成分に付随し密接に関連し存在すると考えられる。膜処理では、病原菌を付随するSS成分を殆ど完全に除去できることから、塩素消毒などは不要で、安全性は相当に高いと考える。

(コメント1) コストの点では塩素が一番安くしかも比較的効果があるので、通常であれば塩素が良い。しかし極力量を減らす観点が重要。また、リスクをどれだけ許容するかによって、消毒レベルが決まり消毒方法も変わってくるので、トータルな議論が必要。これからの研究課題として取り組んでいきたい。

(コメント2) 消毒はあくまでも安全弁であり、補足の処理過程と捉えるのが良いと思う。そのためには、前段処理となる沈殿処理や生物処理をしっかり管理していくのが務めと考えている。また、衛生に対する意識について住民に正確な判断ができるよう、積極的に情報の発信をしていきたいと考えている。

(コメント3) 水道では、持続性を持たせるため残留塩素がどうしても必要。下水でも、再生水であれば塩素の持続性を持たせることが必要な場合も出てくる。しかし、できるだけ注入量を少なくして最小限にすべきと考える。