

各種下水処理条件でのノロウイルスの除去特性

諏訪 守* 岡本誠一郎** 桜井健介*** 内田 勉****

1. はじめに

ノロウイルス (NV) とは、毎冬季に流行する感染性胃腸炎の原因ウイルスの 1 つであり、下痢、嘔吐、腹痛、発熱等を引き起こす。感染者からの排泄物等に含まれることから、下水道処理区内であれば下水道を通じ下水処理場へ流入する。活性汚泥処理により一定の割合で NV は除去されるが、放流先の水利用の形態によっては、下水処理場にてより高度な除去が求められる可能性がある。また、その感染リスクの適正な評価にあたっては、各種下水処理法による負荷の削減量を明らかにする必要がある。

本報では、まず各種下水処理法として標準的な活性汚泥処理法を含め、窒素やリンの高度除去法である生物学的高度処理法などによる NV の除去率を明らかにし、その除去率に及ぼす影響因子を評価した。また、下水処理場における負荷削減量を明確にするため、冬季の感染性胃腸炎の流行期において日間変動の調査により流入と流出濃度を評価したので、それらの結果について報告する。

なお、高度処理法の除去率は、他の下水処理条件下との比較のため、一部既報¹⁾のデータを活用することで評価を行った。

2. 評価方法

2.1 各種下水処理法による除去率の評価

評価対象とした下水処理法を表-1 に示す。4 県に存在する 5 ヶ所の下水処理場を対象にした。A ～ E 処理場の処理水量は 2,500～110,000m³/日の範囲 (P.P.除く) であった。流入下水では有機物・SS 濃度の高い時間帯を対象に、処理水は流入下水を採取の後に施設滞留時間を考慮し採取した。調査時期は各処理場により異なるが、9 月から翌年の 3 月の間に実施した。

2.2 日間変動の調査

日間変動の調査は、感染性胃腸炎の流行期の 1 月に C、D、E 処理場、2 月に A、B 処理場にお

いて実施した。上記 2.1 における流入下水の採水時刻をスタート時間とし 4 時間間隔で 6 回の採水を行った。処理水は施設滞留時間を考慮し流入下水と同様に 4 時間間隔で 6 回の採水とした。

表-1 評価対象とした各種の下水処理法

処理場	下水処理法「略称」
A	標準活性汚泥法「標準法」
B	標準活性汚泥法(一部嫌気・好気法)「標準法」
C	標準活性汚泥法(一部 A ² /O 法)「標準法」
D	オキシデーションディッチ法「OD 法」
E	凝集剤添加活性汚泥法 (4mg-Al/L)「凝集法」
	嫌気・無酸素・好気法「A ² /O 法」
	修正 Bardenpho 法「修正法」
	循環式硝化脱窒法「循環法」
P.P.	標準活性汚泥法、凝集剤添加活性汚泥法 (5、10mg-Al/L)

2.3 ノロウイルスの定量法

水試料から安定的なウイルス定量値を得るため、ポリエチレングリコール(PEG)沈殿法により試料の濃縮を行い、ウイルス濃縮液を作成した。濃縮液中のウイルスは、リアルタイム RT-PCR 法により定量を行った。ウイルス遺伝子の抽出、精製、逆転写反応の後、リアルタイム PCR に供した。NV の検出に用いたプライマー、プローブおよび反応条件は、「ノロウイルスの検出法について」²⁾に準じた。ヒトに感染する NV の遺伝子群は G I 群(G I)、G II 群(G II)に大別されるため、定量値は G I、G II に分け示した。なお、現在のところ NV は細胞培養法により増殖が不可能なため、定量評価手法は遺伝子数を測定するリアルタイム RT-PCR(Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction)法に限定されており、感染能力(生死)の有無は判定できない。

3. 実験・調査結果

3.1 各種下水処理法による除去率の評価結果

3.1.1 水処理方式による除去率の違い

水処理方式による除去率の違いを図-1、2 に示す。凝集剤添加活性汚泥法(10mg-Al/L)による NV の除去率が最も高く G I で 3.5log(99.97%)、G II は 3.8log(99.98%)である。次いで、生物学的高度除去法である A²/O 法、修正 Bardenpho 法、循環式硝化脱窒法の順で高く、ともに G II で 3log(99.9%)程度の平均除去率が得

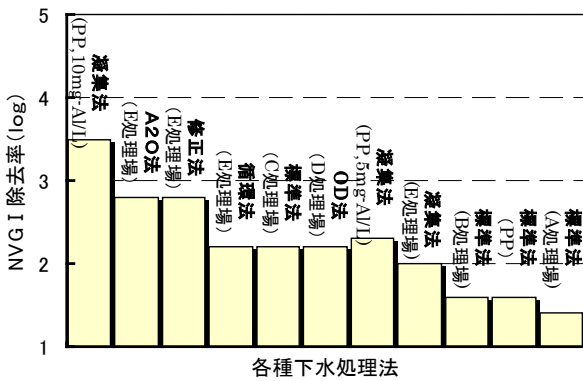


図-1 各種下水処理法によるNVGIの除去

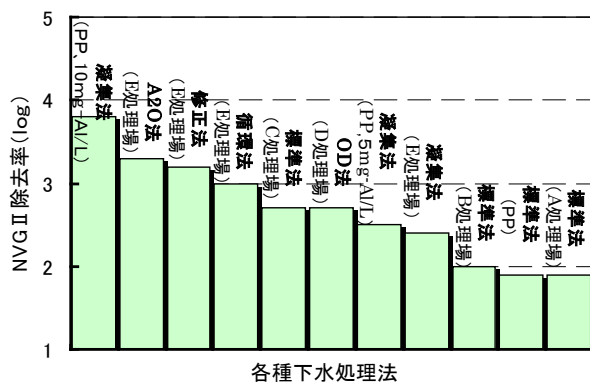


図-2 各種下水処理法によるNVGIIの除去

られている。凝集剤添加活性汚泥法でもりん除去を目的とした PAC の添加レベル(4~5mg-Al/L)の場合では、10mg-Al/L の添加ケースと比較して除去率は低く 2.0~2.5log(99~99.7%)の範囲である。標準活性汚泥法(標準法)では、GI で 1.4~1.6log(96~97.5%)、G II で 1.9 ~ 2.0log(98.75~99%) の範囲内となっていたが、オキシデーションディッチ法(OD 法)はややそれよりも除去率は高いと整理された。全体的に G II に比較して G I の除去率が低い傾向が見られたが、活性汚泥細菌から分離された NV 吸着タンパク質の特性を評価した事例では、G II.4 と G I.1 の間で、そのタンパク質に対する吸着能力の差があることが報告されている³⁾。遺伝子群の違いにより外殻タンパク質のアミノ酸組成が異なると考えられるため、除去率に差が生じたものと推定された。

3.1.2 除去率に及ぼす影響因子の評価

ここでは曝気槽の滞留時間 (HRT) と曝気槽内の浮遊物質濃度 (ML(V)SS) が NV 除去率に及ぼす影響について評価を行った。図-3 では標準法と OD 法を比較したが、HRT が長時間となることで G I、G II の除去率は向上し、両指標間には相関関係が見られ、OD 法の除去率は標準法

よりも高い傾向を示した。さらに、高度処理法について整理した結果を図-4 に示す。必ずしも HRT が長時間ではないため広範な比較は行えず両指標での相関関係を見出すことには至らなかったが、高度処理法の場合には HRT を長時間としなくても標準法や OD 法と比較して高い除去率が得られているケースが多かった。ML(V)SS 濃度と NV 除去率の関係を整理し図-5、6 に示す。標準法と OD 法では、ML(V)SS 濃度が高濃度となることで NV 除去率も向上しており相関関係が見られた。一方、高度処理法では両指標間に相関関係は見られず、ML(V)SS 濃度を高濃度としなくても比較的高い除去率が得られていた。標準法や OD 法では HRT や ML(V)SS 濃度に NV 除去率が依存すると考えられたが、高度処理法ではその影響が見られなかった。

今後、これらの高度処理法による除去率向上要因を解明し、活性汚泥処理の変法である高度処理法の適用により、下水処理場にてより高度な NV 除去率が得られる可能性が示唆された。

3.2 日間変動の調査結果

日間変動調査結果を図-7~11 に示す。図-7~9 は検出濃度、図-10、11 は検出濃度から算出した除去率を示した。本調査では 4 県に存在する処

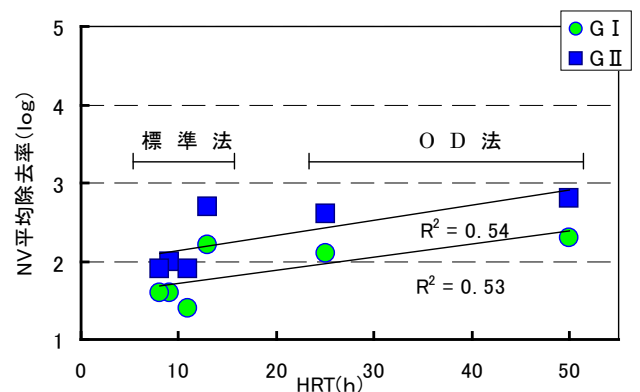


図-3 標準法とOD法のHRTとNV平均除去率の関係

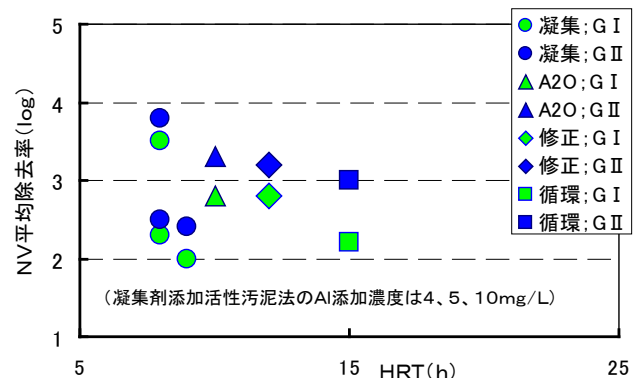


図-4 各高度処理法のHRTとNV平均除去率の関係

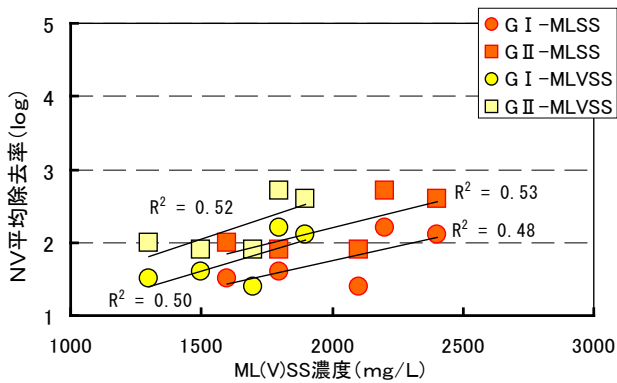


図-5 標準法とOD法のMLSS濃度とNV平均除去率の関係

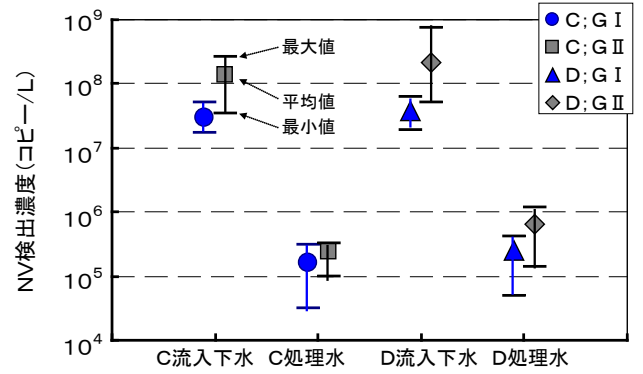


図-8 C、D処理場でのNV濃度の変動状況

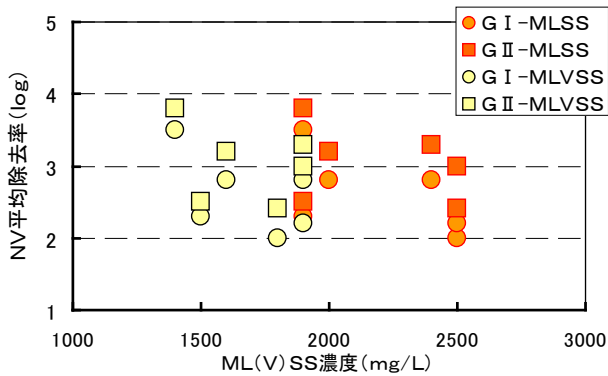


図-6 各高度処理法のMLSS濃度とNV平均除去率の関係

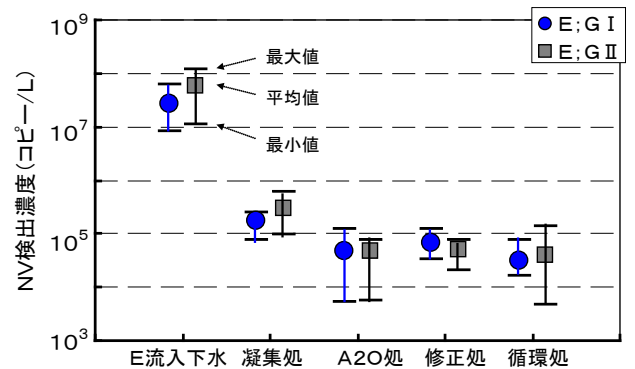


図-9 E処理場でのNV濃度の変動状況

理場を対象にしたが、流入下水の最大検出濃度は 10^8 コピー/L レベルとほぼ同一であり、冬季において広範囲にノロウイルス感染症が発生しているものと考えられた。処理水のNV濃度は、一部の高度処理水を除き多くは最大検出濃度が 10^5 コピー/L レベルであった。一方で流入下水、処理水ともに最大検出濃度に対する最小検出濃度の割合は10%以下に低下することもあり、24時間の間において比較的大きな濃度変動の状況が確認された。最大検出濃度に対する平均濃度の割合は、A～E処理場の平均値で流入下水のG Iが52%、G IIは47%、処理水のG Iで55%、G IIは54%であり、下水処理場における流入、流出のNV濃

度の平均は最大検出濃度に対して各々50%程度であることが明らかとなった。これら流入、流出濃度の変動状況は、処理水量の多少や地域差により大きな偏りはないようであった。

24時間の間における濃度変動に伴い、除去率の変動も生じており(図-10, 11)、変動幅の多くは概ね1オーダー(1log)程度であるが、下水処理法の違いにより最大で2オーダー(2log)近くに及ぶケースも一部見られた。特に生物学的窒素・リンの高度除去法であるA²/O法、循環式硝化脱窒法ではG IIで最大4log(99.99%)程度の除去率が得られているため、NV除去率の変動要因を解明することで、より高度で安定した除去率を得られ

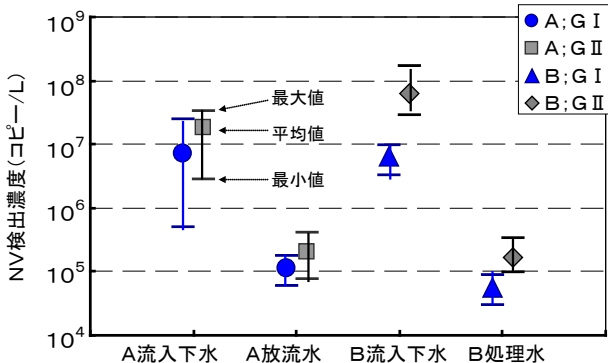


図-7 A、B処理場でのNV濃度の変動状況

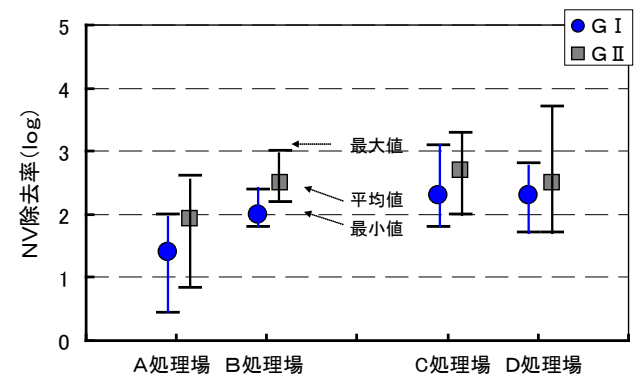


図-10 A～D処理場でのNV除去率の24時間変動

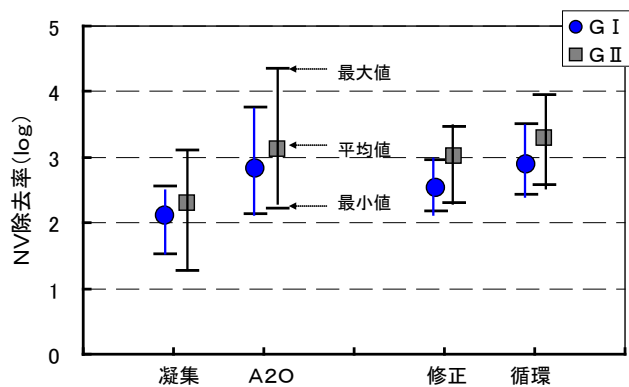


図-11 E処理場でのNV除去率の24時間変動

る可能性があるものと考えられた。

日間変動による 24 時間採水と施設滞留時間を考慮したスポット採水により各々得られた平均の除去率を表-2 に示すが、その殆どのデータでほぼ一致した値となった。

表-2 平均除去率の比較

処理場	下水処理法	日間変動調査時の平均除去率(log)		スポット採水調査時の平均除去率(log)	
		G I	G II	G I	G II
A	標準活性汚泥法	1.4	1.9	—	—
B	標準活性汚泥法(一部嫌気・好気法)	2.0	2.5	1.6	2.0
C	標準活性汚泥法(一部 A ² /O 法)	2.3	2.7	2.2	2.7
D	オキシデーションディッチ法	2.3	2.5	2.2	2.7
E	凝集剤添加活性汚泥法	2.2	2.3	2.0	2.4
	A ² /O 法(嫌気・無酸素・好気法)	2.8	3.1	2.8	3.3
	修正Bardenpho法	2.6	3.1	2.8	3.2
	循環式硝化脱窒法	2.9	3.1	2.2	3.0

4. まとめ

本報では、各種下水処理法として標準的な活性汚泥処理法を含め、窒素やリンの高度除去法である生物学的高度処理法などによる NV の除去率を明らかにし、その除去率に及ぼす影響因子を評価した。また、下水処理場における負荷削減量を明確にするため、冬季の感染性胃腸炎の流行期において日間変動の調査により流入と流出濃度を評価した。以下に得られた結果を述べる。

- (1) 下水処理法の違いにより、NV の除去率が異なる。
- (2) 標準法や OD 法では HRT や ML(V)SS 濃度に NV 除去率が依存すると考えられたが、高度処理法ではその影響が見られなかった。
- (3) 下水処理場における流入、流出の NV 濃度の平均は最大検出濃度に対して各々 50% 程度であることが明らかとなった。
- (4) 流入、流出の NV 濃度の変動状況は、処理場の規模や地域差により大きな偏りはないようであった。
- (5) 日間変動による 24 時間採水と施設滞留時間を考慮したスポット採水により各々得られた NV 平均除去率は、ほぼ一致した値であった。

生物学的窒素・リンの高度除去法による NV の除去率向上要因を解明することで、下水処理場においてより高度なウイルス除去の可能性が期待でき、水系感染症の拡大防止に大きく寄与できるものと考えられた。

今後は、これらの除去率の向上要因を解明する予定である。

謝 辞

本調査にご協力を頂いた下水処理場の下水道管理者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 諏訪守、岡本誠一郎、桜井健介：病原ウイルスの下水処理過程での制御、土木技術資料、第 52 巻、第 6 号、2010。
- 2) 厚生労働省医薬食品局食品安全部監視安全課、ノロウイルスの検出法について、2007。
- 3) 和田圭史、今井崇博、佐野大輔、大村達夫：活性汚泥細菌から分離されたノロウイルス吸着タンパク質 (Norovirus-Binding Proteins: NoVBPs) の特性評価、水環境学会誌、Vol.30、No.12、pp.731~736。

諏訪 守*



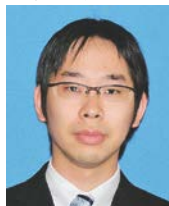
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 主任研究員、
博士 (工学)
Dr. Mamoru SUWA

岡本誠一郎**



京都大学大学院工学研究科
附属流域圏総合環境質研究センター 特定准教授 (前
土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム上
席研究員)、博士 (工学)
Dr. Seiichiro OKAMOTO

桜井健介***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 研究員
Kensuke SAKURAI

内田 勉****



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 上席研究員
Tsutomu UCHIDA