

下水処理場水処理工程でのN₂Oフラックスに関する調査

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター 第三技術班
技術職員 大友 渉 平

1. はじめに

下水処理場の水処理工程において発生する温室効果ガスの一つに亜酸化窒素(N₂O)がある。N₂Oは処理工程や処理状況の違いに加えて通日、通年での気温変化によって生成ポテンシャルが大きく異なることが知られている¹⁾。そのため、各処理場における発生量(フラックス)の把握とともに、削減対策効果の評価を行い、下水道温暖化防止計画策定を進めていかなければならない²⁾。また、N₂Oは20℃での溶解度係数が0.675と水に溶けやすい性質を持つため³⁾、処理水に溶存して系外に排出される溶存態N₂O(DN₂O)についても、ガス態N₂O(GN₂O)と同様に評価の対象となる可能性がある。

そこで本研究では疑似嫌気好気活性汚泥法で下水処理を行うA浄化センター水処理工程において2014年9月、12月に通日試験を行い、溶存態も含めたN₂Oフラックスの傾向を解析した

2. 方法

2.1 下水処理場諸元

A浄化センターは計画処理人口71,700(人)、流入下水水量27,000(m³/日)(H24実績)であり、水処理工程は沈砂池、最初沈殿池、反応槽、最終沈殿池、消毒槽からなる。反応槽を流下方向で4つに区切ると、第一槽、第二槽は弱曝気の無酸素槽、第三槽、第四槽は好気槽になっており、標準活性汚泥法と比べ汚泥返送率を高くすることで、硝化脱窒反応を促進する疑似嫌気好気活性汚泥法で窒素処理を行っている。

2.2 調査方法

図1にA浄化センターの下水処理工程と調査地点を示す。調査は2014年9月2～3日、12月3～4日に実施し、いずれも一日目は13、15、17時に、二日目は9、11、13時に各調査地点においてサンプルを採取した。第三槽末端、第四槽末端からはガスサンプルと水サンプル、処理水からは水サンプルを採取し、サンプルの採取方法は既往の研究にしたがった⁴⁾。

2.3 分析項目および解析方法

水質は、実験室において、TOC、DOC、T-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pを分析した。

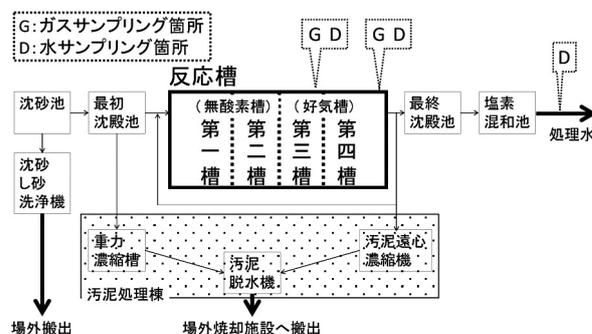


図1 A浄化センターの下水処理工程と調査地点

また、調査現場では水温、DO、pHを測定した。

TOCおよびDOCはTOC-LCSH(shimadzu.co), T-NおよびT-Pはオートアナライザー AA-II(BLTEC), NH₄-N、NO₂-N、NO₃-NおよびPO₄-PはQuAAtro2-HR(BLTEC)を用いて分析した。また、DOはHQ30d(HACH), pHはHM-30P(TOADKK), 水温はこれら両者を用いて測定した。

GN₂OはECDガスクロマトグラフ(shimadzu.co)を使用して分析し、カラムはporapakQを使用した。

DN₂Oの測定は既往の方法にしたがい、ヘッドスペース法で行った⁵⁾。調査現場において60mlプラスチックシリンジに試料水22mlを採取し、微生物による反応を防ぐために殺菌剤(グルコン酸クロルヘキシジン5%溶液)3mlを添加・封入した。実験室に運搬した後、アルゴンガス25mlを封入し、ヘッドスペース法を用いて測定した。気液平衡の条件は20℃・1時間以上とし、気液平衡後に気相部のN₂O濃度を分析した。

GN₂OおよびDN₂Oフラックスは、濃度の平均値に各調査地点の曝気量もしくは水流量を乗じて算出した。なお、本研究ではIPCCの第5次評価報告書に基づき、N₂Oの温室効果ポテンシャルを298として⁶⁾、フラックスを全てCO₂換算して算出した。

3. 結果および考察

図2に反応槽由来のGN₂Oと処理水中のDN₂Oフラックス経時変化を示す。ここで既往の研究より、反応槽由来のGN₂OフラックスはA浄化センター水

処理工程における全GN₂Oフラックスとほぼ同程度であったことをふまえ、測定したGN₂Oと処理水中のDN₂Oフラックスを合わせて全N₂Oフラックスとした⁴⁾。これより、GN₂O、DN₂Oともに9月に比べ12月のほうが概ね高い値を示し、同時刻に計測したGN₂Oフラックスを比べると2.8~23.8倍になった。A浄化センターにおける全N₂Oフラックスは日平均値で9月が0.20tCO₂/d、12月が1.53tCO₂/dであった。さらに、全N₂Oに占める処理水中のDN₂Oフラックスの割合は、日平均値を使って算出した場合、2014年9月が18%、12月が8%となった。

図3に9月、12月における反応槽と処理水中のDN₂O濃度経時変化を示す。これより、12月における反応槽と処理水中のDN₂O濃度はどの時間においても概ね9月に比べ高い値を示した。また、2014年9月、12月における反応槽平均水温は24.9±0.10℃、17.4±0.27℃で、そのときの大気平衡濃度はそれぞれ0.20μgN₂O-N/l、0.27μgN₂O-N/l³⁾である。反応槽の日平均濃度はそれぞれ4.34μgN₂O-N/l、22.91μgN₂O-N/lであったため、DN₂Oは約20~80倍過飽和状態であった。

ここで、N₂Oの発生メカニズムは硝化、脱窒両方の反応条件に依存するため複雑であり、前駆物質であるNO₂-NやNH₄-N、NO₃-Nなどの無機態窒素(DIN)の挙動を評価することが重要である¹⁾。

図4に9月、12月の反応槽における一日目、二日目の平均DIN濃度を示す。これより、9月の一日目と二日目はいずれも流下方向に進むにつれてNH₄-N濃度が減少し、NO₃-N濃度が増加していることから、アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌(NO_B)による硝化反応が進行していたと考えられる。12月の二日目は9月と同様の傾向を示したのに対して、一日目はNO₃-N濃度が第三槽、第四槽ともに他と比べて値が低かった。これはNO₃-Nの好気性脱窒の促進、もしくはNO_Bの硝化速度が低下したためと考えられる。これらの反応槽内における処理状況の違いにより、DN₂Oの前駆物質であるNO₂-N濃度が9月の一日目、二日目、12月の一日目、二日目の日平均値で0.03±0.01mg/l、0.02±0.01mg/l、0.15±0.02mg/l、0.08±0.02mg/lと違いが生じ、反応槽におけるDN₂O濃度およびN₂Oフラックスに影響を及ぼしたと推察される。

参考文献

1) 増田周平, 西村 修, 水処理工程におけるN₂Oの発生特性, 用水と廃水, 52(3), 213-226, 2010

2) 下水道における地球温暖化防止対策検討委員会, 下水道における地球温暖化防止推進計画 策定の手引き, 2009
 3) 日本化学会編, 化学便覧改訂2版, 丸善, 1975
 4) 大友渉平, 増田周平, 千種将史, 丸尾知佳子, 西村 修, 疑似嫌気好気法を行う下水処理場で発生する溶存態亜酸化窒素の通日調査, 平成25年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集CD-ROM, VII-44, 2014
 5) 農業環境技術研究所, ヘッドスペースガス分析による溶存亜酸化窒素測定法, 1999
 6) IPCC第五次評価報告書, 2015

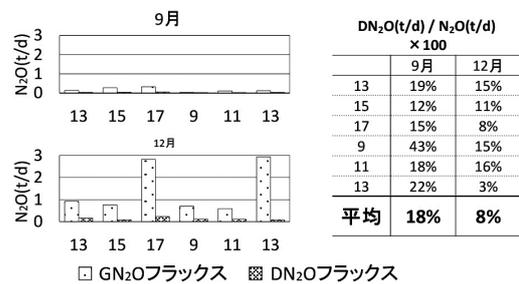


図2 反応槽由来のGN₂Oと処理水中のDN₂Oフラックス経時変化

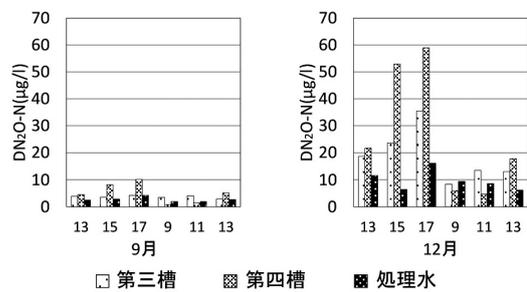


図3 9月、12月における反応槽と処理水のDN₂O濃度経時変化

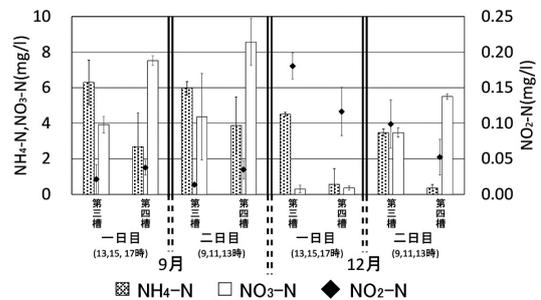


図4 9月、12月の反応槽における一日目、二日目の平均DIN濃度