

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420554

研究課題名(和文)鉄(VI)酸イオンと紫外線を用いた下水消化汚泥中の有害物質除去手法の開発

研究課題名(英文)Development of a new process for removing toxic substances from anaerobically digested sewage sludge using ferrate ion and UV

研究代表者

伊藤 歩 (Ito, Ayumi)

岩手大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90312511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：下水処理場から生じる消化汚泥を安全な肥料原料に変換するために、酸化剤の一種である鉄(VI)酸カリウムを用いて汚泥中のノニルフェノール(NP)と重金属類の除去を試みた。汚泥の初期pHを3前後に低下し、鉄(VI)酸カリウムを添加することで汚泥中のリンの損失を伴わずにNPを効率的に低減できた。鉄(VI)酸カリウムによるNPの完全な分解(無機化)はわずかであったが、分解副生成物の生分解性はNPに比べて向上する傾向が示された。また、鉄(VI)酸カリウムの添加後に酸処理することで汚泥中の重金属類を効率的に低減できた。以上より、鉄(VI)酸カリウムを用いた方法の有効性が示された。

研究成果の概要(英文)：The removal of nonylphenol (NP) and heavy metals in anaerobically digested sewage sludge was investigated using potassium ferrate as an oxidizer. NP in the aqueous sample was removed with ferrate ion under the weakly acidic conditions more effectively than strongly acidic conditions. The amount of iron required to remove NP was much lower compared to the Fenton process using ferrous ion and hydrogen peroxide. In the sludge sample, almost same amount of iron as the Fenton process was required for NP removal even under the neutral pH condition. The greatest NP removal was achieved at an initial pH of 3.5. As, Cd, Cu and Zn in the sludge were also removed by acidifying the sludge even after the addition of potassium ferrate. These findings suggest that NP and heavy metals could be removed from the sludge by the two-step process composed of oxidation with potassium ferrate and acidification.

研究分野：環境衛生工学

キーワード：下水消化汚泥 資源化 有害物質除去 重金属類 ノニルフェノール 鉄酸カリウム

1. 研究開始当初の背景

下水汚泥は有機物や窒素に加えて、海外からの輸入に依存しているリンを豊富に含んでいる。従って、易分解性有機物をバイオガスに変換し、その残渣を肥料原料として利用することにより、汚泥焼却に伴う温室効果ガス(CO₂やN₂O)排出の抑制とリン資源の持続可能な循環システムの構築が期待できる。しかしながら、下水中の微量な重金属類や内分泌かく乱物質、医薬品などの有害物質の一部は、下水や汚泥の処理過程を通じて汚泥中に濃縮される。重金属に関しては肥料取締法により含有量が規制されているが、近年の肥料価格の高騰に伴い規制値を上回る汚泥肥料が製品化されるケースや、汚泥肥料の使用を敬遠するケースが報告されている。有機化学物質については、国内での規制はないが、内分泌かく乱作用を有するノニルフェノール(以下、NPとする)や発がん性を有する多環芳香族炭化水素などの制限値が欧州で提案されている。特に、NPは汚泥の嫌気性消化を通じて含有量が増加する傾向があり、水質汚濁に係わる環境基準の生活項目として新たに加えられた物質でもある。従って、下水汚泥をより安全・安心な肥料原料に変換するための技術が必要であり、残留性の高い有害物質を効率的に除去できる新規無害化手法を開発する必要がある。

研究代表者は、酸性条件下でのH₂O₂とFeイオンの双方(フェントン試薬)の添加により、消化汚泥中のNPと難溶性重金属を同時に除去できることを示した。しかしながら、その必要量は水試料に比べて50倍程度であったことから、本方法は実用性に乏しいと言える。また、重金属溶出のために汚泥のpHを2程度に低下すると、汚泥中のリンも同時に溶出し、リンの損失に繋がる。従って、汚泥中のリンを溶脱せずに難溶性重金属化合物や難分解性有機化学物質と直接的に反応し、目的物質を効率的に除去できる酸化剤や反応システムを新たに見出す必要がある。

一方、鉄(VI)酸イオン(FeO₄²⁻)は反応後の生成物が無害であり、汚泥脱水性の向上効果を有する酸化剤として注目されている。さらに、紫外線(UV)の照射によって、鉄(VI)酸イオンの酸化反応から供給されるFe(III)イオンの光還元反応が起こり、 $\cdot\text{OH}$ が生じて有機化学物質の分解が促進されると予想される。しかしながら、これらの酸化剤や反応システムを用いた汚泥の無害化については全く検討されていない。また、汚泥中における酸化剤や $\cdot\text{OH}$ による有機化学物質の分解副生成物やその生分解性に関する情報は極めて少ない。

2. 研究の目的

バイオガス回収後の下水消化汚泥について焼却を伴わずに安全・安心な肥料原料に変

換するための新規再資源化システムの開発を最終目標とし、リンの損失を伴わずに下水消化汚泥中の重金属類と有機化学物質を同時に除去するための新規手法を開発する。特に、難溶性重金属化合物と難分解性有機化学物質(対象としてノニルフェノール)を効率的且つ経済的に除去するために、オゾンや過酸化水素を添加せずに、酸化力が強く対象物質と直接的に反応する鉄(VI)酸イオンと紫外線を用いた手法の有効性を明らかにする。さらに、放射性同位体炭素で標識された化合物を用いて有機化学物質の分解メカニズムを把握するとともに、分解副生成物の生分解性を評価し、本手法の有用性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 水試料でのNP分解実験

本実験では、4-NP(関東化学)をメタノールに溶解し、その濃度が1g/LとなるようにNP標準原液を作成した。この原液を超純水でNP濃度が1mg/Lとなるように希釈し、これをNP標準試験液として後述の実験に用いた。

低pH条件下で異なる濃度でのK₂FeO₄によるNP分解について上述のNP標準試験液のpHを希硫酸で2に調整して実験を行った。なお、pHを2に調整するのは、Fe(VI)酸イオンの酸化力が低pH条件で強いことと、汚泥中の重金属も同時に溶出する際にはpHを2程度に低下する必要があるためである。次に、中性条件下でのNPの分解に及ぼすK₂FeO₄の影響を明らかにするために、NP標準試験液のpHを6に調整して実験を行った。また、pHの影響を検討するために、Fe(VI)濃度を5mg/Lに固定し、pHを2、3、3.5、6に調整した。

上記の条件について25℃の恒温室内で1Lの水試料を含むフラスコを120rpmで振とうし、経時的に試料を5mLずつ採取した。採取試料に、NP分解を停止させるためメタノール2mLと、抽出溶媒であるジクロロメタン1mLを加え、液液抽出を行った。分取したジクロロメタン層に内標準物質(アントラセンd-10(関東化学))と誘導体化試薬(N,O-ビストリフルオロアセトアミド、和光純薬工業)を添加した後、GC-MS(Agilent: 7890A/5975C)で測定した。以上の分析は下水試験方法(追補暫定版)に従った。

(2) 汚泥試料でのNP分解実験

本研究に用いた下水汚泥は、盛岡市内の下水処理場から採取した嫌気性消化脱水汚泥(含水率:80%)である。この汚泥を超純水で固形物濃度が2%(w/v)となるよう調整し、振とうフラスコに500mLとなるよう採取し、初期pHを安定化させるためと、脱水汚泥を均一に分散させるために、25℃の恒温室内において120rpmで1日程度振とうした。この時の汚泥pHは7であった。

汚泥試料の初期pHを希硫酸により2に調整し、上述のK₂FeO₄溶液を添加し、25℃の恒

温室内において 120 rpm で振とう後、3 時間目に試料を 0.2g-dry になるよう採取した。また、pH を 2 に調整して H₂O₂ 溶液と FeSO₄ 溶液を併用したフェントン反応による NP 分解に関する過去の研究成果と、Fe(VI)酸イオンによる分解との比較を行った。

次に、初期 pH を 7 とした場合での NP の分解に及ぼす Fe(VI)濃度の影響を明らかにするために、Fe(VI)濃度として 0.1、0.5 および 1 g/L となるように添加し、上述と同様の方法及び条件で振とうし、経時的に試料を採取した。さらに、NP 分解に及ぼす初期 pH の影響を明らかにするために、汚泥の pH を希硫酸により 2~7 に調整し、Fe(VI)濃度として 0.5 g/L となるように添加し、振とうを行い、3 時間後に試料を採取した。

採取した汚泥 0.2 g-dry にメタノールを 10 mL 添加し、マイクロウェーブ(マイルストーンゼネラル:ETHOS TC-II)による抽出を行った。その後、放冷、遠心分離し、上澄みを採取した。この操作を 2 回繰り返した。残った汚泥はガラス繊維ろ紙(東洋濾紙:GS-25)でろ過し、2 回分の抽出液とろ液を合わせて NP 抽出液とした。この抽出液についてメタノール濃度を、超純水で約 30%まで薄めた後、ジクロロメタンに溶解させて液液抽出を行った。分取したジクロロメタン層を必要に応じて高純度窒素ガス(純度 99.999%以上)で濃縮した。その後は水試料中の NP 分解実験と同様に、GC-MS で NP 濃度を測定した。

(3) 汚泥試料での重金属の溶出実験

実験材料は(2)で述べた汚泥を用いた。汚泥中の重金属およびリンの含有量の分析は、汚泥を硝酸と塩酸による分解法で前処理した後、Cu、Ni、P、Zn を ICP 発光分析装置(島津:ICPE-9000)、As、Cd、Pb を ICP 質量分析装置(Thermo Fisher Scientific:iCAP Qc)により行った。表-1 に汚泥中の重金属及びリンの含有量を示す。

表-1 汚泥中の重金属・リンの含有量(単位:mg/kg-dry)

As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	P
6.8	1.7	301	38	24	852	31,000

Fe(VI)酸イオンによる NP 除去の後に重金属類を溶出除去することを想定し、以下の実験を行った。まず、希硫酸により汚泥の pH を NP の除去に適した 3.5 に調整し、1 日振とうした。その後、K₂FeO₄ 溶液を Fe(VI)濃度として 0.5 g/L となるように添加し、3 時間振とうした。続けて、重金属を溶出するために pH を 2 に調整し、6 時間後と 12 時間後に試料を採取した。なお、比較のために K₂FeO₄ 溶液を添加せずに pH を 2 に低下させて 24 時間振とうした条件についても試験した。

試料を遠心分離(10,000 rpm、10 分間)し、その上澄みを孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過した。ろ液を硝酸と塩酸によ

る分解法により前処理した後、上述と同様の方法により重金属類の分析を行った。

(4) ¹⁴C で標識された NP の分解実験

NP の無機化の有無を追跡する手法として、¹⁴C で標識された NP と ¹²C から構成される通常の NP を混合した試料を反応容器に採取し、K₂FeO₄ 溶液を添加して NP の分解実験を行った。なお、¹²C で構成される NP の濃度を 1 mg/L、鉄(VI)酸カリウム濃度を 0.1 g/L に設定した。その際、図-1 に示す実験装置を用いて標識化合物の分解生成物である ¹⁴CO₂ を NaOH 溶液に捕集し、¹⁴C の放射線量を液体シンチレーションカウンタで測定し、NP の CO₂ への分解量を把握した。NP の標識化合物は、ベンゼン環を構成する 6 つの炭素が ¹⁴C で標識されていることから、NP を構成するベンゼン環の無機化の有無を明らかにできる。また、分解後の試料に活性汚泥を加え、その後の ¹⁴CO₂ の捕集量を分析し、生分解性を評価した。

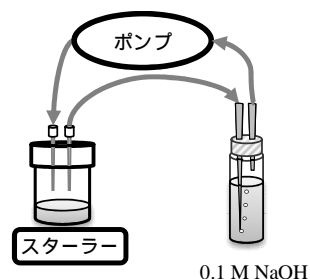


図-1 ¹⁴C 標識化合物を用いた分解実験装置

(5) 自作の K₂FeO₄ 溶液と紫外線を用いた水中の NP 分解実験

本研究開始後に K₂FeO₄ の製造が中止されたため、KOCI 溶液、KOH 及び Fe(NO₃)₃・9H₂O を用いた湿式法により K₂FeO₄ 溶液(Fe 濃度 20 g/L)を作成し、この溶液についても水試料中の NP の分解効果を試験した。上述の NP 標準試験液(NP 濃度:1 mg/L、初期 pH:6)に自作の K₂FeO₄ 溶液を Fe 濃度として 0.1、0.5、1.0、2.0 mg/L となるようにそれぞれ添加し、上述の水試料中の NP 分解実験と同様に試験した。

また、主波長 254 nm の波長の紫外線を放射する殺菌ランプ(東芝、GL10、10W)を用いて、紫外線照射のみ、紫外線照射と K₂FeO₄ 溶液の添加、K₂FeO₄ 溶液の添加のみの 3 条件で NP 分解実験を行った。

4. 研究成果

(1) 水試料における NP 分解実験

図-2 に初期 pH を 2 として Fe(VI)添加量を変化させた場合での水試料中の NP 濃度の経時変化を示す。C₀ は初期濃度を示し、C は任意の時間の濃度である。Fe(VI)濃度 10 mg/L の場合では NP 濃度は緩やかに減少したものの、無添加の条件とほとんど変わらなかった。50 mg/L の濃度では添加後 5 分で NP 濃度が減少したが、半分以上残留した。Fe(VI)の添加量を 100 mg/L 以上とした場合では、添加後 5 分で NP 除去率は約 90%に達した。

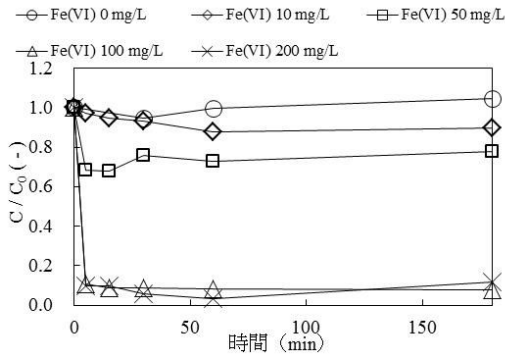


図-2 初期 pH 2 で Fe(VI) 添加量を変化させた場合での水試料中の NP 濃度の経時変化

図-3 に初期 pH 6 で Fe(VI) 濃度を変化させた場合での NP 濃度の経時変化を示す。Fe(VI) 濃度が 0.5 mg/L の場合では NP 除去率が 90% に達した。pH は Fe(VI) を 10 mg/L となるように添加した場合で 10 程度に上昇し、塩基性条件であっても NP の分解が起こり、酸性条件の場合よりも効率的に NP が分解されることが分かった。

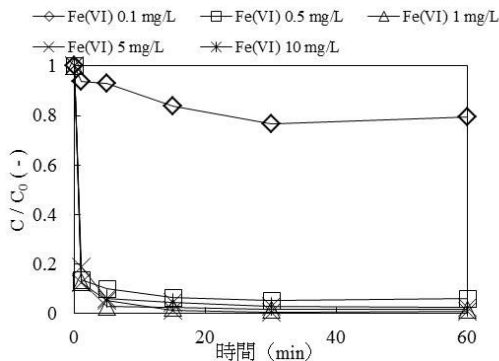


図-3 初期 pH 6 で Fe(VI) 添加量を変化させた場合での水試料中の NP 濃度の経時変化

図-4 に初期 pH を変化させて Fe(VI) 量を 5 mg/L とした場合での水試料中の NP 濃度の経時変化を示す。初期 pH が 3.5 と 6 の 2 条件では、 K_2FeO_4 溶液の添加後 5 分で NP 濃度は初期濃度の 10% 近くにまで減少し、中性条件においても NP の分解が生じることが分かった。pH 3 では除去率は約 60% であり、pH 2 ではほとんど除去することはできなかった。

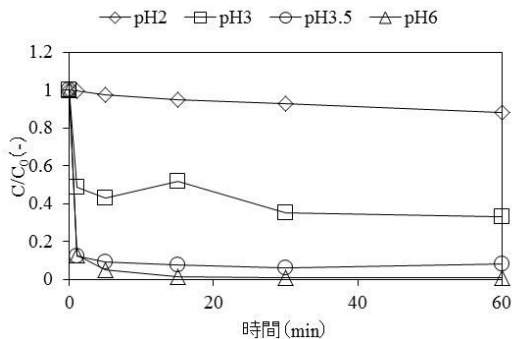


図-4 Fe(VI) 量 5 mg/L で初期 pH を変化させた場合での水試料中の NP 濃度の経時変化

(2) 汚泥試料での NP 分解実験

図-5 に初期 pH を 2 として K_2FeO_4 溶液を用いた場合とフェントン反応試薬 (Fe(II) と H_2O_2 の併用) を用いた 3 時間の分解実験における Fe 添加量に対する NP 除去量の比較を示す。汚泥中の初期 NP 含有量は乾燥汚泥 (DS) 重量換算で前者が約 4.6 mg/kg、後者が約 2.7 mg/kg であり、比較は難しいが、フェントン反応での最大除去量は Fe(II) 濃度が 0.82 g/L の時に 3.15 mg/kg-DS であり、除去率は 68% を示した。しかしながら、0.82 g/L 以上の添加を行うと、除去量は低下した。それに対し、Fe(VI) の場合では、添加量の増加につれ、除去量も増加し、最大除去量は Fe(VI) 濃度が 5 g/L の時に 2.1 mg/kg であり、除去率は 80.2% を示した。フェントン反応試薬での最適 Fe 添加量は 1 g/L 程度であり、 K_2FeO_4 を用いた場合でも Fe として 1 g/L 程度の添加量で汚泥中の NP 含有量を低減できた。

Fe(VI) 酸イオンは汚泥中の有機物による消費が考えられ、酸化力はヒドロキシルラジカルに劣るが、本方法の場合は直接的な NP との反応が期待でき、添加した薬品が NP 分解に有効に利用される割合はフェントン法に比べて高いと考えられる。したがって、Fe(VI) 酸イオンはフェントン反応試薬の代替試薬として有用であると言える。

○初期 NP 含有量: 4.6 mg/kg, Fe(II)+ H_2O_2 (5 g/L)

□初期 NP 含有量: 2.7 mg/kg, Fe(VI)

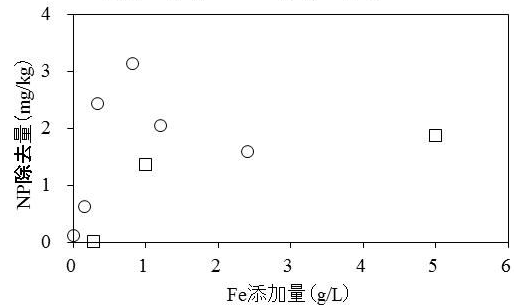


図-5 初期 pH を 2 として K_2FeO_4 またはフェントン反応試薬を添加した場合での汚泥試料の NP 除去量の比較

図-6 に初期 pH を 7 として K_2FeO_4 溶液を添加した場合での汚泥中の NP 含有量の経時変化をそれぞれ表す。なお、時間 0 での含有量は K_2FeO_4 溶液を添加する前の値であり、エラーバーは分析試料数を 3 とした場合での標準偏差を示している (以下、同様である)。Fe(VI) を 0.1 g/L 添加した条件では、pH が上昇したものの、NP の含有量は実験開始から終了までほとんど変わらなかった。Fe(VI) を 0.5 g/L あるいは 1 g/L 添加した場合、 K_2FeO_4 溶液の添加直後では、試料中の NP 含有量の変化に差がみられたが、3 時間目以降では NP 含有量に大きな違いは無かった。上述の水試料の場合では初期 pH を 2 から 6 に変えることで NP の除去に必要な Fe(VI) 添加量を著しく低減できたが、汚泥試料ではフェントン反応試薬の場合とオーダー的に同程度の Fe 添

加量が必要であることが分かった。さらに、実際の消化汚泥では脱水汚泥に比べて多くの有機物が存在しており、より多くの鉄酸カリウムを添加する必要があると考えられる。

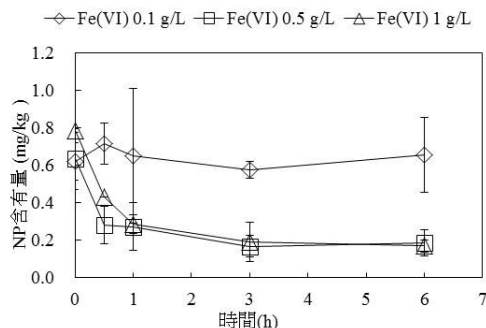


図-6 初期 pH 7 で Fe(VI) 量を変化させた場合での汚泥試料中の NP 含有量の経時変化

図-7 に初期 pH を変化させて Fe(VI) の添加量を 0.5 g/L とした場合での汚泥中の NP 含有量および NP 除去量を示す。ここでは、 K_2FeO_4 溶液の添加前および添加後 3 時間目の汚泥中の NP 含有量を棒グラフで示し、添加前後での NP 含有量の差を NP 除去量として折れ線グラフで示した。まず、 K_2FeO_4 溶液の添加前での pH の低下により NP の含有量が増加した。これは汚泥中のノニルフェノールエトキシレートのような NP 前駆体が pH 調整に用いた硫酸によって NP に分解されたためと考えられるが、詳細については今後検討する必要がある。NP 除去量は初期 pH が 3.5 の場合に最大値の 0.96 mg/kg を示し、除去率は約 80% となった。Fe(VI) を添加し 3 時間後での NP 含有量は初期 pH 2.5 以上の条件において、初期 pH が 7 の場合で Fe(VI) を添加する前の含有量を下回った。一方、初期 pH が 3.5 よりも低くなると、水試料の場合と同様に除去量が減少する傾向を示し、効率が低下することが分かった。初期 pH が 7 の場合では 3 時間後の NP 含有量が初期 pH 3.5 の条件よりも低下すると考えられたが、同程度であった。以上の結果から、本実験で使用した汚泥中の NP 除去に対する最適な初期 pH は 3.5 であると考えられる。

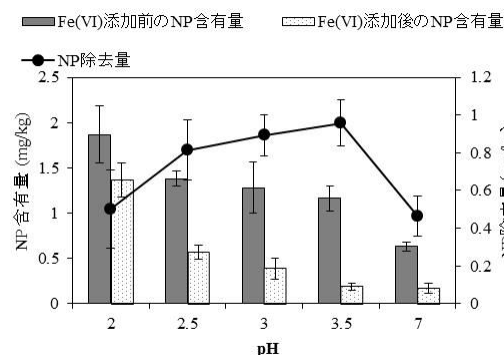


図-7 Fe(VI) 量 0.5 g/L で初期 pH を変化させた場合での NP 含有量および NP 除去量

(3) 汚泥試料での重金属溶出実験

汚泥中の重金属類は pH の低下によって効率的に除去されるが、その後に K_2FeO_4 溶液を添加すると pH が上昇し、溶出した重金属類が再沈殿することを予備実験で確認している。そこで、汚泥から NP と重金属類の双方を除去することを考慮し、本研究では 1 段目で K_2FeO_4 溶液を加えて NP を除去し、2 段目で汚泥を酸性化して重金属類を溶出除去する 2 段階の処理システムを想定した。

図-8 に K_2FeO_4 溶液を添加せずに pH を 2 に調整した条件と K_2FeO_4 溶液を添加 (Fe(VI) : 0.5 g/L) した後に pH を 2 に調整した条件での重金属類およびリンの溶出率の比較を示す。 K_2FeO_4 溶液の添加後に pH を 2 に調整した条件では、pH 低下のみの条件に比べて、Pb の溶出率は低くなったが、As、Cd、Cu および Zn の溶出率は同等以上となった。P は K_2FeO_4 を添加することで pH 低下のみの条件に比べて溶出率を低く抑えることができた。

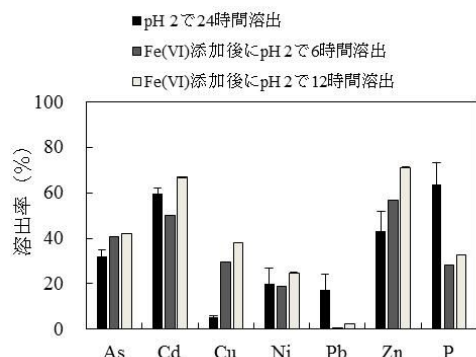


図-8 K_2FeO_4 添加の有無による pH 2 での汚泥からの重金属類およびリンの溶出率

以上の結果から、下水消化汚泥に K_2FeO_4 溶液を添加した後に汚泥を酸性化する 2 段階の処理によって NP と重金属類の双方を除去できる可能性が示された。

(4) ^{14}C で標識された NP の分解実験

^{14}C で標識された NP を含む溶液に K_2FeO_4 溶液を添加した場合での NaOH 溶液への $^{14}CO_2$ の捕集量はわずかであり、Fe(VI) 酸イオンによる NP の完全な無機化はほとんど起こっておらず、分解副生成物が残存していると考えられる。 K_2FeO_4 溶液を添加した後の NP 溶液と K_2FeO_4 溶液を添加しない NP 溶液に活性汚泥を接種し、その後の $^{14}CO_2$ 量を分析したところ、 K_2FeO_4 溶液を添加した条件で $^{14}CO_2$ の捕集量は高くなる傾向が示された。この結果は、 K_2FeO_4 溶液を添加した場合、NP の分解副生成物は NP に比べて生分解性が高くなる可能性を示唆するが、全体量に比べて ^{14}C の回収率は非常に低く、今後、更なる検討が必要である。

(5) 自作の K_2FeO_4 溶液と紫外線を用いた水中の NP 分解実験

図-9 に自作の K_2FeO_4 溶液を添加した場合での水試料中の NP 濃度の経時変化を示す。上

述の市販の K_2FeO_4 の溶液を用いた条件も併せて示した。Fe 濃度が 0.1 mg/L の条件では、NP は分解されなかったが、他の条件では NP は分解された。1.0、2.0 mg/L の条件では、標準品に比べて時間はかかるものの NP 分解率はほぼ 100%であり、自作の K_2FeO_4 の溶液を用いて NP を除去できることが分かった。

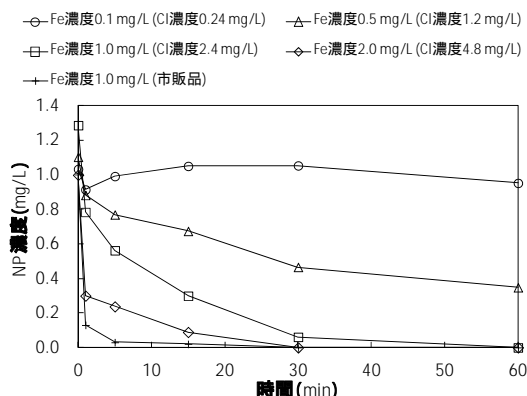


図-9 自作の K_2FeO_4 溶液を添加した場合での水試料中の NP 濃度の経時変化

図-10 に紫外線を照射した場合での水試料中の NP 濃度の経時変化を示す。実験初期において紫外線照射と K_2FeO_4 溶液添加の条件において他の 2 条件に比べて NP 濃度の減少が早まる結果も得られたが平均すると大きな違いはみられず、本実験条件では紫外線と K_2FeO_4 溶液の併用効果はみられなかった。

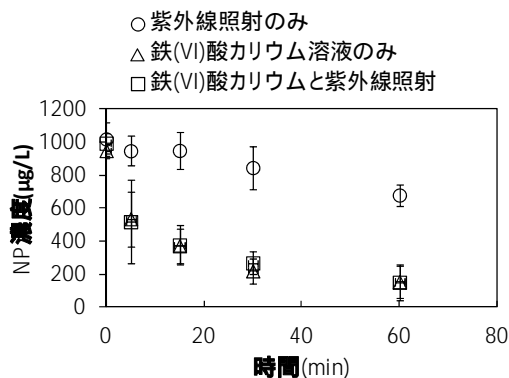


図-10 紫外線を照射した場合での水試料中の NP 濃度の経時変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

真嶋遊、松村直人、伊藤歩、石川奈緒、海田輝之、鉄(VI)酸カリウムを用いた下水消化汚泥中のノニルフェノールと重金属類の除去、土木学会論文集(G)(環境)、査読有り、71 巻 7 号、2015、189-197

〔学会発表〕(計 8 件)

野田悠介、真嶋遊、笹本誠、石川奈緒、伊

藤歩、海田輝之、次亜塩素酸カリウムと硝酸第二鉄の混合液によるノニルフェノールの分解、2015 年度土木学会東北支部技術研究発表会、2016.3.5、岩手大学(岩手県)

真嶋遊、松村直人、伊藤歩、石川奈緒、海田輝之、鉄(VI)酸カリウムを用いた下水消化汚泥中のノニルフェノールと重金属類の除去、土木学会第 52 回環境工学研究フォーラム、2015.11.27~2015.11.29、日本大学工学部(福島県)

真嶋遊、松村直人、石川奈緒、伊藤歩、海田輝之、鉄(VI)酸イオンによる下水消化汚泥中のノニルフェノール・重金属類の除去に関する研究、2014 年度土木学会東北支部技術研究発表会、2015.3.10、東北学院大学(宮城県)

Ayumi Ito, Naoto Matsumura, Nao Ishikawa, Teruyuki Umita, Removal of nonylphenol and heavy metals from anaerobically digested sewage sludge using ferrate ion, IWA World Water Congress and Exhibition, 2014.9.20, Lisbon Congress Center (Lisbon, Portugal)

松村直人、佐藤洸樹、伊藤歩、石川奈緒、海田輝之、鉄(VI)酸イオンを用いた下水消化汚泥中の有害物質除去に関する研究、日本下水道協会第 51 回下水道研究発表会、2014.7.22~2014.7.24、大阪アカデミア(大阪府)

N. Matsumura, K. Sato, A. Ito, N. Ishikawa, T. Umita, Removal of toxic substances in anaerobically digested sewage sludge using ferrate ion, 日本水環境学会 Water and Environment Technology Conference (WET2014), 2014.6.28 ~ 2014.6.29 (Tokyo)

佐藤洸樹、松村直人、伊藤歩、石川奈緒、海田輝之、鉄(VI)酸イオンによる下水汚泥中の有害物質除去に関する研究、2013 年度土木学会東北支部技術研究発表会、2014.3.8、八戸工業大学(青森県)

松村直人、阿部悟、伊藤歩、石川奈緒、海田輝之、鉄(VI)酸イオンによる下水汚泥中の有害物質除去に関する研究、土木学会第 50 回環境工学研究フォーラム、2013.11.19~2013.11.21、北海道大学(北海道)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 歩 (Ito, Ayumi)
岩手大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号：90312511

(2) 研究分担者

石川 奈緒 (Ishikawa, Nao)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号：10574121