

24. 開発途上国における低コスト・省エネルギー浄水システムの研究

STUDY ON THE LOW COST AND THE ENERGY-SAVING WATER-TREATMENT SYSTEM IN A DEVELOPING COUNTRY

奈良 松範*

Matsunori NARA*

ABSTRACT ; According to the report of the United Nations (1998), one child has died at a time at 8 seconds owing to water-related illness, 80% of sick cause in a developing country is sewage, and there is no sewer institution in 50% of world population. 2,500 million people who cannot drink safe sterilized water exist in the world. The way things stand, a situation is getting worse steadily. In this research, experimental examination was performed about the method for manufacturing water simple and cheap, and safe in view of a water shortage in a developmental-stage area, and the point that safe water is not supplied especially. Consequently, the thin laminar flow multi-stage processing process of having used the photocatalyst was developed as the suitable water purification method for a developing country. According to this method, the coliform bacteria count was removed by the conditions of 1cm in thickness of thin laminar flow, and 7cm of distance with a light source 100% in 5 hours after a processing start for holding time 3 hours. In order to evaluate water quality purification performance, the COD reduction which is a water pollution index, and the coliform bacteria count which are the health of water and the index of safety were examined.

KEYWORDS ; Water treatment system. Low cost, save energy, a developing country

1. はじめに

地球上の人口は、1950年に約25億人であったものが、2006年2月25日午後7時16分(米国東部標準時)に65億人を突破する(米国勢調査局の『世界人口時計』)という。人口の急増には目を見張るばかりである。そして、世界の人口の2割は先進地域、残りの8割は開発途上国に住んでいる。すなわち、人口の急激な増加およびこれに伴う産業の著しい発展による水需要の増大は、開発途上地域で顕著であり、現在、アジア、アフリカなど31の国が水の絶対的な不足に悩んでいる。また、下水道等の施設整備が追いつかない途上国を中心に著しい水質汚染が問題となっており、国連(1998年)の報告によれば、水関係の病気で、子供たちが8秒に1人ずつ死亡しており、途上国における病気の80%の原因は汚水であり、そして世界人口の50%には、下水施設が未整備である。消毒した安全な水を飲めない人々は、世界で25億人存在する。このままでは状況は悪化する一方である。本研究では、開発途上地域における水不足、特に、安全な水が供給されていないという点に鑑み、簡易かつ安価で安全な水を製造するために方法について実験的検討を行った結果、適当な水浄化方法として、光触媒を用いた薄層流多段処理プロセスを開発した。水質浄化性能を評価するため物質として、水質汚濁指標であるCOD(化学的酸素要求量)の低減および水質の健康安全性の指標である大腸菌群数と用いた。本法によれば、光触媒が発生するヒドロキシラジカルの強い酸化分解作用により有機汚染物

諏訪東京理科大学システム工学部

Tokyo University of Science, Suwa

質を分解除去することは容易であったが、他方で、この酸化分解力により発生する光触媒担体のチョーキング現象の防止が大きな課題であった。また、飲料水であることから、短時間に大量の水を効率的に処理するための設計パラメータを明らかにすることが要求された。結果として、ゾルゲル法によりチョーキングの防止、および薄層流プロセスの採用により、効率的な水質浄化が可能となったので報告する。

2. 方 法

薄層流循環式処理システムにおいて、光触媒である二酸化チタン (TiO_2) を用いることにより、水質の浄化および殺菌を行うことを目的に、最適な処理条件を明らかにするために、基礎的な実験を行った。

2. 1. 二酸化チタン

二酸化チタン: titanium dioxide 化学式 TiO_2 、分子量 79.9、白色粉末、正方晶系、比重 3.8~4.1 (ルチル型)、3.9~4.2 (アナターゼ型)、融点 $1,858^\circ\text{C}$ 、屈折率 2.71 (ルチル型)、2.52 (アナターゼ型)、食品添加物としても認められており安全な材料である。本材料は、絵具、クレヨン、歯科材料、石鹼等に広く使用されている。酸化チタンはアナターゼ、ルチルともに弗酸、熱濃硫酸および溶解アルカリ塩に溶解するが、それ以外の酸、アルカリ、水、有機溶媒などには溶解しない。酸化チタンはこのように特殊な条件下では他の物質と反応することはないが、通常の使用条件ではきわめて安定しており、燃焼、暴発などの危険性はない安全なものである。常圧・常温下では HF 、 SO_3 、 Cl_2 、 H_2S など反応性の強いガスと酸化チタンは反応することはないが、高温では HF と反応し TiF_4 となる。さらに還元剤が共存する中の高温状態では、 Cl_2 などハロゲンと反応し TiCl_4 などハロゲン化チタンを生成する。また高温下、 H_2 、 CO_2 などで還元されて低次酸化物に変化する。製造工程上では硫酸法も塩素法も、 $800\sim 1100^\circ\text{C}$ の熱処理を経ているため、酸化チタン自身は 800°C 以下の加熱による変質は本質的にない。ところで、チタン原料を基材上で直接結晶化して酸化チタンとする以外はほとんどの場合、酸化チタンとバインダー等を含むコーティング材を基材に塗布することで光触媒の機能を付けることになる。しかし、いつも使用している塗料で用いられ有機系のバインダーでは、光触媒酸化チタンの持つ強い酸化力により、短期間でチョーキングなどの劣化が起こるため、酸化に強い無機系のバインダーの使用が必要となる。そこで、本研究では、ゾル-ゲル法を用いた。ゾル-ゲル法は、金属アルコキシドのアルコール溶液を出発原料として、溶液中の化合物の加水分解・重合によって溶液を金属の酸化物あるいは、水酸化物の微粒子が溶解したゾルとし、さらに反応を進ませてゲル化を得る方法である。二酸化チタン結晶の成膜にあたってゾルゲル法を適用するには、アルコキシドを水に溶解させて加水分解し、溶液を調製する手法を採用した。反応において、チタンテトライソプロポキシド(284.23)、アセチルアセトン(100.12)、エタノール(99.5)、エチルアルコール(46.07)、硫酸(=46.08)、硝酸(=63.01)を使用した。

2. 2. 大腸菌群数の測定

本研究で採用した特定酵素基質培地法は、大腸菌群の乳糖発酵性に関与する β -ガラクトシターゼの有無で大腸菌群を判定する方法である。 β -ガラクトシターゼ活性を調べる酵素基質には、ONPG (o-ニトロフェニル- β -D-ガラクトピラノシド) 及び XGal (5-ブロモ-4-クロロ-3-インドリル- β -D-ガラクトピラノシド) があり、それぞれガラクトピラノシドの分解により遊離した発色物質で判定する。用いる酵素基質により ONPG 法、XGal 法に分かれる。なお、両方とも大腸菌が同時に判定できるように MUG (4-メチルウンベリフェニル- β -D-グルクニド) が含まれている。大腸菌培地(コンパクトドライ「ニッスイ」CF 日水製薬株式会社)を使用した。

2. 3. 化学的酸素要求量 (COD_{Mn})

汚染された水中に存在する汚濁物質の量を定量化するために、COD を用いた。COD 以外にも汚濁指標となる測定項目は多々あるが、多数の検体を処理する必要があることから、測定が短時間で済むこと、および測定方法が簡易であること等を勘案して COD を選択した。COD は「下水道試験法」にしたがい、“ 100°C における過マンガン酸カリウムによる酸素要求量”を測定した。

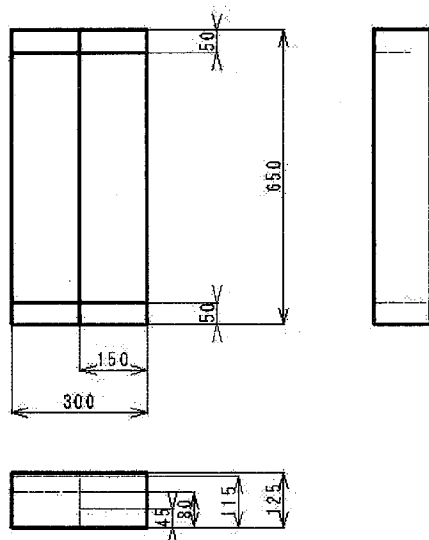
2. 4. 光エネルギー光量

光触媒を反応させるためには近紫外線が必要であり、太陽光には一般に全体の3%が紫外線である。光触媒反応に必要な波長380nm以下の紫外線であり、実験で効率的に得るにはブラックライトを使用する。ブラックライトから照射された光は実際に減少するため酸化チタンに当たり光触媒反応が起こるまでには光源とは光量が減少している。よって酸化チタンに当たる紫外線量を計算するには以下の式を用いる。

$$W \times \frac{\theta^\circ}{360^\circ} \times \frac{D}{A}$$

ここで、W:ワット数、D:タイルまでの距離、A:水面積、 θ :光軸の傾き角

2. 5. 薄層流循環システム



光源は20Wのブラックライトを1本使用した。

実験に用いた汚濁水は、長野県諏訪湖の湖畔にて採取した水を用いた。なお、実験に用いた水は、毎回の実験に先立ち、その日の朝に採水し、同日中に使い切り、水質が環境中で酸化することによる影響を最小限に抑制した。また、送水による水質浄化および大腸菌除去実験は以下の手順で行った。

1. 暗室内に水槽を置き、水槽にタイルを敷きサンプルの水をはる。この水槽は式連式である。片方にはコーティングしていないタイル敷く。
2. 水を循環させるために送水を行う。滞留時間は、1時間、3時間、6時間である。
3. ①、②と同じことを水位と光源から板までの距離を変えて行う。変化させる水位は、3cm、5cm、1cmを行う。変化させる光源から距離は、15cm、10cm、7cmで行う。

3. 結果および考察

基礎実験として、水の流れがない場合について検討した結果、固定した酸化チタン膜により4時間で完全に大腸菌を除去することができた。このことから送水実験では滞留時間を

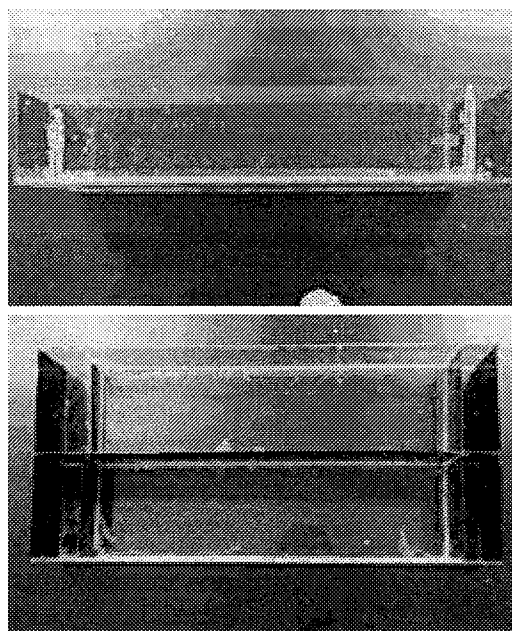


表1. 薄層流循環処理における実験条件

水位[cm]	光源からの距離[cm]	滞留時間[h]
1	7	1
1	7	3
1	10	1
1	10	3
3	7	1
3	7	3
3	7	6
3	10	1
3	10	3
3	10	6
3	15	3
5	7	1
5	7	3
5	7	6
5	10	1
5	10	3
5	10	6

3 時間を中心に設定することにした。これは静止水では水に動きがないため実際より時間がかかったとも考えられたからである。滞留時間 1 時間はある程度の流れを与えることを目的とするとともに 1/3 の時間で大腸菌の除去が行えるかを検証するために設定した時間である。滞留時間 6 時間は中心に設定した時間よりも 2 倍の時間にすることで除去効率も上がると考えたからである。

3. 1. 水質浄化性能

本法の効果を水質の代表値として COD を用いて検討した結果を図 1 に示した。処理を開始して 3 時間後には、二酸化チタンなしの場合、除去率が 13%であったのに対して二酸化チタンありでは 60%の除去率であった。さらに、24 時間後には、それぞれ 73.6%および 88.2%であった。このことから本法では、急速に汚染物質を分解することができる。

3. 2. 殺菌性能 (大腸菌群)

殺菌効果を表す大腸菌群数の減少の傾向を図 2 に示した。二酸化チタン存在下では、処理開始後 3 時間で 89.1%の減少が確認され、5 時間後には除去率は 100%であった。他方、二酸化チタンがない場合には、処理後 3 時間で除去率が 29.7%、24 時間後でも 42.2%であったことから、本法の殺菌効果の高さが伺われる。さらに、大きな特徴は、塩素あるいはオゾンによる殺菌では、処理後、菌体の復活が観察され、大腸菌群数が増加する例が見受けられるのに対して、本法では、処理後 24 時間後でも、大腸菌群数の再増殖は観察されなかった。さらに、COD および大腸菌群数の減少に寄与するパラメータについて調べて結果をそれぞれ表 2 および表 3 に示した。

4. 結 論

本研究により薄層流循環システムの設計パラメータを実験的に求めることができた。方法では、酸化チタンという安価の材料に太陽光を当てるだけで、汚濁水の浄化および大腸菌群数の減少 (殺菌) の効果が得られることが示された。また、これはメンテナンスも容易であることから、開発途上国で要求されている安価かつ維持管理の容易な水処理システムとして有用であることがわかる。まだ、いくつか改良すべき点もあるが、今後、本システムの実用化に向けた研究を進めたい。

<参考文献> 入門ビジュアルサイエンス “光触媒のしくみ” (藤嶋昭・橋本和仁・渡部俊也)

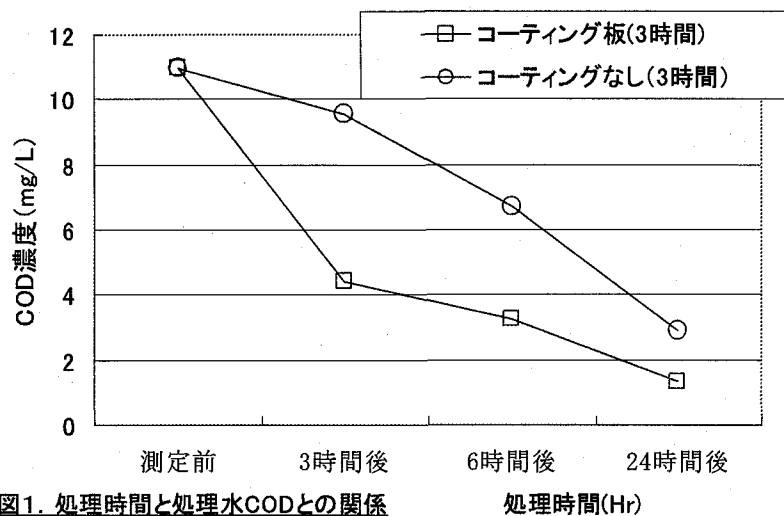


図1. 処理時間と処理水CODとの関係

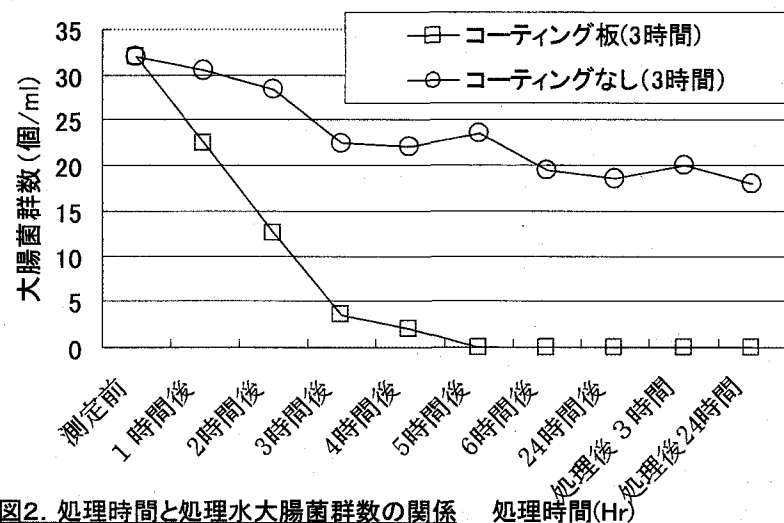


図2. 処理時間と処理水大腸菌群数の関係

水位 cm	-0.54
滞留時間 h	0.34
光源までの距離	0.13
COD(除去後)	0.03
温度(水温)	-0.57
PH	0.06

水位 cm	-0.61
滞留時間 h	-0.09
光源までの距離	0.59
COD(除去後)	-0.07
温度(水温)	0
PH	0.08