

〈研究発表〉

超高負荷接触酸化法による下水中級処理およびその温室効果ガス排出状況

橋 本 晶 平¹⁾, 戚 偉 康²⁾, 北 條 俊 昌³⁾, 李 玉 友⁴⁾

¹⁾ 東北大学大学院環境科学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20 E-mail: hashimoto@ep11.civil.tohoku.ac.jp)

²⁾ 東北大学大学院環境科学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20 E-mail: qiwk@ep11.civil.tohoku.ac.jp)

³⁾ 東北大学大学院工学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 E-mail: hojo@ep11.civil.tohoku.ac.jp)

⁴⁾ 東北大学大学院工学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 E-mail: yyli@ep11.civil.tohoku.ac.jp)

概 要

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響で従来の下水処理が不可能となった下水処理場では完全復旧までの間、超高負荷接触酸化法による下水の中級処理を行っている。本研究ではその下水処理場を対象に現在の下水処理状況を調査し中級処理の運転性能評価を行った。その結果、処理水質は改善傾向にあり、60 mg-BOD/L の目標値を満たす運転が可能であることが確認された。また処理プロセスからの温室効果ガス排出量の調査も行い、温室効果ガス排出状況に関して震災前の処理方式である擬似 AO 法との比較を行った。その結果、N₂O 排出係数は震災前と比較して非常に大きな値を示していることが明らかとなった。

キーワード：接触酸化法、超高負荷、中級処理、温室効果ガス

1. は じ め に

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災によって様々な施設が甚大な被害を被った。M 浄化センターもその一つであり、現在従来の下水処理を行うことが不可能な状況となっているが、長期に渡る復旧工事期間中においても約 70 万人分の下水を適切に処理する必要がある。震災直後の平成 23 年 3 月 18 日から簡易処理と消毒による下水処理を行っていたが、平成 24 年 1 月末から接触酸化法を用いた中級処理を行っている。中級処理では、震災後も使用可能であった前曝気槽を曝気槽として使用し、同じく使用可能であった最初沈殿池を最終沈殿池として使用して最後に塩素消毒を施して放流する処理フローとなっている (Fig. 1)。限られた施設を使用して運転を行っているため BOD 容積負荷が約 6 kg-BOD/m³・日という非常に高負荷での処理を余儀なくされている状況である。

また世界的な気温の上昇現象を受け地球温暖化を防止するために、その原因とされている温室効果ガス (Greenhouse Gases; GHGs) 排出量削減の取り組みが各分野で行われており、下水道分野もその一つである。下水道事業の 2010 年度の GHGs 排出量は 680 万 t-CO₂ であり、日本全体の GHGs 排出量の約 0.5% にあたる。下水処理事業において排出される GHGs は、二酸化

炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、亜酸化窒素 (N₂O) の 3 種類である。CH₄ と N₂O はそれぞれ CO₂ の 21 倍、310 倍の温室効果を持ち、その排出量は水処理方式や季節、運転条件によって異なると考えられる¹⁾が現状の M 浄化センターのような超高負荷運転を行っている接触酸化法の水処理過程からの GHGs 排出量に関する知見はこれまでにない。

そこで本研究では、超高負荷条件下で運転されている接触酸化法による下水の中級処理性能を明らかにすることを目的として現在の M 浄化センターの現地調査を行い、処理過程の水質分析を行った。また、超高負荷接触酸化法の水処理過程から排出される GHGs

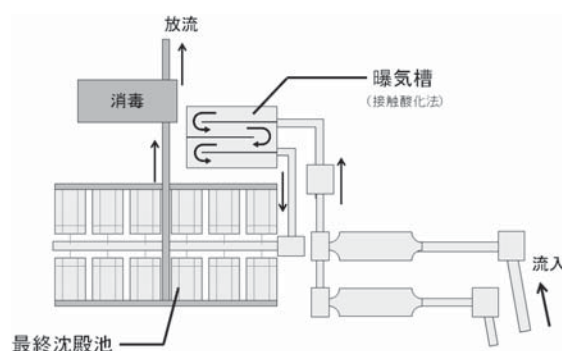


Fig. 1 The Secondary Treatment Process after Great East Japan Earthquake and Tsunami

に関しても調査を行い、震災前の処理方式である擬似AO法におけるGHGs排出状況²⁾との比較を行った。

2. 中級処理の性能調査について

2.1 対象とした処理場

現在のM浄化センターの処理方式は接触酸化法であり、処理下水量は約270,000 m³/日である。曝気槽の滞留時間は50分であり放流水のBODは、被災直後の簡易処理時点では120 mg/Lであったが、現在の中級処理では60 mg/L以下を目標として稼働している。またBOD容積負荷は約6 kg-BOD/m³・日であり一般的な標準活性汚泥法に比べて10倍程度の超高負荷運転が行われている。

2.2 サンプルング箇所

下水サンプルとガスサンプルの調査箇所をFig. 2に示した。下水は流入水(2か所)、曝気槽入口、曝気槽(5か所)、曝気槽出口、沈殿池(2か所)、放流水の計12か所でサンプルングを行った。ガスサンプルは既往の調査から水処理過程で多くのGHGsが排出される曝気槽(5か所)および沈殿池(2か所)でサンプルングを行った。

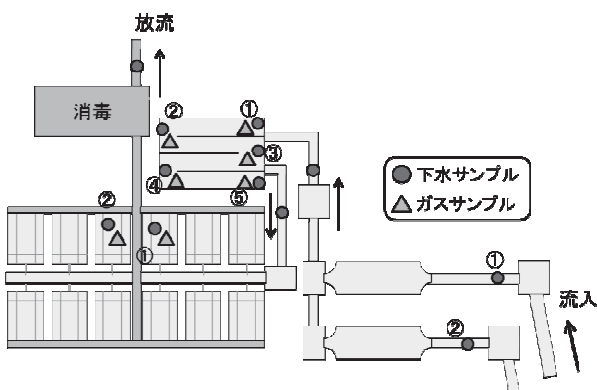


Fig. 2 Sampling Point in this Study

2.3 分析方法

調査は2014年2月14日、3月14日、3月25日の計3回行い、晴天時におけるデータの採取を行った。水質分析は下水試験方法(COD_{Mn}, BOD, T-N, T-P)およびAPHA Standard methods(COD_{Cr})に従って分析を行った。ガスサンプルは、オープンチャンバー法もしくはクローズドチャンバー法により採取した。設計したチャンバーの概要をFig. 3に示す。曝気が行われている曝気槽ではオープンチャンバー法によりガスを採取し、曝気が行われていない静水面からガスを採取するためにクローズドチャンバーを用いた。採取したガスはガスクロマトグラフを使用してCH₄, N₂Oの分析を行った。また、各サンプルング箇所に

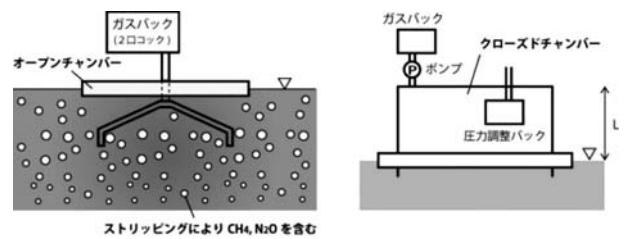


Fig. 3 Open Chamber and Closed Chamber

において下水中の溶存態CH₄(D-CH₄)及び溶存態N₂O(D-N₂O)について測定を行った。測定はCH₄とN₂Oのオストワルド溶解度係数を用いてヘッドスペース法³⁾により溶存態ガス濃度を算出した。

3. 調査結果および考察

3.1 水質調査結果

(1) COD除去状況

各測定箇所における全COD(T-COD)をCOD_{Mn}とCOD_{Cr}について測定し、それぞれの結果をFig. 4とFig. 5に示した。放流水のCOD_{Cr}濃度は100 mg/L前後であり、流入COD_{Cr}の約70%が除去された。また放流COD_{Mn}の濃度は60 mg/L前後であり、流入COD_{Mn}の約50%が除去された。

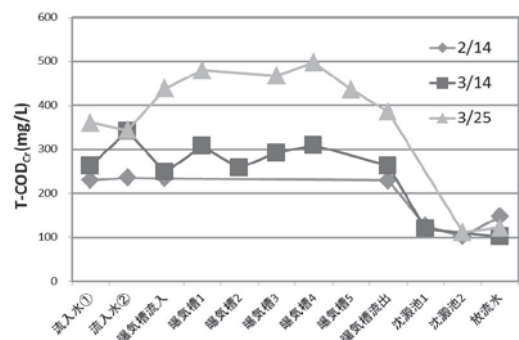


Fig. 4 The Removal Situation of T-COD_{Cr} in the Water Processing Process

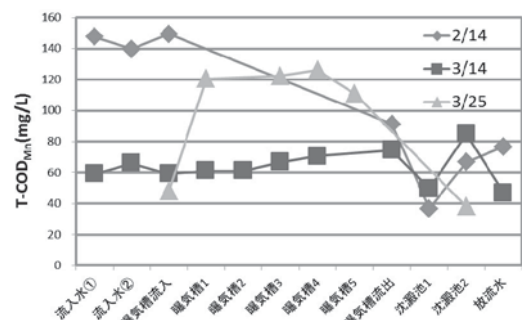


Fig. 5 The Removal Situation of COD_{Mn} in the Water Processing Process

(2) 震災前後のBOD濃度の推移

震災前の平成22年度と震災後の各年度における放

流水の平均 BOD 濃度の推移を Fig. 6 に示した。平成 26 年度の値は著者らが行った平成 26 年 7 月の調査速報値 (51 mg/L) であり、それ以外の値は仙台市ホームページ⁴⁾および Qi ら⁵⁾の調査結果から引用した。震災前の処理水質は 8.7 mg/L と良好な運転であったが、平成 22 年度末に震災が起り放流水 BOD 濃度は 100 mg/L 以上となった。しかし平成 23 年度末から接触酸化法による中級処理が導入されて以降、放流水の水質は改善傾向が見られ、現在は放流水の目標値である 60 mg/L を概ね満たす運転が行われていることがわかる。

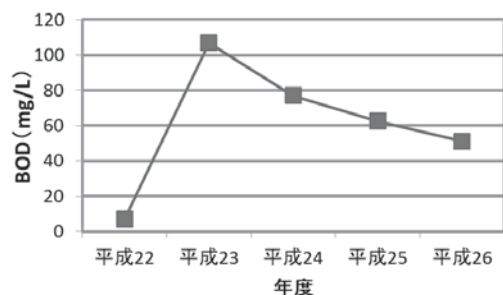


Fig. 6 Change of BOD after the Earthquake

(3) 窒素・リンの処理状況

2月14日の調査において流入水①、流入水②、曝気槽入口、曝気槽出口、沈殿池①、沈殿池②、放流水に関して T-N と T-P の測定を行い、その結果を Fig. 7 に示した。流入水の T-N, T-P 濃度はそれぞれ 44 mg/L, 3.7 mg/L であった。放流水の T-N, T-P 濃度は 22 mg/L, 1.4 mg/L であり超高負荷接触酸化法において T-N および T-P はそれぞれ約 50% と約 65% が除去可能であることが明らかとなった。また、平成 22 年度から平成 25 年度の T-N および T-P の推移⁴⁾を Fig. 8 に示す。T-N, T-P についても BOD と同様に震災以降処理水質が改善されており、従来の擬似 AO 法に近い処理性能であることが確認された。

3.2 GHGs 排出量調査結果

(1) CH₄ 排出量の算定

ガスクロマトグラフにより測定されたガス濃度から単位処理水量あたりの GHGs 排出量である排出係数

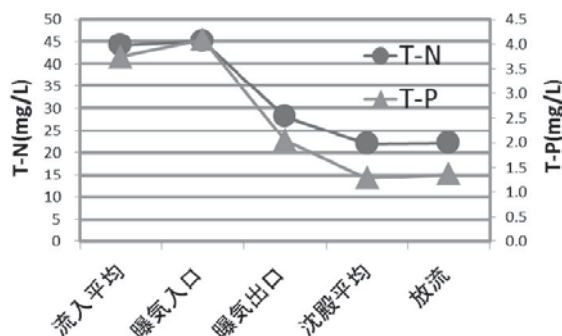


Fig. 7 The Disposal Situation of Nitrogen and Phosphorus in the Water Processing Process

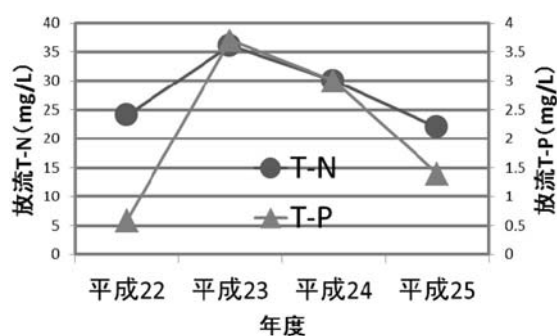


Fig. 8 Change of the T-N and T-P after the Earthquake

(g-CH₄/m³) を求めた。曝気槽および最終沈殿池における CH₄ 排出係数を Fig. 9, Fig. 10 にそれぞれ示す。曝気槽では 5 か所、最終沈殿池では 2 か所においてサンプリングを行い、それらの平均値を算出して使用した。曝気槽における CH₄ 排出係数は 0.39~1.48 gCH₄/m³ であり、同じ箇所でも調査日によって 3~4 倍の違いが見られることがわかる。また、2月14日以外は震災前の下水処理システムである擬似 AO 法と同程度の CH₄ 排出係数であった。その一方で最終沈殿池における CH₄ 排出係数は 0.0037~0.0104 gCH₄/m³ であり、曝気槽に比べて 100 分の 1 程度の値であり、また震災前と比較して同程度~2 倍の値であった。

(2) N₂O 排出量の算定

CH₄ と同様に N₂O 排出係数 (g-N₂O/m³) を算出し、曝気槽と最終沈殿池における排出係数をそれぞれ Fig. 11, Fig. 12 に示した。N₂O についても調査日によって曝気槽における排出係数は異なり、最大で約 100 倍もの差が見られた。また、震災前の値と比較す

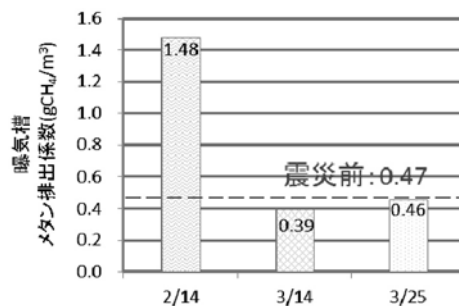


Fig. 9 The Emission Factor of CH₄ in Aeration Tank

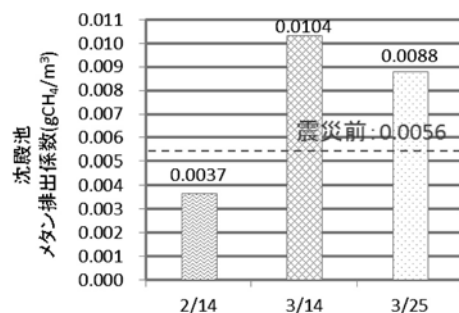
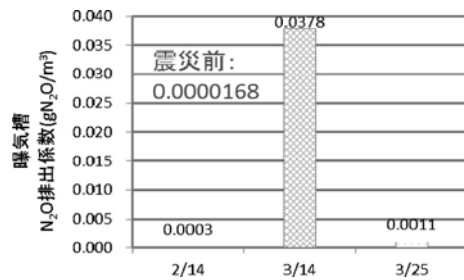
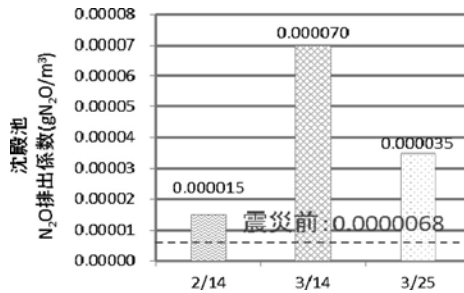


Fig. 10 The Emission Factor of CH₄ in Final Settling Tank

Fig. 11 The Emission Factor of N₂O in Aeration TankFig. 12 The Emission Factor of N₂O in Final Settling Tank

ると震災後の値はいずれも震災前の値より高く、特に3月14日の曝気槽の値に関しては震災前の約2,250倍であった。最終沈殿池においても同様の傾向が見られ、超高負荷接触酸化法では震災前の擬似AO法に比べてN₂Oを多く排出する処理方式である可能性が考えられ、今後その要因およびN₂O排出機構について検討していく必要がある。

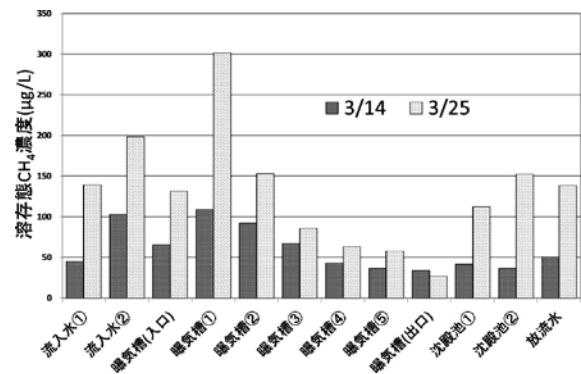
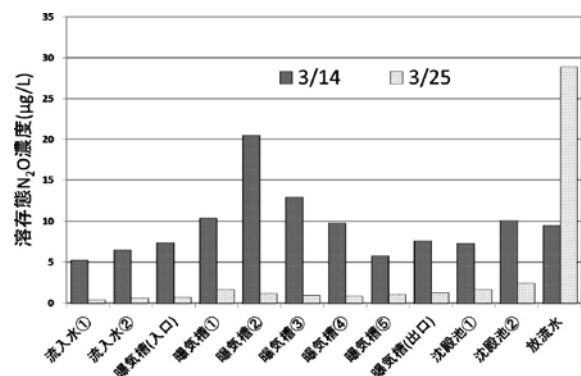
(3) 溶存態 GHGs の算定

3月14日と3月25日に関して採取した下水サンプル中の溶存態 GHGs 濃度を算定した。溶存態 CH₄濃度および溶存態 N₂O濃度をそれぞれ Fig. 13, Fig. 14に示す。流入水中の溶存態ガス濃度は CH₄, N₂O のいずれも合流式(流入①)に比べて分流式(流入②)の方が高い傾向を示していた。流入から曝気槽にかけて溶存ガス濃度は上昇するが、曝気槽の入口から出口にかけて曝気によるストリッピングにより溶存態ガス濃度は減少したが、最終沈殿池で再び増加するという傾向がみられた。

4. 結 論

BOD 容積負荷が約 6 kg-BOD/m³・日という超高負荷接触酸化法による運転を行っている下水処理場の中級処理性能と GHGs 排出特性を調査した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 接触酸化法の導入により震災後の処理水質は改善傾向が見られ現在は放流 BOD 濃度の目標値である 60 mg/L を概ね満足した運転が行われている。
- 2) 超高負荷接触酸化法における COD 除去率は約

Fig. 13 The Concentration of Dissolved CH₄Fig. 14 The Concentration of Dissolved N₂O

70%, T-N 除去率は約 50%, T-P 除去率は約 65% であった。

- 3) 曝気槽および最終沈殿池の GHGs 排出係数は同じ箇所でも調査日によって異なる結果を示し、曝気槽の CH₄ 排出係数は 0.39~1.48 gCH₄/m³ であった。また震災前と比較すると N₂O 排出係数は震災前と比べて非常に大きな値を示し、超高負荷接触酸化法は擬似 AO 法に比べて N₂O を多く排出する方式である可能性が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 水落元之, 佐藤和明, 稲森悠平, 松村正利: メタン, 亜酸化窒素の放出量および放出特性と活性汚泥法の処理条件との比較解析, 水環境学会誌, Vol. 21, No. 12, pp. 849-855 (1998)
- 2) 佐野 慈, 増田周平, 李 玉友, 原田秀樹: 下水処理場における温室効果ガスの排出係数と低減対策, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No. 7, III_565-573 (2012)
- 3) 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方法 (1999)
- 4) 仙台市: 浄化センターの水質データ (仙台市ホームページ, http://www.city.sendai.jp/gesui/1193392_2478.html)
- 5) Wei-Kang Qi, Takayuki Sunaba, Michael Norton, Yu-You Li: Effect of the Great East Japan Earthquake and Tsunami on Sewage Facilities and Subsequent Recovery Measure