

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360240

研究課題名(和文) 生態リスクの高い残留医薬品汚染の影響と制御に関する研究

研究課題名(英文) Evaluation and Control of Water Pollution due to Residual Pharmaceuticals Suspected High Risk on Aquatic Ecosystems

研究代表者

田中 宏明 (TANAKA HIROAKI)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70344017

研究成果の概要：

生活で使われている医薬品類による水環境汚染は、近年関心が高まっているが、科学的知見は不足し、緊急に知見を収集する必要がある。このため、分析可能な医薬品類約60種類程度を対象に、汚泥を含めた下水および下水処理水中の存在濃度を把握し、下水処理での除去機構を解明し、下水処理除去率の推定技術開発のための基礎情報を集め、下水処理から発生する汚泥処理での医薬品類の挙動を調査し、汚泥の有効利用などの際のリスク評価の基礎情報を収集すること、環境影響の視点から重要性の高い医薬品類の化学的酸化による除去の機構と効率化の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：

Recent concerns on water pollution due to daily used contaminants such as pharmaceuticals have been increasing, but their scientific knowledge is lacking and therefore, investigation of their understanding is urgent. This study focuses some 60 pharmaceuticals for the following topics: their occurrences in wastewater, treated wastewater and sludge; understanding of their removal mechanics there; knowledge to develop estimation technology for their removal efficiency in wastewater treatment; investigation on their behavior in sludge treatment originating from wastewater treatment; information collection of risk evaluation in sludge utilization; understanding of their removal mechanism and improving removal efficiency in oxidation process.

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：環境工学

科研費の分科・細目：工学・土木・環境システム

キーワード：残留医薬品、下水処理場、活性汚泥法、汚泥処理、オゾン処理、促進酸化処理、サロゲート法、下水汚泥

## 1. 研究開始当初の背景

新たな汚染物質として、『低濃度で』かつ『特異的に』作用するように作られている医薬品の影響は広範囲に及ぶ可能性があるが、長期にわたる飲み水を経由した低濃度暴露での人への影響や水生生態系への複合影響は、よく分かっていない。人用医薬品は、下水道や浄化槽を経由して水環境に排出されるが、医薬品の性格上、多くは極性があり、生分解性も低いため、従来の排水処理系では除去率が低く、水環境からの検出が報告されている。わが国でも、行政、マスコミの関心が高まっているが、汚染実態、環境影響、対策技術の科学的知見はきわめて不足しており、緊急に知見を収集する必要がある。

代表者らは、わが国での医薬品汚染実態を下水道で調査した結果、下水処理水には ppb オーダー残り、放流先での水生生物への懸念があることを報告した。また、医薬品の淀川水系、利根川水系での存在濃度を明らかにし、河川水あるいは下水処理水から多くの医薬品類が検出され、わが国でも医薬品汚染が広がっていることが確認した。しかし、生分解、光分解などの河川での医薬品類の挙動は不十分で、解明が必要である。

下水処理場では、多くの医薬品は下水処理過程で低減するが、処理場ごとに除去率も異なり、現在未解明な汚泥を含めた処理系の挙動を把握し、pH の変化を含めた分配を考慮した水相と汚泥との吸脱着と生分解の下水処理での除去機構の解明が必要である。

放流水や河川水に残存する医薬品を藻類や海洋細菌により得られた毒性データに基づき、実測濃度で初期リスク評価した場合、CAM、AZM、トリクロサン、エリスロマイシン、テトラサイクリン、クロルテトラサイクリン、スルファメトキサゾール等の抗菌剤や抗生物質等は詳細なリスク評価をすべきことが明らかとなった。従来の下水処理レベルでは一部の医薬品は生態毒性を及ぼす可能性があるため、処理水に残留する医薬品の除去性能を向上させるため、オゾン、UV、それらと H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を組み合わせた促進酸化処理 (AOP) した場合擬似 1 次反応的に医薬品濃度が減少するが、抗がん剤シクロフォスファミド、防虫剤 DEET、抗生物質 CAM など一部の難分解な医薬品はオゾンだけでは分解率が低く、消毒で使われる UV 照射エネルギーや H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> による AOP で処理する必要があることが明らかとなっている。

## 2. 研究の目的

### (1) 汚泥を含めた医薬品類の下水処理場での挙動の解明

代表者らが分析可能な医薬品類を対象に、汚泥を含めた下水および下水処理水の存在濃度を把握し、下水処理での除去機構を解明すること、特に医薬品類の物理化学的特性、下水処理の運転条件である HRT・SRT との関係を整理し、下水処理で医薬品類の除去率の推定技術の開発に資すること

### (2) 医薬品類の放流河川での挙動の解明

淀川水系を対象として放流先水域での分析可能な医薬品類の挙動を把握するとともに、流下過程に与える非生物的・生物的要因を明らかにし、放流先河川での医薬品類の挙動の推定技術の開発に資すること

### (3) 下水処理水の残留医薬品類の酸化処理技術の開発

生態毒性、あるいは難分解性の視点から重要な医薬品類をオゾンおよび促進酸化処理での除去機構を解明するとともにエネルギー使用等の評価を行い、化学的酸化による除去の効率化の検討を行うこと

## 3. 研究の方法

### (1) 汚泥を含めた医薬品類の下水処理場での挙動の解明

63 種類の医薬品類を対象として、より簡便で再現性の高い一斉分析法を検討し、下水処理場での現地調査により、汚泥を含めた存在濃度を測定した。

一斉分析法の検討では、内部標準法による定量を試みた。まず、液体クロマトグラフ・タンデム質量分析計 (LC-MS/MS) を用いて 63 の医薬品類と 43 の安定同位体標識化合物 (サロゲート物質) を同時に測定する条件を確立した。サロゲート物質が入手できた対象物質は、同位体希釈法により定量し、サロゲート物質が入手できなかった対象物質は、あるサロゲート物質を代替の内部標準物質として用いる「代替サロゲート物質による内部標準法 (代替サロゲート法)」を提案した。

下水処理場での現地調査では、水処理、汚泥処理の両方を対象とし、それぞれ 11、4 箇所の下処理場場で試料を採取した。試料は溶解態と懸濁態に分けて前処理・測定を行った。得られた医薬品類濃度と試料採取箇所での流量から、下水処理場での医薬品類の物質収支を把握し、下水の活性汚泥処理や汚泥の嫌気性消化処理での除去率を算出した。

### (2) 医薬品類の放流河川での挙動の解明

60 物質の医薬品類を対象とし、現地調査に

より河川流下過程における濃度減衰速度を、太陽光照射実験により直接光分解性を把握した。

現地調査では、淀川水系の都市河川である西高瀬川の下流域にあたる約2.6kmの区間を対象とした。対象区間の途中には、下水処理場（処理場Aとする）の放流口が1箇所存在するが、それ以外には有意な流入箇所は存在しない。採水地点は対象区間の上流端、下流端、処理場Aの放流口の計3地点とした。全てスポット採水とし、採水間隔にはなるべく流下時間を考慮した。調査は2009年から2011年にかけての20ヶ月間行った（n=51）。濃度の減衰を1次反応と仮定し、物質収支をとることにより濃度減衰速度定数を算出した。

太陽光照射実験は OECD の直接光分解に関するガイドライン（Test No. 316）を参考にして実施し、モル吸光係数と量子収率を算出した。

また、得られたモル吸光係数と量子収率を用いて Zepp ら（Environ Sci Technol, 1977）の方法により西高瀬川における直接光分解速度定数を計算し、現地調査によって得られた濃度減衰速度定数と比較を行った。

### （3）下水処理水の残留医薬品類の酸化処理技術の開発

本実験では、30種の医薬品類を対象とした回分式処理実験と、医薬品類が残留している実下水2次処理水を用いた連続処理実験を行った。表-1には回分実験時に試験水に添加した医薬品類の種類および用途などを示す。回分実験では内径21cm、高さ1,087mm、有効容積22Lのステンレス製の円筒の反応槽を用いた。O<sub>3</sub>処理実験は、O<sub>3</sub>ガスを注入速度0.6mg/L/min（O<sub>3</sub>ガス濃度：13.2mg/L、O<sub>3</sub>ガス流量：1.0L/min）で試験水に送入することで行った。O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>およびO<sub>3</sub>/UV処理実験は、O<sub>3</sub>ガス注入と同時にそれぞれ2.3mg/LのH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の添加およびUV照射（254nm波長の低圧ランプ）を併用することにより行った。

連続処理実験は1日処理水量が10m<sup>3</sup>である、3塔のステンレス製反応槽（有効容積：35L/槽、滞留時間：5分/槽）が直列に連結されている実験装置で行った（図-1）。連続実験は実下水2次処理水を用い、医薬品類の添加はしなかった。O<sub>3</sub>単独処理は2、4および6mg/LのO<sub>3</sub>注入率で行い、送入O<sub>3</sub>ガス濃度はそれぞれ14、28および42mg/Lとなっている。O<sub>3</sub>ガスは第1槽（R1）と第2槽（R2）にそれぞれ0.5L/minで送入した。O<sub>3</sub>/UV処理の際、17.2W<sub>UV</sub>および21.8W<sub>UV</sub>の出力値を持つUVランプが用いられ、O<sub>3</sub>注入率はO<sub>3</sub>単独処理時と同じく2、4および6mg/Lであった。各反応槽の中にはUVランプが3本ずつ入っている。

表-1 対象医薬品類(回分実験)

Name of pharmaceuticals	Use	Molecular Formula	Log Kow	pKa	Water solubility (mg/L, @25°C)	
Acetaminophen	鎮痛剤	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	0.46	9.38	1.40E+04	
Antipyrine		C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	3.90	7.30		
Ethenzamide		C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	0.38	1.40	5.19E+04	
Fenpropfen		C <sub>18</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>	0.77			
Mefenamic acid		C <sub>15</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	5.12	4.20	20	
Naproxen		C <sub>14</sub> H <sub>13</sub> O <sub>2</sub>	3.18	4.15	15.9	
Disopyramide	不整脈剤	C <sub>17</sub> H <sub>19</sub> O <sub>2</sub>	3.12	4.45	51	
Metoprolol		C <sub>15</sub> H <sub>15</sub> N <sub>2</sub> O	1.94		3.00E+06	
Propranolol		C <sub>16</sub> H <sub>17</sub> ClN <sub>2</sub> O	4.51	4.15	2.37	
2-quinoline carboxylic acid	抗生剤	C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> ClNO <sub>2</sub>	4.27	4.50	0.937	
Cefiofur		C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	2.58		44.9	
Chlortetracycline		C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> NO <sub>7</sub>				
Clarithromycin		C <sub>26</sub> H <sub>37</sub> NO <sub>5</sub>	3.48	9.42	61.7	
Oxytetracycline		C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	1.63		343	
Sulfadimethoxine		C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S	0.89	7.59	1500	
Sulfadiazine		C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S	0.89		610	
Sulfamethoxazole		C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S	0.70		4030	
Sulfamonomethoxine		C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S	-1.30	3.30	231	
Tetracycline		C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> ClN <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	-0.62	3.30	630	
Carbamazepine		痙攣防止剤	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	-0.90	3.27	313
Ifenprodil			C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> NO <sub>2</sub>	3.16	8.99	0.342
Diclofenac		消炎剤	C <sub>16</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub> S			
Indomethacin			C <sub>19</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>			
Isopropylantipyrine	C <sub>17</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>		3.90			
Ketoprofen	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> N <sub>2</sub> O		2.45		17.7	
Cyclophosphamide	抗腫瘍剤	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> P	0.63		4.00E+04	
Clenbuterol	気管支拡張剤	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O	2.00			
Theophylline		C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	-0.02	8.81	7360	
N,N-diethyl-m-toluamide	防虫剤	C <sub>12</sub> H <sub>17</sub> NO	2.18		912	
Crotamiton		C <sub>11</sub> H <sub>17</sub> NO	2.73			

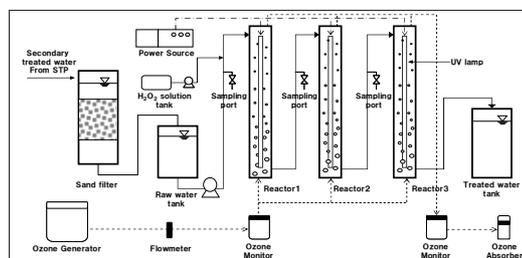


図-1 連続処理装置の概略図

## 4. 研究成果

### （1）汚泥を含めた医薬品類の下水処理場での挙動の解明

内部標準法（同位体希釈法と代替サロゲート法）を種々の下水試料に適用したところ、例えば活性汚泥懸濁態試料における添加回収試験で、54物質について、「相対回収率100±30%、かつ、変動係数20%未満」という結果が得られた。内部標準法と一点標準添加法の間で定量値を比較すると、両者はほぼ一致し、定量値の変動係数は内部標準法の方が小さかった。内部標準法の方が分析試料数を低減できることから、本研究で確立した分析法は、下水汚泥試料においてもより簡便かつ高い再現性を有する方法であることが示された。

下水処理場の水処理を対象とした調査から、63物質中58物質が検出された。物質収支を把握したところ、対象物質の大多数については、引抜き汚泥への移行よりも生分解の方が主たる除去機構であることが示された。汚泥試料の水相・懸濁相での医薬品類の分配係数と疎水性指標のオクタノール水分配係数との間には有意な相関関係が観られず、対象物質の水相・懸濁相間での分配現象は、疎水性相互作用だけでは説明できなかった。活性汚泥処理の運転条件と対象物質の分解率

との関係を考察すると、clarithromycin、roxithromycinなどは水温の高い夏季の方が冬季よりも生分解されやすいこと、ketoprofen、azithromycinなどはHRT、SRTが長いほど生分解されやすいこと、が明らかとなった。

下水処理場の汚泥処理を対象とした調査から、63物質中59物質が検出され、わが国で初めて、汚泥処理における医薬品類の存在実態を明らかにした。検出濃度が比較的高く(mg/kg-dryレベル)、脱水ケーキや乾燥汚泥中にも残留していたことからその挙動に特に注意すべき物質として、ニューキノロン系合成抗菌剤(levofloxacin、ciprofloxacin、norfloxacin)、およびtriclocarban、triclosanが挙げられた。また、酸性・塩基性官能基を有する医薬品類は、嫌気性消化の前後で固液分配に変化が見られ、pHの上昇に伴う対象物質の解離平衡の変化に起因するものと推察された。さらに、嫌気性消化での医薬品類の除去率を算出し、海外での既報値と比較した結果、嫌気性消化で良好な除去率(<80%)を示す物質として、sulfamethoxazole、trimethoprim、除去が困難(除去率<0%)な物質としてcarbamazepine、sulfapyridineが挙げられた。負の除去率を示す物質には、処理の過程で、親物質や体内での代謝物から対象物質への変換が生じていることが予想され、今後、実汚泥を用いた分解実験等により、それらの寄与の有無を明らかにする必要があると考えられた。

## (2) 医薬品類の放流河川での挙動の解明

現地調査では、35物質の医薬品類に対して濃度減衰速度定数が算出され、ketoprofen、dipyridamole、furosemide、diclofenac、ofloxacin、ciprofloxacinの計6物質では濃度減衰速度定数が比較的高い値を示した。

太陽光照射実験では、20物質の医薬品類に対してモル吸光係数と量子収率が算出されketoprofenやキノロン系抗菌剤が、極めて高い光分解性を有するという結果が得られた。

西高瀬川における直接光分解速度定数(計算値)と現地調査によって得られた濃度減衰速度定数(実測値)との比較を行ったところ、比較を行うことの出来た9物質において計算値と実測値が概ね一致していた(図-2)。このことから、西高瀬川において医薬品類に対して直接光分解が主な濃度減衰因子となっていることが示唆された。

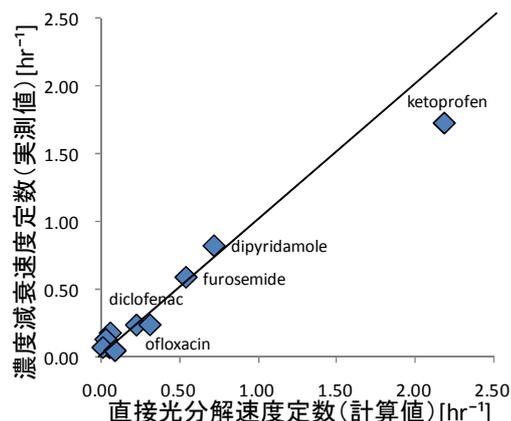


図-2 直接光分解速度 vs 濃度減衰速度  
(西高瀬川、医薬品類9物質)

## (3) 下水処理水の残留医薬品類の酸化処理技術の開発

### 1) 回分実験結果

$O_3$ 単独処理では antipyrine、fenoprofen、ethenzamide、metoprolol、disopyramide、clarithromycin、2-QCA、ketoprofen、cyclophosphamide(、DEETなど10種類の医薬品類の除去率は90%以下であった。特に、ethenzamide、disopyramide、cyclophosphamideおよびDEETは、それらの分子構造にアミド(RCONR<sub>2</sub>)を含んでいる。一般に、アミン類と比べてアミド類は $O_3$ との反応が遅いことが知られており、本実験での対象物質のうち、アミド系の医薬品類は10種類であるが、このうち3種類の分解性が低いことからアミド系の医薬品類は他の医薬品類と比べ $O_3$ 処理により除去しにくい場合があると考えられる。一方、 $O_3$ 処理時、2.3mg/Lの $H_2O_2$ を添加すると上記のアミド系の4種類の医薬品類と2-QCA、ketoprofenなど合計6種類の医薬品類以外は90%以上分解された。 $O_3$ /UV処理時には、2-QCAとcyclophosphamideの分解率は90%以下であり、30種のうち最も分解しにくい医薬品類であった。抗がん剤として使われるcyclophosphamideは、本実験で対象とした30種類の医薬品類のうち、不飽和度値が0.5と最も低かった。なお、他の29種の医薬品類は最低値が5.0で、平均値は8.0である。不飽和度値は、ある物質が持つ不飽和結合の数を表す指標として使われる。本実験では、30種類の医薬品類の不飽和度値と分解率との定量的な相関性はみられなかったが、定性的にはcyclophosphamideは非常に低い不飽和度値を持つため、 $O_3$ により分解されにくいことが理由として考えられた。

### 2) オゾンによる抗生剤の分解機構

本研究で対象となった抗生剤にはTetracycline系とSulfa剤系が含まれる。

Tetracycline 系の抗生剤は他抗生剤と比べ、オゾン分解が非常に速く、本実験で対象とした医薬品類のなかでもオゾン分解度が最も高い物質と確認された。既報告でも、Tetracycline はオゾンによって非常に分解しやすい物質と知られており、C11a-C12 と C2-C3 の二重結合、あるいは 3 次アミンがオゾン分子に攻撃される部位として予想される(図-3)。Tetracycline と殆ど同じ構造の Oxytetracycline のオゾン分解度も Tetracycline とほぼ同様であり、Tetracycline 系の抗生物質の分解にはオゾン処理が非常に有効であると考えられる。Sulfamine 誘導体である Sulfa 剤系の抗生剤のオゾン分解度も殆ど同じ程度であり、これらの物質が持つ芳香族のアミノ基がオゾンとの主要反応サイトと予想される。

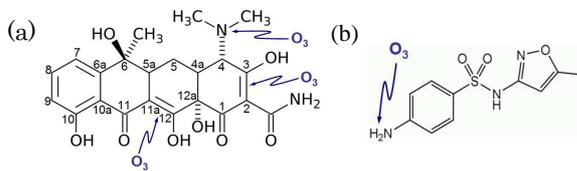


図-3 Tetracycline (a)と Sulfamethoxazole (b)の分解

3) 処理プロセスごとのエネルギー消費量  
各処理プロセスごとに 90%以上の有効な医薬品類の除去が得られた運転条件における消費エネルギー量を求め、プロセスごとに比較することにした。図-4 には  $O_3$  および  $O_3/UV$  処理時得られた運転条件ごとの消費エネルギー量と医薬品類の除去率を表す。 $O_3$  処理の場合、6mg/L の  $O_3$  注入率注入率( $O_3$  ガス濃度: 42mg/L、 $O_3$  ガス流速: 1.0L/min、接触時間: 10 分)で primidone(87%) および naproxen(89%) 以外のすべての医薬品類が 90%以上除去され、様々な医薬品類を有効に除去するためには 6mg/L 以上の  $O_3$  注入率が必要となると考えられる。一方、 $O_3/UV$  プロセスの場合、1,846mJ/cm<sup>2</sup> の UV 照射量と 4mg/L の  $O_3$  注入率( $O_3$  ガス濃度: 28mg/L、 $O_3$  ガス流速: 1.0L/min、接触時間: 10 分)を併用した時、殆どの医薬品類が 90%以上除去された。Cyclophosphamide、primidone、DEET および chloramphenicol からは 90%除去率が得られなかったが、それぞれ 86%、86%、89%および >73%の比較的高い除去率が得られた。このことから、 $O_3$  処理時 UV を併用することで  $O_3$  注入率をある程度減らせることが分かる。下水 2 次処理水中の医薬品類を有効に除去するために必要な消費エネルギーは  $O_3$  処理は 0.09kWh/m<sup>3</sup>、 $O_3/UV$  処理は 1.12 kWh/m<sup>3</sup> を必要とすることが分かった。 $O_3/UV$  処理時には、UV の導入により  $O_3$  処理と比べエネルギー消費量が非常に高くなり、結果的に、エネルギー消費面では

$O_3$  処理が最も有利なプロセスであることが分かる。

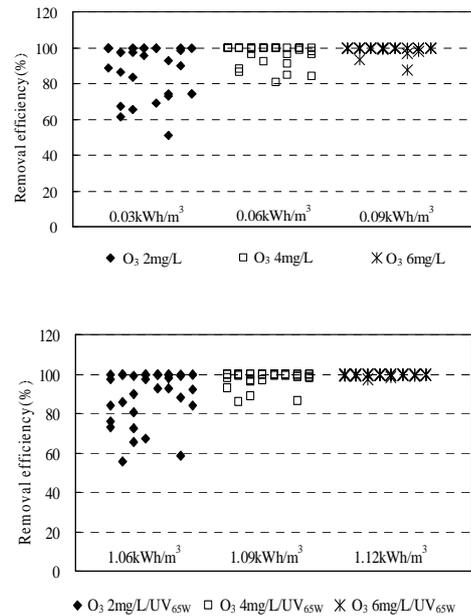


図-4 各処理プロセスによる医薬品類の除去率および消費エネルギー量

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

- 1) 成宮正倫、奥田隆、中田典秀、山下尚之、田中宏明、佐藤和志、末岡峯数、大岩俊雄、下水処理過程における医薬品類の存在実態と挙動、環境工学研究論文集、46、2009、175-186【査読有】
- 2) Gopal Chandra Ghosh, Takashi Okuda, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka. Occurrence and elimination of antibiotics at four sewage treatment plants in Japan and their effects on bacterial ammonia oxidation., "Water Science and Technology, 59, 2009, 779-786【査読有】
- 3) I.H. Kim, N. Yamashita, Y. Kato, H. Tanaka, Discussion on the Application of UV/H2O2, O3 and O3/UV Processes as Technologies for Sewage Reuse Considering the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products, Water Science & Technology, 59, 2009, 945-955【査読有】
- 4) Ilho Kim, Hiroaki Tanaka, PHOTODEGRADATION CHARACTERISTICS OF PPCPs IN WATER WITH UV TREATMENT, Environment International, 35, 2009, 793-802【査読有】
- 5) ILHO KIM, NAUYUKI YAMASHITA,

HIROAKI TANAKA, Performance of UV and UV/H2O2 processes for the removal of pharmaceuticals detected in secondary effluent of sewage treatment plant in Japan, Journal of Hazardous Materials, 59, 2009, 1134-1140 【査読有】

- 6) Ilho Kim, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka, Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products during UV and UV/H2O2 treatments, Chemosphere, 77, 2009, 518-525 【査読有】
- 7) Takashi Okuda, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka, Hiroshi Matsukawa, Taoru Tanabe, Development of extraction method of pharmaceuticals and their occurrences found in Japanese wastewater treatment plants, Environment International, 35, 2009, 815-820 【査読有】
- 8) I. Kim, H. Tanaka, Utilization of O3-based processes for the removal of pharmaceuticals detected in wastewater treatment plant, Water Environment Research, 82, 2010, 294-301. 【査読有】
- 9) 花本征也, 中田典秀, 山下尚之, 田中宏明, 淀川水系における医薬品類の存在実態, 環境工学研究論文集, 47 2010, 423-432 【査読有】
- 10) Gopal C. Ghosh, Norihide Nakada, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka, Occurrence and Fate of Oseltamivir Carboxylate (Tamiflu) and Amantadine in Sewage Treatment Plants, Chemosphere, 81, 2010, 13-17 【査読有】
- 11) Ilho Kim and Hiroaki Tanaka, Energy Consumption for PPCPs Removal by O3 and O3/UV, Ozone, Science & Engineering, 33, 2010, 150-157 【査読有】
- 12) 花本征也, 杉下寛樹, 山下尚之, 田中宏明, 宝輪勲, 小西千絵, 淀川水系における医薬品類の挙動に関する検討, 環境工学研究論文集, 45 2008, 29-37 【査読有】 など

[学会発表] (計 55 件)

- 1) 田中宏明, 生活由来の化学物質による生態系影響と環境管理, JIME 海洋環境研究委員会第 1 回研究会, 2009. 7. 30, 神戸大学、神戸 【招待講演】
- 2) Hiroaki Tanaka, Emergence of pharmaceuticals and personal care products, their occurrence, control and assessment in municipal wastewater management, International Distinguished Scholars Symposia on Ten Future Technologies, Interdisciplinary Environmental Technology Breakthrough for the Future, November 11, 2009, Guest

House, ERICA Campus, Hanyang University Ansan, Korea 【招待講演】

- 3) 田中宏明, 新たな下水道技術のチャレンジ, 都市排水での医薬品類への対応, フォーラム 2009 衛生薬学・環境トキシコロジー講演会, 2009. 11. 5, 沖縄コンベンションセンター、沖縄 【招待講演】
- 4) Hiroaki Tanaka, Occurrence, reduction and evaluation of contaminants of emerging concerns in the water environment, International Symposium “Contamination and treatment of microorganisms in the groundwater,” National Institute of Environmental Research(NIER) Korea, 2010 年 5 月 12 日, Conference Room 318, Coex, Seoul, Korea 【招待講演】
- 5) 田中宏明, 水環境での新たな生活関連化学物質による汚染, 第 13 回水環境制御研究センターシンポジウム「永続的水利用に向けた水質リスク評価と制御・対策技術」、東京大学大学院工学研究科附属水環境制御研究センター, 2010 年 9 月 7 日, 東京大学武田ホール 【招待講演】
- 6) 田中宏明, 水循環系における都市排水由来の新規汚染物質への関心と対応環境技術研修会『医薬品の環境影響とリスク管理』、製薬協環境安全委員会, 2011 年 1 月 26 日, 東京製薬協 5 階 AB 会議室 【招待講演】 など

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 宏明 (TANAKA HIROAKI)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 70344017

### (2) 研究分担者

山下 尚之 (YAMASHITA NAOYUKI)  
京都大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号: 90391614  
中田 典秀 (NAKADA NORIHIDE)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 00391615

### (3) 連携研究者

八十島 誠 (YASOJIMA MAKOTO)  
京都大学・大学院工学研究科・特定准教授  
研究者番号: 10541021  
金 一昊 (KIM ILHO)  
京都大学・大学院工学研究科・GCOE 研究員(現韓国 建設技術院)  
研究者番号: 70534270  
井原 賢 (IHARA TAKASHI)  
京都大学・大学院工学研究科・CREST 研究員  
研究者番号: 70450202  
GHOSH, G. C.  
京都大学・大学院工学研究科・JSPS 外国人特別研究員