

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 28 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310026

研究課題名(和文) 個体群理論に基づく銀ナノ粒子の水環境生態リスク評価

研究課題名(英文) Aquatic ecological risk assessments of silver nanocolloids based on population growth analyses

研究代表者

柏田 祥策 (KASHIWADA, Shosaku)

東洋大学・生命科学部・教授

研究者番号：20370265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円、(間接経費) 4,620,000円

研究成果の概要(和文)：活性汚泥に対するSNCsの最小殺菌濃度は5 mg/Lであった。藍藻類、微細藻類に対しては硝酸銀よりも高い毒性を示し、ナノサイズによる毒性が考えられた。水生植物に対しては溶出した銀イオンがグルタチオン還元酵素などを阻害して根内過酸化水素の増加によるCAT活性の低下が根の伸長を阻害した。動物プランクトンの急性遊泳阻害試験ではSNCsと硝酸銀のどちらでも影響に差がなかった。繁殖阻害試験では毒性の主要因は銀イオンであった。魚類に対してはメダカ体長減少、心拍数低下、虚血および後湾症を誘導した。SOD、CATおよびGSHは有意に減少し、アポトーシスの阻害が観察された。さらに内的自然増加率が有意に減少した。

研究成果の概要(英文)：Minimum bactericidal concentration of silver nanocolloids (SNCs) to active sludge was 5 mg/L. Toxicities of SNCs to cyanobacteria and micro algae were comparatively high, in addition, nano-size dependent toxicity was observed. In case of SNCs exposure to aquatic plants, there was inhibition of roots growth because released Ag⁺ inhibited glutathione reductase and following increase of H₂O₂ in roots reduced catalase activity. There is no significant difference between SNCs and AgNO₃ in acute mobility inhibition test of invertebrates. Main toxic factor in reproduction test of invertebrates was Ag⁺. In fish, it was observed that shortened body length, reduction of heart beating, ischemia and kyphosis were induced by SNCs exposure. SOD, CAT and GSH were significantly reduced, and apoptosis inhibition was observed. Moreover, intrinsic growth rate of fish was significantly decreased by SNCs exposure.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：ナノマテリアル 生態系影響評価

1. 研究開始当初の背景

環境汚染によるヒト健康へのリスクの多くは、環境生態系で最も重要なクロスメディアである「水」の汚染に起因している。現代社会において水の再利用は重要課題の一つであり、下水処理場は事業所・家庭からの排水を適切に処理することで水資源の再利用を可能にするとともに、水環境汚染を防止して河川環境の保全に最も貢献している。最近のナノテクノロジーの急激な発達にともない、使用・廃棄されたナノマテリアル(タテ・ヨコ・高さの少なくとも一辺が1億分の1メートル-ナノサイズ-の化学物質)によって生じる環境ならびにヒト健康へのリスクが懸念されている。とくに、高い抗菌活性をもつことから世界市場の約半数を占める銀ナノコロイド(SNCs)については、使用・廃棄後に排水に混入した場合、下水処理場の生物処理(活性汚泥)に悪影響を与えて処理機能の低下を引き起こすこと、さらにSNCsの水環境への流亡と水生生物(藻類・ミジンコ・魚類)への毒性影響がOECD(経済協力開発機構)などで懸念されている。新規環境汚染物質としてのナノマテリアルの水圏生態系における拡散と生態影響については、柏田(代表研究者)らが行った「河口域メゾコスムにおける金ナノ粒子(直径4nm)の食物連鎖・生物濃縮研究(Nature Nanotechnol 4(7): 441-444, 2009, IF=20.6)」などに限定されている。さらに生物体内挙動研究としては、柏田(同)による蛍光ラテックスナノ粒子(直径40nm)の透明メダカ体内挙動研究が代表的な研究事例である(Environ Health Perspect 114(11) 1697-1702, 2006, IF=7.1, 被引用数45)。SNCsの生態影響としては、活性汚泥の硝化作用阻害(Water Res in press), 緑藻の光合成阻害(Environ Sci Tech 42 8959-8964 2008), ミジンコへの取り込み(Environ Sci Tech 44 7699-7704 2010), ゼブラフィッシュの胚発達阻害と孵化率低下(Nanotechnol 19: 255102, 2008)が報告されているが、SNCsの毒性作用機序の詳細はまた報告されていない。柏田(同)は予備検討の結果、SNCs(直径3.6nm)をメダカ受精胚に6日間曝露(0.5mg/L)した結果、酸化作用および胚発達における強い形態形成異常を確認した。しかしpH依存的に解離する銀イオンの作用機序が不明確であるので、毒性影響がSNCs由来であるのか、解離した銀イオン由来であるのかは全く不明である。銀イオンとして硝酸銀を用いた研究例はあるが、強い酸性を示す硝酸銀水溶液に含まれる銀イオンによる影響を「銀イオンのみ」の試験結果として採用することは難しい。そこでSNCsを任意の間隔で形成する新規ナノテクノロジーを応用して作製した「SNCs固相化ウエルプレート」を用いて、解離銀イオンのみの生態毒性を評価する手法を開発した。また化学物質の生態リスクは、個体群理論に基づいて評価(柏田, 立田ら, Environ Toxicol

Chem 27(11): 2397-2402. 2008. IF=2.7) することが妥当である。そこで本研究では、活性汚泥・水生植物・藻類・ミジンコ・メダカに対するSNCsおよび解離銀イオンの毒性を、個体群生態学における内的自然増加率(個体群の成長・衰退を予測する指標)を求めることで、包括的な水環境生態系リスク評価を行うことができる。以上の理由から、本申請に至った。

2. 研究の目的

SNCsおよび独自に開発した「SNCs固相化ウエルプレート」を用いて、水環境保全のために重要な要素である下水処理場の活性汚泥、水圏生態系の重要な構成要素である水生植物・藻類・動物プランクトン群集・魚類へのSNCsの生態毒性を検討する。活性汚泥における微生物群集および水生植物・藻類・動物プランクトン群集・メダカの生命表データ(呼吸・光合成・成長、産卵数、受精率、孵化率)といった表現形質への影響を明らかにするとともに、SNCs毒性評価のためのバイオマーカー(毒性試験方法)を開発する。SNCsの環境挙動を明らかにするために、活性汚泥・水生植物・藻類・動物プランクトン群集・メダカにおけるSNCsの吸着と濃縮あるいは取り込みと排出をコンパートメント速度論的に解析して、生態系内挙動を明らかにする。

生命表データをもとに、活性汚泥、水生植物、藻類、動物プランクトン群集およびメダカに対するSNCsの影響を、生命表データに基づく内的自然増加率を計算することにより評価する。以上を総括して、「排水の生物処理(活性汚泥)水生植物・藻類動物プランクトン群集魚類(メダカ)」という環境水フローに従ってSNCsの水環境における生態リスクを詳細かつ包括的に評価する。

3. 研究の方法

環境負荷が高く使用量も多いSNCsの水環境生態系への影響を評価するために、環境水フローに従って「活性汚泥、水生植物、藻類、動物プランクトン群集およびメダカ」における毒性評価手法の開発を行う。さらに個体群理論に基づく生命表データ解析による詳細かつ包括的な生態リスク評価を行う。

(1) 活性汚泥、水生植物、藻類、動物プランクトン群集およびメダカにおけるSNCsの生態毒性評価:SNCs固相化ウエルプレートを用いた毒性発現メカニズム解析(バイオマーカー開発)と生態系内挙動研究。

(2) SNCsの詳細かつ包括的な生態リスク評価:個体群理論解析(生命表データ解析)に基づくSNCsの生態影響の包括的リスク評価。

4. 研究成果

(1) 活性汚泥

SNCsを用いて、排水処理過程における生処理装置への排水処理効率に及ぼす影響を評価した。また、排水処理後に水環境中にSNCs

が流出することを想定し、一次生産者である藍藻類とその捕食者の原生動物に対する影響を評価した。下水処理場より活性汚泥を採取し、人工排水を用いた連続培養法により馴養した。馴養した活性汚泥の真正細菌群集構造を 16S rRNA 遺伝子を用いて確認したところ、*Nitrosomonas* sp. が優占していた。この馴養した活性汚泥を用いて、SNCs の最小殺菌濃度 (Minimum Bactericidal Concentration; MBC) を求めるとともに、回分実験 (SNCs = 0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10 mg/L) および連続実験 (SNCs = 0, 0.5, 1.0 mg/L) を実施した。

馴養した活性汚泥に対する SNCs の MBC は、5 mg/L であった。同時に、OH ラジカルが細胞内で発生し殺菌すると報告があるニューキノロン系抗生物質の馴養した活性汚泥に対する MBC を求めたところ 640 mg/L であった。一方、回分実験では SNCs 0.1 mg/L 以上で、連続実験では、SNCs 0.5 mg/L および 1.0 mg/L でアンモニア酸化阻害と亜硝酸酸化阻害が認められた。連続実験では、興味深いことに SNCs 0.5 mg/L では、曝露開始から 48 h までは、コントロール (SNCs 0 mg/L) と比較して、窒素処理効率が上昇した。この際のリアクター中の銀イオン濃度は、1.0 µg/L 未満であった。曝露開始から 48 h 以降は、徐々に窒素処理効率は悪化した。他方、SNCs 1.0 mg/L では曝露開始から直ちに窒素処理効率は悪化した。SNCs 1.0 mg/L では、曝露開始 24 h で銀イオン濃度は 3.0 µg/L 程度であったが、SNCs 0.5 mg/L では曝露開始 576 h で銀イオン濃度が 1.0 µg/L を超えていた。2012 年度までの銀イオンのみの影響評価が可能な「銀ナノ粒子固相化ウェルプレート (SNPP)」を用いた結果と今年度の結果から、銀イオンが毒性影響を与えると考えられた。

藍藻類の捕食原生動物に対する SNCs の影響は、Cytoviva 顕微鏡分析システム (Cytoviva 社、株式会社日本レーザー) を用いた観察からネクロシスによるものであると考えられた。また観察から藍藻類は細胞破裂を起こしていたため、細胞内イオン濃度が攪乱されたと予想された。SNPP を用いた影響評価から、SNCs の毒性は銀イオンであることが推測された。また藍藻類もその捕食原生動物も銀イオン濃度 20 µg/L で強く毒性影響を受けることがわかった。藍藻類は、SNCs 曝露により増殖に影響が見られたが二次代謝産物の産生量には影響はなかった。藍藻類の増殖抑制は SNCs 曝露中に観察されたが、藍藻類捕食原生動物は、最大増殖量は変わらず増殖遅延が起こることがわかった。さらに、藍藻類捕食原生動物の対数増殖期において SNCs を曝露すると最大比増殖速度が有意に減少することがわかった。

(2) 藻類

ムレミカツキモの生育速度を指標とし SNCs の毒性評価を行った。ムレミカツキモは国立環境研究所微生物保存施設の NIES-35 株

(*Pseudokirchneriella subcapitata* (Korshikov) Hindák) を用いた。曝露実験では SNCs の粒子としての毒性、銀イオンとしての毒性について比較を行うために SNCs と硝酸銀の 2 種類を用いた。また培養条件として震盪培養と静置培養の 2 通りを用いた。96 時間の短期曝露実験において、震盪培養では SNCs 曝露において硝酸銀曝露よりも高い毒性が示され、半数効果濃度 (EC50) は SNCs で 22 ppb、硝酸銀で 27 ppb であった。一方、静置培養では 2 種の銀種間で差はなく EC50 はどちらも 32 ppb であった。2 つの銀種において静置培養では震盪培養と比較して銀毒性が低減していることが示唆された。震盪培養での結果から、SNCs では銀イオンの溶出による毒性効果だけでなく、粒子としての毒性、あるいは細胞への付着等による毒性の顕在化が考えられる。

長期曝露の実験では、高濃度 (150 ppb) の SNCs 曝露条件下においても生育が認められた。曝露する SNCs 濃度の上昇に比例して増殖が開始するまでの誘導期が長くなり、150 ppb の曝露区では、培養開始から 200 時間以上経過した後に細胞の増殖が認められた。しかしながら、いずれの銀曝露濃度においても増殖が開始した後の生育速度は銀曝露を行っていない対象区とほぼ同程度であり、最初に曝露された SNCs は、細胞により時間をかけて無毒化されている、死んだ細胞に固定されている、あるいは銀毒性に対する耐性を獲得していることが示唆された。各処理区の細胞について、細胞内の金属含有量を測定したところ、処理した銀濃度の上昇とともに、細胞内の銀含有量が増加していた。重金属の細胞内含有量についても同様に処理した銀濃度とともに細胞内の濃度が上昇していた。細胞内の金属濃度について静置培養と震盪培養した細胞を比較すると、毒性の低い静置培養で金属濃度の上昇率が低いことから、生育速度の測定で認められた SNCs、硝酸銀の毒性は銀処理により引き起こされる重金属に関連している可能性が示唆された。一方、金属の吸収量が増加していたことから、TEM-EDX を用いて SNCs、硝酸銀に由来する重金属の細胞内局在を変化を解析したが、どの処理区においても細胞内に銀やそれ以外の重金属の局在は検出されず、極端な局在の変化はないものと予想された。今後は、長期曝露実験下での銀の化学形態解析、SNCs と硝酸銀曝露、また震盪培養と静置培養での重金属吸収や重金属耐性に関連する遺伝子群の発現比較を行う事により、SNCs に特有な毒性機構の解明に寄与できるものと考えられる。

(3) 水生植物

水生植物のモデルとしてのイネを用いて、SNCs がイネの生育、特に根の伸長に与える影響とその毒性発現メカニズムを明らかにすることを目的とした。グロースチャンパー内で水耕栽培した播種後 1 週のイネに、SNCs (0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/L) を水

耕液中に添加したところ、イネの根は濃度依存的に伸長が阻害されており、0.05 mg/L という低濃度処理区でも未処理区に比べて有意な伸長阻害が確認された。そこで、伸長阻害の要因を探るために、阻害が現れる直前の時期（0.5 mg/L 処理 3 日後）の根を用いて根の生理機能の解析を行った。SNCs および同濃度の Ag+ で処理した根では、NH₄⁺ の吸収速度が低下しており、エバンスブルー染色により根の表面細胞へのダメージが確認された。またこのとき、根の H₂O₂ 含量はコントロールに比べて著しく増加していた。一方で、カタラーゼ（CAT）およびグルタチオン還元酵素（GR）の活性はコントロールに比べて低下していた。これらのことから、根では SNCs および Ag+ 処理により酸化ストレスを生じていることが考えられた。さらに、H₂O₂ 蓄積量の増加は SNCs と Ag+ との間で違いが見られなかったことから、SNCs の毒性は、SNCs から溶出した Ag+ によるものと考えられた。

CAT 失活の要因を調べるために、精製 CAT を SNCs および Ag+ で処理したところ、活性低下は見られなかった。このことから、根における CAT の活性低下は Ag+ による直接阻害ではなく H₂O₂ の蓄積によるものであることが示唆された。一方で、GR の失活要因を調べるために、精製 GR に SNCs および Ag+ で処理したところ、濃度依存的に活性が低下した。一方、5 mM という高濃度の H₂O₂ 処理によっても GR 活性に変化はなく、10 mM 以上で緩やかな活性の減少が確認された。よって、SNCs 処理による GR 活性の低下は、酸化ストレスによって生じた H₂O₂ ではなく、SNCs より溶出した Ag+ により直接的に阻害を受けることと考えられた。

(4) 動物プランクトン

SNCs と硝酸銀について、ミジンコ急性遊泳阻害試験および繁殖阻害試験を行い、毒性を比較した。実験に使用したオオミジンコ（*Daphnia magna*）は NIES 系統、カプトミジンコ（*D. galeata*）は霞ヶ浦から、ゾウミジンコ（*Bosmina longirostris*）は諏訪湖から単離・培養したクローンである。各種影響濃度は試験水中の総銀濃度および銀イオン濃度（化学平衡モデルから推定）を用いて算出した。急性遊泳阻害試験では、SNCs と硝酸銀のどちらに対しても 3 種のミジンコの 48-h EC50 は大きく異ならなかった。毒性は SNCs（総銀濃度）よりも硝酸銀（銀イオン）のほうが 10 倍程度高く、ナノ粒子特有の強い毒性は確認されなかった。ただし、各ミジンコに対する SNCs の 48-h EC50 は銀イオン濃度で計算すると硝酸銀に近い値となった。

繁殖阻害試験は *D. magna* と *D. galeata* について行い、全生活史データを取得した。試験データから純繁殖率と成熟までの生存率に対する EC10、内的自然増加率がゼロになるときの銀濃度を算出した。急性遊泳阻害試験と同様に、各毒性値は銀イオン濃度を用いて算出すると SNCs と硝酸銀に近い値を示すこ

とが分かった。総銀濃度で考えると、SNCs の純繁殖率への EC10 は 48-h EC50 の 7-10 倍となった。これは、溶液中の総銀濃度に占める銀イオン濃度の割合が、急性毒性試験と比較して非常に低くなるためである。繁殖阻害試験における銀イオン濃度の低下は、藻類による取り込みや藻類由来の有機物との錯体形成などによると考えられる。そのため、SNCs による繁殖への影響を評価する際に総銀濃度を用いると、毒性を過小評価する恐れがある。

また、個体レベル試験（急性、慢性毒性試験）で得られた結果が群集レベルでも当てはまるのかを検証するため、プランクトン群集への SNCs の曝露実験を実施した。これについては現在サンプル分析中である。

(5) 魚類

SNCs の電位と粒子径の計測により、ERM 中のような塩を含む分散媒中では SNCs は凝集する傾向があることが示唆された。また pH ごとの電位および粒子径に有意な差は見られなかった。また、曝露試験の結果、体調の減少、心拍数の低下、虚血および後湾症を呈す奇形がみられた。試験後、酸化ストレスマーカーである SOD、CAT および GSH の活性は対照区と比較して有意に減少しており、曝露区において ROS 産生の初期経路における酸化ストレスであることが示唆された。またアポトーシスの引き金となる caspase-3 の活性は、対照区と比較して有意に減少した。NAC 処理区では caspase-3 の活性が対照区の活性と同程度に回復することが明らかになった。アポトーシス実行時に必要とされる ATP の量も SNCs 曝露区において有意に減少したことから、アポトーシスの抑制は酸化ストレスによる酵素活性および生成阻害に起因することが示唆された。マイクロアレイ解析の結果、*ctsl* および *atp2a1* の発現量が低下した。cathepsin などのリソソームに含まれるタンパク質分解酵素はアポトーシスシグナルの開始や伝達に関わっていることから、*ctsl* の発現量低下によりアポトーシスが抑制されたことが示唆された。また *atp2a1* の発現の抑制は、管状心臓などの心臓の奇形を誘導することが知られている。さらに酸化ストレスに関連した遺伝子群は発現量が向上したため、SNCs は酸化ストレス原因物質であることが遺伝子レベルにおいても示唆された。メダカ個体群の再生産試験の結果、曝露後の成魚までの生存率は曝露区において有意に低かった。その他の生命表データは成魚の GSI のみ有意な差が見られた。内的自然増加率 *r* は対照区と比較して曝露区は有意に減少した。これには生存率低下が最も影響していると考えられ、低濃度の SNCs 曝露であっても長期的な毒性を呈し、その個体数を減少させることで次世代へと大きな影響をもたらすことが示唆された。本研究の成果は SNCs のメダカ孵化仔魚に対する毒性影響のエコトキシコゲノミクス研究および SNCs の毒性影

響評価法における先進的な貢献であり、今後行われるナノマテリアルの毒性およびリスク評価の参考となることを期待したい。

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 3 件)

1. Sakamoto M. and Tanaka Y. (2013) Different tolerance of zooplankton communities to insecticide application depending on the species composition. *Journal of Ecology and Environment*, 36: 141-150. 査読有.
2. Mano H. and Sakamoto M. (2013) Competitor density and food concentration: an empirical approach to elucidate the mechanism of seasonal succession of two coexisting *Bosmina*. *Journal of Ecology and Environment*, 36: 267-271. 査読有.
3. 坂本正樹, 河鎮龍 (2013) 食物網を考慮したリスク評価. *環境毒性学会誌*, 16: 49-57. 査読有.

[学会発表](計 22 件)

1. Chisato Kataoka, Chie Mori, Satoru Furui, Yuya Nakagame, Haruki Tatsuta, Shosaku Kashiwada, Exposure Effects of Silver Nanocolloids to Medaka Population through Embryo Toxicity, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Thirty-Fourth Annual Meeting in North America, Nashville, Tennessee, USA. Nov 17-21, 2013.
2. Tadashi Ariyoshi, Takuto Niwa, Chisato Kataoka, Haruki Tatsuta, Shosaku Kashiwada, Silver Nanocolloids and Population Growth in Post-hatch Embryo of Japanese Medaka, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Thirty-Fourth Annual Meeting in North America, Nashville, Tennessee, USA. Nov 17-21, 2013.
3. 坂本正樹, 米島伸, Ha Jin-Yong. 食物網を考慮したリスク評価. 日本環境毒性学会, 東洋大学(東京) 2013 年 9 月 7-8 日 企画シンポジウム「化学物質の生態リスク評価の今後 - 多様性ある生態系を理解することから始めよう」招待講演
4. 河鎮龍, 坂本正樹, 加茂将史. 「日本の水環境」での金属リスク評価: ミジンコ急性遊泳阻害試験とメソコズム実験. 日本環境毒性学会, 東洋大学(東京) 2013 年 9 月 7-8 日 口頭発表
5. 米島伸, 坂本正樹, 立田晴記, 柏田祥策. SNCs 毒性のミジンコに対する毒性: ナノ粒子とイオンの関係. 日本環境毒性学会,

東洋大学(東京) 2013 年 9 月 7-8 日 口頭発表

6. Tadashi Ariyoshi, Haruki Tatsuta, Takuto Niwa, Chisato Kataoka, Shosaku Kashiwada: Ecotoxicities of silver nanocolloids to post-hatch embryos of Japanese medaka and population growth, The 6th Korea-China-Japan Graduate Student Forum, September 3-6, 2013, Korea.
7. 金沢彩子, 長坂征治, 仲亀雄哉, 有吉理, 片岡千里, 竹井弘之, 廣津直樹, 岩見徳雄, 杉浦則夫, 内海真生, 柏田祥策, 清水和哉, 「藍藻類及び原生動物に対する SNCs 曝露における影響」, 第 19 回日本環境毒性学会研究発表会, 東洋大学(東京), 2013 年 9 月 7-8 日
8. C. Kataoka, S. Nagasaka, H. Kawaguchi & S. Kashiwada: Silver nanocolloids exhibit toxicity to medaka embryos, but salinity dependent, PRIMO17 in Faro, Portugal. May 4-8, 2013.
9. 眞島芽衣・根岸理紗・神山翔伍・平野俊・廣津直樹 「SNCs はイネの根に酸化ストレスを引き起こす」(第 54 回日本植物生理学会年会, PF160, 岡山, 2013 年 3 月 21-23 日)
10. 清水和哉, 金沢彩子, 仲亀雄哉, 有吉理, 片岡知里, 長坂征治, 竹井弘之, 岩見徳雄, 杉浦則夫, 柏田祥策: 有毒藍藻および藍藻捕食原生動物に対する SNCs の影響解析, 日本水処理生物学会第 49 回大会, 北里大学(東京) 2012 年 11 月 24-25 日.
11. 高野蒼汰, 仲亀雄哉, 有吉理, 片岡知里, 竹井弘之, 柏田祥策, 清水和哉: 活性汚泥処理能に対する SNCs の影響解析, 日本水処理生物学会第 49 回大会, 北里大学(東京) 2012 年 11 月 24-25 日.
12. 片岡知里, 仲亀雄哉, 川口英夫, 酒泉 満, 柏田祥策: メダカ受精卵の SNCs 取込みに与える浸透圧の影響, 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会, 熊本市(熊本) 2012 年 9 月 27-28 日.
13. 有吉理, 柏田祥策: メダカ孵化仔魚を用いた SNCs 毒性評価, 第 18 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会, 熊本市(熊本) 2012 年 9 月 27-28 日.
14. Shosaku Kashiwada, Tadashi Ariyoshi, Takuto Niwa, Chisato Kataoka, Yuya Nakagame, Hiroyuki Takei: Stage-dependent toxicities of silver nanomaterials in early life stages of medaka, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Asia/Pacific Sep 24-27, 2012. Kumamoto, Japan.
15. Tadashi Ariyoshi, Yuya Nakagame, Takuto Niwa, Chisato Kataoka, Hiroyuki Takei, Hiroshi Nakamura, Yoshihiro,

- Kagami, Shosaku Kashiwada: Salinity- and pH-dependent silver nano-toxicities and microarray analyses in post-hatch embryos of Japanese medaka, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Asia/Pacific, Sep 24-27, 2012. Kumamoto, Japan.
16. Chisato Kataoka, Yuya Nakagame, Seiji Nagasaka, Hideo Kawaguchi, Shosaku Kashiwada: Salinity- dependent membrane permeation of silver nanocolloids in Japanese medaka egg embryos, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Asia/Pacific, Sep 24-27, 2012. Kumamoto, Japan.
17. T. Ariyoshi, Y. Nakagame, T. Niwa, S. Nagasaka, H. Takei, S. Kashiwada: Salinity- and pH-dependent silver nano-toxicity in post-hatch embryos of Japanese medaka, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe 22nd Annual Meeting in Germany, Berlin, May 20-24, 2012.
18. Y. Nakagame, T. Niwa, T. Ariyoshi, S. Nagasaka, H. Takei, S. Kashiwada: Silver nano-toxicity and biological effects are dependent on cation contents and pH in tested water, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe 22nd Annual Meeting in Berlin, Germany, May 20-24, 2012.
19. 仲亀雄哉, 丹羽拓人, 竹井弘之, 長坂征治, 柏田祥策: メダカ受精卵を用いた SNCs の毒性研究 第 46 回日本水環境学会 本会, 東洋大学 (東京), 2012 年 3 月 14-16 日.
20. 有吉 理, 丹羽拓人, 竹井弘之, 柏田祥策, メダカ初期生活段階に及ぼす SNCs の影響, 第 46 回日本水環境学会本会, 東洋大学 (東京), 2012 年 3 月 14-16 日.
21. 仲亀雄哉, 有吉理, 丹羽拓人, 長坂征治, 竹井弘之, 柏田祥策: 魚類受精卵に対する銀イオンの毒性評価 ナノ物性工学を用いた新規試験法, 第 17 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会, 鹿児島大学 (鹿児島) 2011 年 9 月 3-4 日.
22. Yuya Nakagame, Seiji Nagasaka, Tadashi Ariyoshi, Takuto Niwa, Hiroyuki Takei, Shosaku Kashiwada: A Novel Method for Testing of Ag+ Toxicity from Silver Nanoparticles for Fish Embryos, Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe 21st Annual Meeting in Milan, Italy, May 15-19, 2011.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :
取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :
〔その他〕
ホームページ等
<http://www.aqua-env.org/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
柏田 祥策 (KASHIWADA, Shosaku)
東洋大学・生命科学部・教授
研究者番号 : 20370265
- (2) 研究分担者
立田 晴記 (TATSUTA, Haruki)
琉球大学・農学部・准教授
研究者番号 : 50370268
- (3) 研究分担者
長坂 征治 (NAGASAKA, Seiji)
東洋大学・生命科学部・教授
研究者番号 : 60534013
- (4) 研究分担者
廣津 直樹 (HIROTSU, Naoki)
東洋大学・生命科学部・准教授
研究者番号 : 40584389
- (5) 研究分担者
坂本 正樹 (SAKAMOTO, Masaki)
富山県立大学・工学部・講師
研究者番号 : 20580070
- (6) 研究分担者
清水 和哉 (SHIMIZU, Kazuya)
東洋大学・生命科学部・講師
研究者番号 : 10581613
- (7) 連携研究者
竹井 弘之 (TAKEI, Hiroyuki)
東洋大学・生命科学部・教授
研究者番号 : 40520789
- (8) 連携研究者
勝又 政和 (KATSUMATA, Masakazu)
浜松ホトニクス株式会社・中央研究所・部員
研究者番号 : 80394005