

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360234

研究課題名(和文) 下水処理系での新興汚染物質の削減の予測と機構

研究課題名(英文) Estimation and mechanism on reduction of emerging contaminants in wastewater treatment

研究代表者

田中 宏明 (Tanaka, Hiroaki)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70344017

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円、(間接経費) 4,380,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はナノ粒子のうち、フラーレンについての分析手法を確立し、下水に含まれるナノ粒子の活性汚泥法での動態、水環境と下水処理への影響を評価した。次に下水処理により移行した下水汚泥中の医薬品類の消化過程での動態を調査した。また下水に流入する抗インフルエンザ薬濃度変化からインフルエンザ患者数を把握する方法を検討した。さらにオゾン、UV、AOPによる医薬品類の除去性について文献を中心に整理した。

研究成果の概要(英文)：This study developed analytical methodology of fullerene nanoparticles in wastewater, investigated their fate in the activated sludge process and evaluated their adverse effects on water environment and wastewater treatment. Then, the fate of pharmaceuticals shifted to sewage sludge during sewage treatment was investigated in anaerobic digestion processes. Estimation methodology of influenza patient numbers was also studied from change in the concentrations of anti-influenza virus drugs detected in influent sewages in a sewage treatment plants. Finally, reduction levels of pharmaceuticals in treated sewage by ozonation, ultraviolet irradiation and advanced oxidation process were reviewed from literatures.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木環境システム・用排水システム

キーワード：下水処理 医薬品類 ナノ粒子 抗インフルエンザ薬 フラーレン 除去率 環境影響 活性汚泥法

1. 研究開始当初の背景

医薬品は薬理活性を有するため、その影響は広範囲に及ぶ可能性があるが、長期にわたる低濃度で複合した曝露でのヒトや水生生態系への影響は依然未解明である。また、近年その生産量の増加速度が著しい化学物質のナノ粒子は、工業利用とともに、家庭での利用が急速に広がっている。これらの利用後に、廃棄される一部は下水として排出され、環境へのバリアである下水処理が、どの程度環境排出抑制に果たすのか関心がもたれるが、研究は進んでいない。

代表者は、LC-MS/MS等を用いた一斉分析法を開発し、90種類の医薬品の淀川水系、利根川水系での存在濃度を初めて明らかにした。その結果、多くは下水処理場由来していた。また、抗インフルエンザ薬については、使用時期が集中し、平常に比べて多量の医薬品が流入する事態が起こること、下水処理場での除去が不十分であるため、環境に流出し、濃度も急上昇する。さらに我々は、汚泥や底質に含まれる医薬品の同時分析方法も我が国で初めて開発し、多くの医薬品類は下水処理過程で低減する場合は、汚泥への収着とともに生分解が大きな役割を果たすことを明らかにした。

また、下水処理水中に残存する医薬品レベルで申請者が行った、藻類やミジンコ、海洋細菌に対する毒性データから、抗生剤や抗生物質等は、不確定係数を考慮した場合、詳細なリスク評価をすべきレベルにあることを明らかとした。このため、処理後に残存する医薬品を除去する必要があるため、オゾン処理で高い除去特性が得られるが、一部の難分解な医薬品はオゾンだけでは分解率が低く、AOPで処理する必要があること、TOCが変化しないことから中間体そのまま残存することを明らかにした。

一方、社会で使用が急増している化学物質に、ナノ材料があり、これまで工業中心に利用が進んでいたが、実用化がすすみ、家庭で利用がされている場合がある。その中には、生活用品として下水に捨てられ始めている場合がある。

2. 研究の目的

以上の成果を踏まえ、本研究での目的と範囲は以下のとおりである。

1) ナノ粒子のうち、フラレンについての分析手法を確立する。この方法によって、下水に含まれるナノ粒子が活性汚泥法でどの程度除去されるのか、その環境や水処理への影響評価を行う。

2) 初沈汚泥や余剰汚泥に移行した医薬品類の消化過程での動態を把握する。

3) 下水に流入する生活由来の生理活性物質は、使用実態が経年、あるいは季節で大きく変化している場合があり、抗インフルエンザ薬はその典型である。下水に流入する情報から公衆衛生情報が利用できないか検討を行

う。また生物処理で除去が困難で環境への影響が懸念される医薬品類を、オゾン、UV、AOPによる除去可能性について知見を集約する。

3. 研究の方法

(1) 下水中フラレン粒子の分析方法の開発と下水処理での挙動の解明

フラレン (fullerene) は、多数の炭素原子のみで構成される、中空な球状のクラスターの総称である。最初に発見されたフラレンは、炭素原子 60 個で構成されるサッカーボール状の構造を持った C60 であり、余った結合が出ない安定な構造である。フラレンの用途は、医薬、化粧品、電子部品などがある。

1) 分析・定量方法

nC60 の懸濁溶液を準備するため、超純水に分散させる方法とトルエンに分散させる方法の 2 つの方法を検討した。また下水に含まれる nC60 の検出と定量を行うため、液-液抽出法および固相抽出法について HPLC - UV/vis 検出器を用いる分析方法を検討した。

2) 下水中での nC60 の存在形態

下水中での nC60 の凝集サイズと下水汚泥への吸着の両面から、下水処理での nC60 の挙動について検討を行った。ろ過した下水試料での nC60 の凝集サイズを、pH、イオン強度、溶存有機物 (DOM) 濃度を変えて検討した。

3) nC60 の下水汚泥への吸着特性

初沈汚泥と余剰汚泥を対象に nC60 との下水汚泥との等温吸着実験を行った。

4) nC60 の下水処理関連微生物への影響

連続回分式反応器 (SBR) を用いて超純水に分散させた nC60 (aqu/ nC60) を活性汚泥に曝露した場合の処理影響を検討した。

5) nC60 の下水処理での挙動推定

最初沈殿池および活性汚泥法を組み込んだ定常状態での物質収支モデルを作成し、nC60 の活性汚泥法での挙動を推定した。汚泥系からの脱離液の処理系への返送は考慮せず、反応槽は完全混合であると仮定し、生物反応槽周りの収支と最初沈殿池周りの収支をとった。nC60 と最初沈殿池汚泥、活性汚泥との吸着は、実験で得られた Freundlich の式での吸着に従い、nC60 は生物処理では安定であるとした。nC60 の流入濃度を 0.002 µg/L から 0.2 µg/L まで、MLVSS 濃度を 1000 ~ 3000mg/L、HRT を 5 ~ 12 時間、SRT を 5 ~ 30 日、汚泥返送率を 50 ~ 90% に変化させて計算し、感度を分析した。

6) 水環境及び下水処理へのリスク評価

使用量から予測される下水濃度を推定し、構築したモデルで推定される nC60 の汚泥、放流水中の濃度を推定し、ヒト、水生生物への nC60 影響濃度を比較することでリスクアセスメントを行った。

(2) 下水汚泥の消化過程での動態

関西の消化過程をもつ A, B, C, D の 4 つの

水処理場での調査を実施した。4つの処理場のうちA処理場は濃縮、汚泥消化を2系統持っており、別々に採取した。B下水処理場は、初沈汚泥は重力濃縮後、消化、余剰汚泥は別に濃縮後消化という分離した処理が行われている。そのほかの下水処理場は、初沈汚泥と余剰汚泥を混合し、濃縮後、消化が行われている。消化は中温、あるいは高温消化が行われている。

(3) 抗インフルエンザ薬の下水流入の変動による公衆衛生への利用とオゾンなど酸化処理による医薬品類の除去技術の動向

1) 抗インフルエンザ薬の下水流入の変動による公衆衛生への利用

下水処理場において行うこれらの残留医薬品成分のモニタリングが、ある地域における特定疾病の発生・流行の規模を把握する(感染症サーベイランス)ために有用であると考えられる。そこで、下水処理場流入水中に存在する抗インフルエンザ薬のタミフル及びリレンザ濃度から、京都市におけるインフルエンザ患者発生数を推計し、この値を薬局サーベイランスによるインフルエンザ患者数の推計値と比較検討し、患者数の推定を行う疫学調査手法としての有効性について評価を試みた。

下水処理場流入下水中のタミフル及びリレンザの濃度は、2010-2011年及び2011-2012年のインフルエンザ流行シーズンに、京都市の下水処理場調査での調査データを用いた。下水処理場流入水中のタミフル・リレンザの実測濃度値(ng/L)に処理水量を掛け合わせて原単位(mg/日)を算出し、タミフル・リレンザの服薬方法・体外排泄率と下水処理場地区内の人口を考慮して京都市におけるインフルエンザ患者数を推計した。この方法により得られた結果と、薬局サーベイランスによるインフルエンザ患者数との相関性の評価を行った。

2) オゾンなどによる残留医薬品類の除去の動向

生物処理を基盤とするプロセスは、広範囲な種類の医薬品類を有効に除去できない場合があるが、物理化学処理プロセスは、下水処理場の放流水中の残留医薬品を効果的に除去できると報告されている。オゾンは有機汚染物質との直接的な反応のほか、 $\cdot\text{OH}$ ラジカルによる酸化反応も期待することができ、水質浄化のための効率的な酸化剤として汎用的に利用されている。ここでは医薬品および化粧品などの微量有機汚染物質のオゾン処理効果に関する研究結果について文献を中心に整理した。

4. 研究成果

(1) 下水中フローレン粒子の分析方法の開発と下水処理での挙動の解明

1) 分析・定量方法

nC60の懸濁溶液を超純水に分散させる方法とトルエンに分散させる方法では、nC60の

存在サイズは、超純水に直接分散させる場合(aqu/nC60)とトルエンに溶解後超純水に分散させる場合(tol/nC60)で、それぞれの平均凝集サイズは異なり、それぞれ154nm、144nmとなった。また下水からnC60を液-液抽出する方法では、回収率が90%以上、定量下限値は $3.55\mu\text{g/L}$ であったが、固相抽出法では回収率が64%以上であり、定量下限値は $0.10\mu\text{g/L}$ であった。

下水処理場に流入する下水中のnC60の存在濃度を測定したが、定量下限値よりも低く検出できなかった。日本におけるnC60の使用量の統計データから予測される下水中のnC60の濃度は $0.020\mu\text{g/L}$ であり、測定結果と矛盾はなかった。

2) 下水中でのnC60の存在形態

通常の水環境のpH、イオン強度の範囲ではnC60の凝集サイズは24時間安定していた。このため、下水処理場からの下水処理水にnC60が残留し、水環境に排出された場合、放流先に広範囲に輸送される可能性があることが示唆された。

イオン強度が100mM以上、あるいはpHが3よりも低くなると、nC60のゼータ電位の大きさは小さくなり、凝集が起こりやすくなるため、凝集サイズは大きくなった。しかしろ過した最初沈殿池(初沈)越流水では、nC60の凝集が阻害され、DOM濃度が高くなるとnC60の凝集サイズも小さいままで、DOM濃度の影響を受けることが明らかになった。このことから下水処理方法により、nC60の凝集サイズは影響を受けることが示唆された。

3) nC60の下水汚泥への吸着特性

初沈汚泥と余剰汚泥に対するnC60の等温吸着実験の結果、nC60はLangmuirモデルよりもFreundlichモデルおよび線形モデルにより適合していることが示された。このことから、nC60は初沈汚泥および活性汚泥に多層的に吸着することが示唆された。またnC60の下水汚泥への吸着は、pHに大きく影響を受けるが、温度やイオン強度の影響は受けにくいことが明らかとなった。

nC60の吸着性は、下水汚泥の疎水性、ゼータ電位、サイズといった汚泥性状の影響を受け、初沈汚泥に比べて、活性汚泥の方が高い吸着性を示すことが明らかとなった。nC60と下水汚泥との吸着は、電気的反発力と疎水の相互作用が関係していると考えられる。

4) nC60の下水処理微生物への影響

活性汚泥にnC60の濃縮が起こるが、その濃縮濃度が最も高くなった 7.63mg/gMLSS のレベルでも、aqu/nC60はBOD除去に関する処理機能に顕著な影響を与えることはなかった。

また、aqu/nC60は硝化汚泥(最高曝露濃度 8.4mg/L)にも、硝化過程に影響を及ぼすことはなかった。さらに発光細菌(同 4.2mg/L)にも顕著な毒性を示すことはなかった。しかし、tol/nC60は、硝化汚泥と発光細菌に影響を与え、それぞれのEC20が

4.89mg/L と 3.44mg/L であることが明らかとなった。

5) nC60 の下水処理での挙動推定

最初沈殿池での nC60 の除去率は、最初沈殿池での SS 除去率に対応し、50~70%とした場合、SS 除去率の上昇に応じて、nC60 の除去率は増大したが、nC60 の流入濃度が大きくなるほど除去率は低下することが予測された。活性汚泥法では、水理学的滞留時間 (HRT)、活性汚泥濃度 MLVSS が増加するとともに、また固形物滞留時間 (SRT) が減少するとともに nC60 の除去率は大きくなることが示唆される。

流入下水での SS 濃度を 150mg/L、最初沈殿池での SS 除去率を 70%、反応槽での HRT を 8 時間、SRT を 15 日、MLVSS を 2000mg/L とし、nC60 の流入濃度を 0.002 µg/L から 0.2 µg/L に変化させた場合の活性汚泥法全体での除去率を検討した。この結果、既存の代表的な活性汚泥法の運転条件で、流入下水中の nC60 が 0.02 µg/L の場合には、その最初沈殿池の初沈汚泥に吸着され、初沈汚泥として引き抜かれる割合が 23%、さらに反応槽で 38% が活性汚泥に吸着されて除去され、処理水には nC60 が 38% 残留する可能性があることが分かった。

また、流入下水中の nC60 濃度が低下すると除去率は高く、流入濃度が高くなると除去率は低くなること推定される。標準的な活性汚泥法でも nC60 が 0.02 µg/L の濃度で 38% 処理水に残留する。

6) 水環境及び下水処理へのリスク評価

水生生物へ影響を与える nC60 濃度を文献整理した結果、アセスメント係数を 1000 とした場合で、0.18 µg/L と推察された。本研究結果から得られた毒性データにアセスメント係数 10 を想定すると活性汚泥に蓄積する濃度として 0.763mg/gMLSS までは活性汚泥機能に影響を与えないと推定された。これまでの結果から、放流先の水生生物を保護するためには、流入下水の nC60 濃度を 0.35 µg/L、活性汚泥に影響を与えないためには、流入下水の nC60 濃度を 0.16mg/L に抑制する必要があると推定された。

しかし、現状の nC60 の使用状況では、この濃度よりも低いため、現状では問題は生じないと考えられた。ただし、nC60 は下水道に化粧品などの用途から排出される量の増大が懸念されるため、今後とも注意が必要と考えられる。

(2) 下水汚泥の消化過程での動態

1) 下水汚泥の医薬品濃度

下水処理場で行った調査から、濃縮汚泥 (消化槽投入汚泥) と消化汚泥の懸濁態中から、levofloxacin, triclosan, triclocarban が 1mg/kg-dry を超える濃度で検出され、その後段の脱水汚泥や乾燥汚泥からも検出された。

2) 固液分配

嫌気性消化前後の汚泥の調査では、懸濁態

中濃度と溶存態濃度に分けて医薬品濃度を測定した。その濃度比から固液分配比 (L/kg) を計算し、嫌気性消化過程の前後での固液分配比を比較した。その結果、mefenamic acid, diclofenac などカルボキシル基を有する物質群 ($pK_a=4$ 程度) は固液分配比が低下した。一方で、pirenzepine, azithromycin などアミノ基を有する物質群 ($pK_a=8$ 程度) は固液分配比が上昇した。Carbamazepine や triclocarban のように解離する官能基を持たない物質群は、有意な固液分配比の変化はみられなかった。このような固液分配比の変化は、消化の前後で pH が上昇 (濃縮汚泥: 5.1~5.9 消化汚泥: 7.0~8.0) したためと推察された。

カルボキシル基を有する物質群は、消化過程の前後で pH が 5 から 8 程度へ上昇することにより、カルボキシル基の解離が促進され、分子種 (非解離種) が減少することで疎水性相互作用が減少し、また、負に帯電したカルボキシル基は同じく負に帯電した汚泥表面の間の静電的な反発により、固液分配比が減少したと考えられる。

一方、アミノ基を有する物質群は、pH の上昇によりアミノ基の解離平衡が正に帯電した状態から帯電していない状態にやや移動し、カチオン種が支配的であるものの、分子種がやや増加したと予想される。したがって、分子種と固相の疎水性相互作用が増し、固液分配比が上昇したものと考えられる。また、pH が上昇すると吸着材とみなせる汚泥固相表面上のカルボキシル基やヒドロキシル基などが生じるため脱プロトン化が促進され、汚泥表面の負に帯電した部分が増加するものと予想される。したがって、正に帯電した塩基性化合物と負に帯電した汚泥の固相表面との電気的相互作用 (引力) が増し、固相への分配割合が上昇したことも一因と考えられる。変化が見られなかった物質は上記の pH 条件化ではイオン化しないため、分配に変化がなかったものと考えられる。

3) 汚泥消化系での物質収支

嫌気性消化前後における医薬品類の負荷量から、嫌気性消化での医薬品類の除去率を算出した。Sulfamethoxazole や trimethoprim は嫌気性消化で良好な除去率 (>90%) を示し、海外での既報と一致した。一方、carbamazepine や sulfapyridine は除去が困難であった。負の除去率を示す物質は、処理の過程で親化合物等から対象物質への変換が生じていることが予想される。濃縮汚泥から比較的高濃度で検出されていた triclosan, triclocarban の除去率は 30~40%前後、ニューキノロン系合成抗菌剤 (levofloxacin, norfloxacin, ciprofloxacin) の除去率は 50%と算出された。

4) 処理場全体での物質収支と除去

ある下水処理場においては、流入下水とともに、水処理、汚泥処理 (濃縮 嫌気性消化 脱水 乾燥) の環境排出先である放流水、

乾燥汚泥も採取し、水処理と汚泥処理を合わせた下水処理場全体での医薬品類の物質収支把握を試みた。下水処理場から排出される対象医薬品類の負荷量を比較すると、ほとんどの物質は放流水の方が汚泥排出よりも多かった。したがって、対象下水処理場からの医薬品類の環境への排出経路は、乾燥汚泥よりも放流水の方が寄与は大きいことが示唆された。濃縮汚泥から mg/kg-dry レベルで検出されたニューキノロン系合成抗菌剤や triclocarban は、下水処理場に流入後、その大半が水処理プロセスから引き抜き汚泥とともに汚泥処理プロセスへ進み、嫌気性消化過程では 50%前後分解され、最終的に流入下水中負荷量の 10%前後は乾燥汚泥中に残留していることが明らかとなった。

(3) 抗インフルエンザ薬の下水流入の変動による公衆衛生への利用と医薬品類のオゾンなど酸化処理による除去技術の動向

1) 抗インフルエンザ薬の下水流入の変動による公衆衛生への利用

近年、タミフル等に代表される抗インフルエンザ薬成分の河川環境中への流出が新たな社会的問題を提起している。下水処理場の流入水中のタミフル及びリレンザの実測モニタリング調査結果より推定した京都市でのインフルエンザ患者数の推移と、薬局サーベイランスに基づいて推定したインフルエンザ罹患者数の推移の結果を、2010-2011 年及び 2011-2012 年の期間別に利用した。

まず、インフルエンザ患者発生が増減傾向の推移について検討した。その結果、下水処理場流入水中のタミフル・リレンザ濃度を元に推計したインフルエンザ患者数の増減推移と、薬局サーベイランスによるインフルエンザ患者数の増減推移傾向は類似していた。この結果は、これまで報告されている下水や河川水中のタミフル及びリレンザ濃度と、インフルエンザの流行指数とに関連性があるとする報告を実証するものである。

次に、両手法により推計したインフルエンザ患者数の対応性について、相関性を表す直線性とその傾きを基に両者の相関性の評価を行った。その結果、2010-2011 年及び 2011-2012 年の両シーズンにおいていずれも、下水処理場流入水中のタミフル・リレンザ濃度を元に推計したインフルエンザ患者数と、薬局サーベイランスによるインフルエンザ患者数の間に良好な正の相関 (r 値: 0.96 (2010-2011 年) 0.94 (2011-2012 年)) が認められた。また、近似線の傾きの値は両シーズンともに 1 に近いが、2011-2012 年では 1.03 であったのに対し 2010-2011 年では 1.17 と若干高くなっていることが分かった。この原因については、2010 年以降に日本の臨床現場で導入が開始されている、新規抗インフルエンザ薬成分のイナビルやラピアクタの使用割合が年々変化していることが関係していると考えられた。

本研究により、下水中のタミフル及びリレ

ンザの濃度をモニターすることにより、薬局サーベイランスによる推定値とは最大で概ね 2 倍程度の誤差でインフルエンザ患者数を予測出来るということが明らかになった。このことは、下水中の抗インフルエンザ薬成分をモニタリングすることにより、インフルエンザの流行状況を把握するのみならず、患者数についても推定把握出来ることを示唆している。

2) オゾンなど酸化処理による医薬品類の除去技術の動向

抗生剤、解熱鎮痛剤、不整脈用剤、その他の医薬品、Musk fragrance compounds、その他のパーソナルケアについてのオゾンなどの酸化処理について文献情報を整理した。多数の医薬品類の成分を一定レベル以下まで効率よく除去するためには、オゾン、膜、UV などの様々な物理化学的な後処理 (post-treatment) プロセスを単独あるいは併用する必要があると考えられる。概してこのような後処理プロセスは、下水処理水の放流水中に存在する大半の医薬品類に対し、9 割以上除去可能であるということが先行研究の結果から確認できる。しかし、多数の除去対象物質を対象に最適な後処理プロセスを選択することは非常に難しい作業であろう。後処理プロセスの普及する際に最も問題になるのが、初期投資費用、運転および維持管理費用である。

特にオゾンは様々な種類の汚染物質を同時に除去するのに適したプロセスとして知られている。オゾンによる医薬品類の除去は、オゾン分子による直接的な酸化と、オゾン処理時に生成される $\cdot\text{OH}$ ラジカルなどの 2 次反応による酸化によって達成される。オゾン処理は、共存するほかの有機物質などによって妨害を受け、医薬品類の除去効率が減少することがある。また、元の物質よりも高い毒性を持つ副生成物を生成することがある。しかし、このような問題は、処理プロセスの経済面がある程度黙認されるならば克服できる問題である。例えば、オゾン処理された放流水の毒性を砂ろ過で減らすことができるという研究結果のように、追加的な処理プロセスの導入によってオゾン処理と関連した問題はカバーできるだろう。医薬品類などの数多くの微量有機汚染物質が水環境中で検出されており、また、化学物質による人体および生態毒性が懸念されている時代に私たちは生きている。これからは、下水処理施設にオゾン処理のような後処理プロセスの導入に対する環境的メリットをより具体的に評価する時期であると判断される。

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 15 件)

1) Yang, Y., Nakada, N., Nakajima, R.,

- Wang, C., Tanaka, H., Toxicity of Aqueous Fullerene nC(60) to Activated Sludge: Nitrification Inhibition and Microtox Test, Journal of Nanomaterials, 2012, 2012,512956, 6 pages
- 2) Azuma, T., Nakada, N., Yamashita, N., Tanaka, N., Synchronous Transition of Observed and Predicted Values of Anti-influenza drugs in Environmental Waters during a Seasonal Influenza Outbreak, Environmental Science & Technology, 46, 2012, 12873-12881
 - 3) Y. Yang, N. Nakada, R. Nakajima, M. Yasojima, C. Wang, H. Tanaka, pH, ionic strength and dissolved organic matter alter aggregation of fullerene C(60) nanoparticles suspensions in wastewater, Journal of Hazardous Materials, 15, 2013, 582-587
 - 4) Y. Yang, N. Nakada, H. Tanaka, Adsorption of fullerene nC60 on activated sludge: kinetics, equilibrium and influencing factors, Chemical Engineering Journal, 2013,
 - 5) Narumiya, M, Nakada, N., Yamashita, N., Tanaka, H., Phase distribution and removal of pharmaceuticals and personal care products during anaerobic sludge Digestion, Journal of Hazardous Materials, 260, 2013, 305-312
 - 6) Azuma, T., Nakada, N., Yamashita, N., Tanaka, H., Mass Balance of Anti-influenza Drugs Discharged into the Yodo River System, Japan, under an Influenza Outbreak, Chemosphere, 93, 2013, 1672-7
 - 7) Y. Yang, N. Nakada, H. Tanaka Adsorption of fullerene nC60 on activated sludge: kinetics, equilibrium and influencing factors, Chemical Engineering Journal, 225, 2013, 365-371
 - 8) 東剛志、菅原民枝、中田典秀、山下尚之、三野芳紀、田中宏明、大日康史、下水中の抗インフルエンザ薬成分を用いた疫学調査手法の検討、環境技術、226 - 232
他 8 件

〔学会発表〕(計 34 件)

- 1) H. Tanaka, T. Azuma, G. Gopal Chandra, N., N. Yamashita(招待講演), Emerging pollution derived from daily life activities in the water environment, Seoul International Symposium on Waterworks 2011, 2011 年 9 月 1 日, 韓国, ソウル
- 2) N. Yamashita, T. Kawakami, H. Tanaka,

- Ecological Risk Evaluation of Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Water Environment using a battery of aquatic organism bioassays, The 21st Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, 2012/7/13, Kuala Lumpur, Malaysia
- 3) I.H. Kim, H. Tanaka, The Utilization of SUVA as an Indicator for Pharmaceuticals Removal during UV, 03 and AOPs, 2013 IOA-IUVA World Congress, 2013 年 09 月 24 日, Las Vegas, USA
他 31 件

〔図書〕(計 2 件)

- 1) 田中宏明, 水処理技術が拓く 21 世紀型水循環社会への挑戦、排水・汚水処理技術集成 vol.2, 2013, NTS
他 1 件

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

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 NAOPYUKI)
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
井原 賢 (IHARA MASARU)
京都大学・大学院工学研究科・特定研究員
研究者番号：70450202

(3) 連携研究者

研究者番号：
八十島 誠 (YASOJIMA MAKOTO)
島津テクノリサーチ・専門課長
研究者番号：
金 一昊 (KIM ILHO)
韓国 建設技術院・主任研究員
研究者番号：
東 剛志 (AZUMA TAKASHI)
大阪薬科大学・大学院薬学研究科・助手