

高度処理施設の窒素収支について

下水道管理事務所
水質管理班 普天間 朝好

1. はじめに

那覇浄化センターにおける再生水利用下水道事業は平成 14 年度から供用開始し、那覇浄化センター 2 系の下水処理水を高度処理し那覇新都心地区及び送水管周辺地区に存在する公共施設や延べ床面積 3,000 m²以上の商業・業務施設等へ再生水を供給している。再生水の水質については残留塩素確保のために注入する次亜塩素酸ナトリウムの注入量が想定より多量になっていることや送水末端におけるアンモニア性窒素の検出等が発生しており、平成 26 年度から開始予定の那覇空港への給水に関連して再生水の水質確保が課題となっている。

2. 目的

那覇空港への給水開始に伴う再生水の増産時の対策に向けて、①現在の生物膜ろ過の水質処理状況把握、②再生水の塩素消費の把握、③塩素消費に関する有機物濃度の把握等を目的とする。

3. 調査方法

調査方法は以下の方法により行った。

- ①高度処理施設の NP 調査
- ②過去の測定データ解析
- ③生物膜処理前後の NP 通日試験
- ④再生水への塩素添加試験（テーブルテスト）

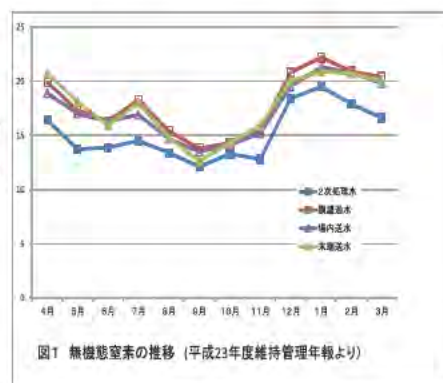
4. 調査結果

4. 1 高度処理施設のNP調査

平成 23 年度維持管理年報から生物膜ろ過前後の無機態窒素の収支を比較すると、図 1 に示すとおり、2 次処理水と比較して膜ろ過水が 2mg / L 程度高くなっている傾向が見られた。

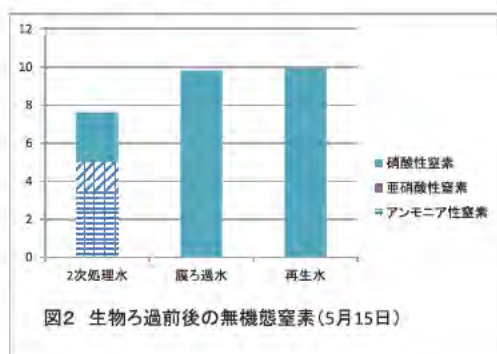
また、生物ろ過後は無機態窒素は硝酸性窒素になっている。

生物膜処理の窒素収支を確認するために 5 月 15 日と 6 月 5 日に行った高度処理施設の NP 試験結果では、生物膜ろ過前後で無機態窒素の増加と有機体窒素の減少が見られた（表 1、表 2）。



	2系処理水	2次処理水	膜ろ過水	再生水
有機体窒素	1.6	2	0.5	0.5
NH4-N	3.5	3.7	0	0
NO2-N	1.1	1.5	0	0
NO3-N	2.4	2.6	9.8	9.9
溶解性正リン	0.9	0.9	1.7	0.9
T-P	1.1	1.0	1.5	1.0

	2次処理水	膜ろ過水	再生水
有機体窒素	1.1	0.5	0
NH4-N	6.9	0	0
NO2-N	0.12	0.02	0
NO3-N	3.3	14.4	14.4
溶解性正リン	0.6	1.4	1.4
T-P	0.9	1.5	1.6



生物ろ過前後の無機態窒素は図 2 に示すとおり、2 次処理水の合計が 7.6mg/L であるのに対し、膜ろ過水では 10.3mg/L、再生水では 10.4mg/L となっており、2.8mg/L の増加が見られており、6 月 5 日にも同様に 4.1mg/L の増加が見られた。

生物ろ過前後の無機態窒素に有機体窒素を加えた全窒素の測定結果では、2次処理水が9.8mg/Lに対して、膜ろ過水は10.3mg/L、再生水は10.4mg/Lとほぼ同程度となっていたことから、生物膜処理により有機体窒素が無機態窒素（硝酸性窒素）まで硝化されている事と生物膜処理後においても0.5mg/L程度の有機体窒素が残存しているものと考えられる。

塩素処理では、アンモニア性窒素以外の窒素化合物も塩素を消費し、その反応に時間がかかるものとされている。

再生水の水質基準は衛生的な観点から残留塩素については0.4mg/L以上を確保することとなっており、一方、塩素処理においては不連続点塩素処理では不連続点を知り、塩素注入率を決定することは重要な運転因子とされている^{*1)}。

これらの結果から、再生水に関する塩素注入率管理の基礎資料として、再生水が不連続点塩素処理になっているかの確認及び塩素消費と関連のあると思われる有機物濃度等について調査を行うことが必要と考えられた。

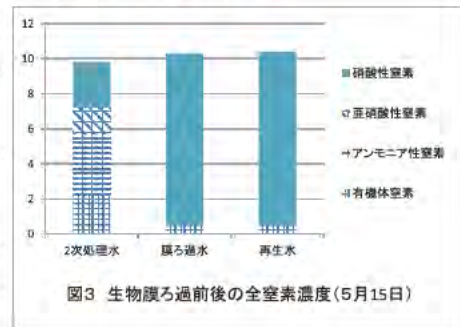


図3 生物ろ過前後の全窒素濃度(5月15日)

再生水の水質基準

項目	基準
pH	5.8~8.6
残留塩素	0.4mg/L以上
大腸菌群数	検出されないこと
臭気	不快でないこと
色度	不快でないこと

4.2 過去の測定データ解析

5月15日のNP試験結果から現在の窒素収支で生物ろ過膜前後において無機態窒素の増加が見られたため、過去10年間のNP試験結果から生物膜ろ過前後の無機態窒素濃度を比較した結果は、図4に示すとおりであり、38検体のうち33検体で無機態窒素は膜ろ過後に高い値となっていた。

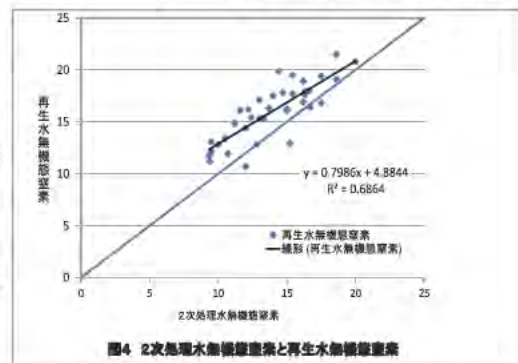


図4 2次処理水無機態窒素と再生水無機態窒素

また、図5に示すとおりNP試験結果の有機体窒素濃度は2次処理水と再生水で相関が見られた($R^2 = 0.6056$)。この結果から、高度処理施設においては原水の有機体窒素濃度が上昇すると再生水の有機体窒素濃度も上昇し、塩素消費量に影響を与えている可能性があることが考えられた。

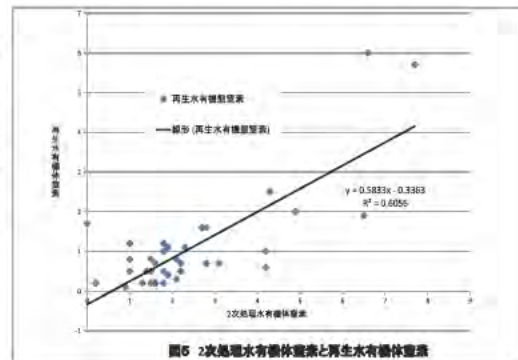


図5 2次処理水有機体窒素と再生水有機体窒素

4.3 生物膜処理前後のNP通日試験

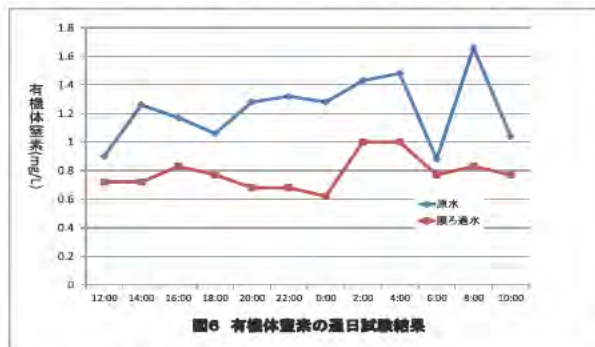
高度処理施設の生物ろ過施設で、有機体窒素の硝酸性窒素への硝化を示唆されるデータが得られているが、NP試験は概ね同時刻(試験日の午前中)に採水しており、高度処理施設の時間的な変動は反映されていない。そこで高度処理施設への負荷等を把握するには通日試験の必要性が考えられたため、6月12日~13日に生物ろ過施設前後のNP通日試験を行った。通日試験は生物ろ過施設の滞留時間を考慮して2時間間隔で実施した。

4.4 有機体窒素測定結果

有機体窒素の通日試験結果は図6にみられるように終日で膜ろ過後に減少していた。原水の平均濃度は1.23mg/Lであり、膜ろ過水の平均濃度は0.78mg/Lとなっており、0.45mg/Lの

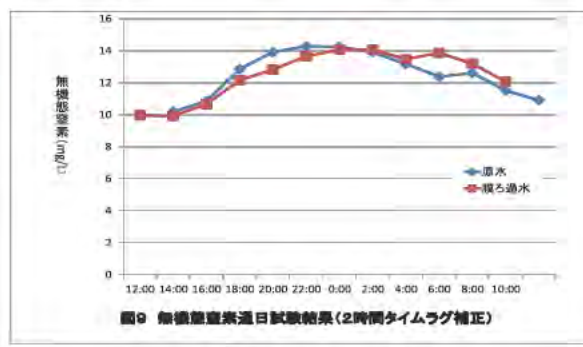
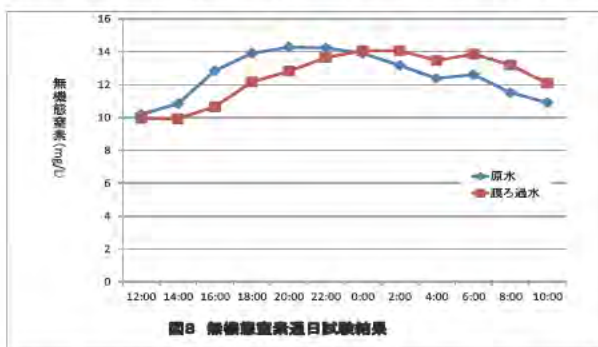
有機体窒素が膜ろ過で減少していた。ここで、膜ろ過施設の滞留時間 2 時間を考慮して、原水を 2 時間後の膜ろ過水と比較したグラフは図 7 のとおりとなり、原水の変動と比較して膜ろ過水の水質は安定して低い結果となっていた。

なお、原水の有機体窒素濃度は、過去 10 年間の NP 試験結果の 2 次処理水の有機体窒素平均濃度 2.6mg/L と比較して低い値となっていた。



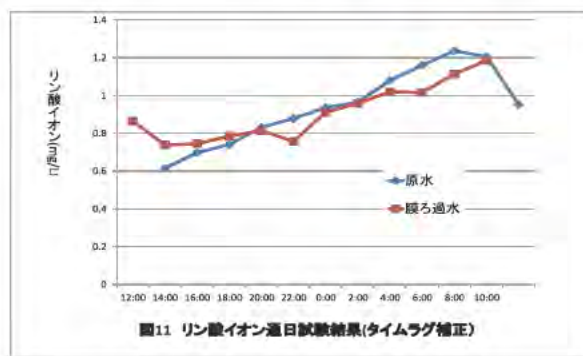
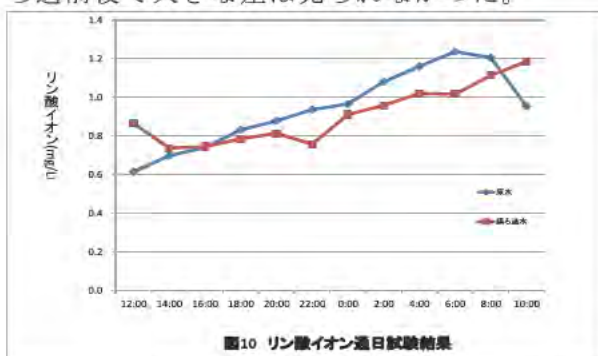
4. 5 無機態窒素測定結果

無機態窒素濃度は通日試験結果を図 8 に示す。また、有機体窒素と同様に 2 時間のタイムラグを補正した結果を図 9 に示す。無機態窒素は概ね午後の時間帯は原水の方が高く、深夜の時間帯から膜ろ過水が高くなっている傾向が見られた。



4. 6 リン酸イオン

リン酸イオンの通日試験結果は図 10 であり、タイムラグ補正した結果は図 11 に示す結果となった。リン酸イオン平均濃度は原水が 0.94mg/L、膜ろ過水が 0.91mg/L となっており、膜ろ過前後で大きな差は見られなかった。



4. 7 再生水への塩素添加試験 (テーブルテスト)

通日試験結果から現状の高度処理では定常的に再生水の有機体窒素が残留している可能性が示唆された。塩素消毒においてアンモニア性窒素は塩素と短時間で反応し不連続塩素処理となることが知られているが、アンモニア性窒素以外の窒素化合物は反応時間が遅く、長時間にわたって塩素を消費することが知られている。また、塩素処理を行う上では不連続点の

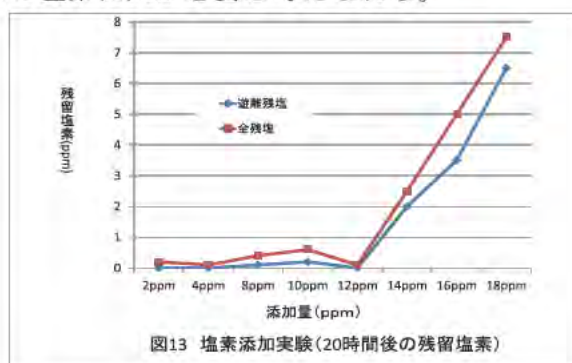
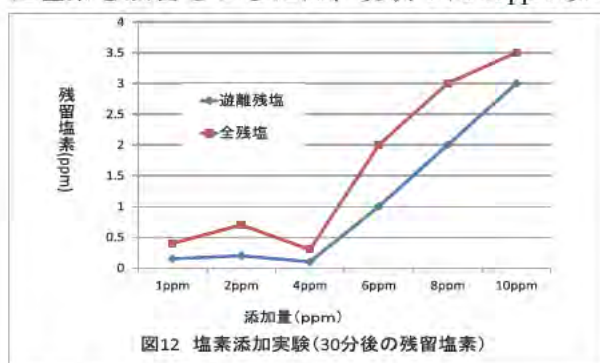
把握が重要であり、不連続点は前述の窒素化合物等の影響により、接触時間等は処理水の水質及び配水時間によって条件を決めることが重要であるとされている¹⁾。

そこで現在の再生水の塩素処理において、不連続点を把握するため再生水へ次亜塩素酸 Na を段階的に濃度を変化させてテーブルテストを行った。

4. 8 6月5日採水試料への添加実験

6月5日の生物膜ろ過水に時亜塩素酸 Na を段階的に添加し、残留塩素を測定した結果を図 12 及び図 13 に示す。接触時間は短期的な消費を見るための 30 分間と現在の新都心エリアへの送水時間を考慮した 20 時間とした。

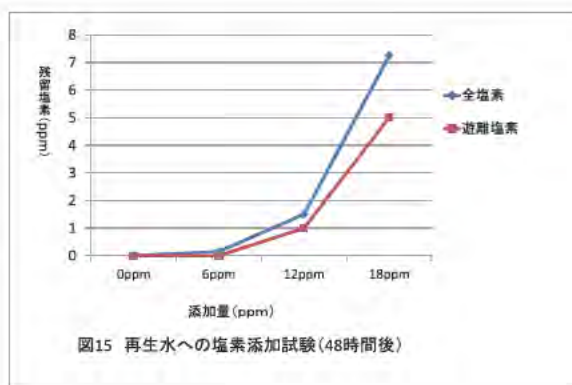
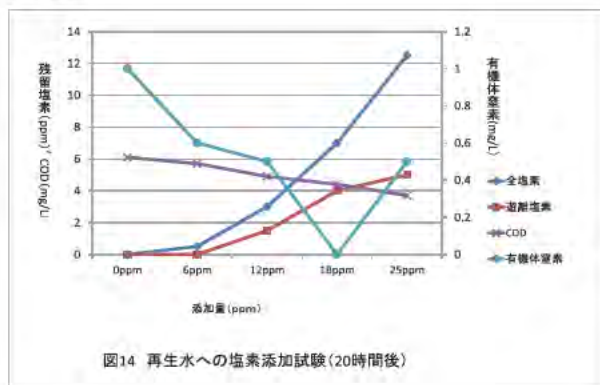
アンモニア性窒素は不検出であったにもかかわらず、塩素処理は不連続点塩素処理の形態となっていた。これは、アンモニア性窒素以外の窒素化合物の残留によるものと考えられる。また、30 分後の不連続点が概ね 4ppm 付近に見られたのに対し、20 時間後には 12ppm 付近にシフトしていた。再生水では窒素化合物に塩素が消費され、生成したアンモニア性窒素と結合型残塩が共存していることが推定される。この結果から現在の再生水の水質では安定的に塩素を残留させるには、現状では 12ppm 以上の塩素注入が必要と考えられる。



4. 9 塩素消費と有機体窒素濃度

6月19日に採水した再生水に塩素を段階的に添加し、20時間経過後の試料の残留塩素と有機体窒素及び COD の濃度変化を測定したところ図 14 の結果となった。また、塩素添加後は試薬瓶に満水状態で密栓し、管内滞留を想定した条件で試験を行った。12ppm 添加試料で遊離残塩が検出され、添加量に比例して遊離残塩濃度は上昇していた。また、塩素添加量が増加すると有機体窒素及び COD は減少傾向が確認できた。

この結果から、再生水においては有機体窒素及び残存有機物による塩素消費があり、現状では、20 時間後の不連続点は 12ppm 付近に存在する可能性が高いことが推定される。また、貯水タンクでの変化を想定して残存試料で 48 時間後の残留塩素を測定した結果は図 15 となり、20 時間以降は有機物の反応は少なくなり塩素消費は少なくなる可能性があると考えられる。



5. まとめ

水質調査結果から、再生水の水質と塩素消費等について以下の知見が得られた。

(1) 再生水はアンモニア性窒素が不検出であるにもかかわらず、不連続点塩素処理となっており、その要因は有機体窒素及び残存有機物濃度に影響されている可能性が高い。また、現状の再生水については 20 時間経過後の不連続点は 12ppm 付近と考えられ、遊離塩素を確保するには 12ppm 以上の塩素注入が必要と考えられる。

(2) 有機体窒素は生物膜ろ過で減少するが、完全には処理されず、再生水に残存した有機体窒素が塩素消費に影響していると考えられる。過去 10 年間の NP 試験結果から再生水の有機体窒素濃度と原水有機体窒素濃度と相関が見られ、生物膜処理への有機体窒素負荷の低減が再生水の塩素消費抑制のために有効であることが示唆された。

(3) 水質調査結果は全般的に原水負荷が増加すると、それに対応して生物膜ろ過水の水質も変動している傾向にあることが認められた。従って、再生水を増産した場合には、塩素消費量の増加、不連続点の高濃度側への移行等し、塩素注入率が上がる事が懸念される。

6. 今後の課題（再生水増産に向けて）

(1) 再生水の塩素消費を低下させるには、原水（2 次処理水）の負荷の低減や高度処理施設の運転方法の検討により、除去率向上の可能性を検討する必要がある。

(2) 塩素消費を低下できないとした場合に備えて、塩素注入施設や pH 調整等の検討も必要である。

(3) 既存施設のみでは、対応が困難な場合は塩素注入施設やろ過施設等の付帯設備の拡充・新設について検討する必要があると考えられる。

参考文献

1) 「水質衛生学」、金子光美、技報堂出版、1996 年



下水道博士
(下水道管理事務所キャラクター)

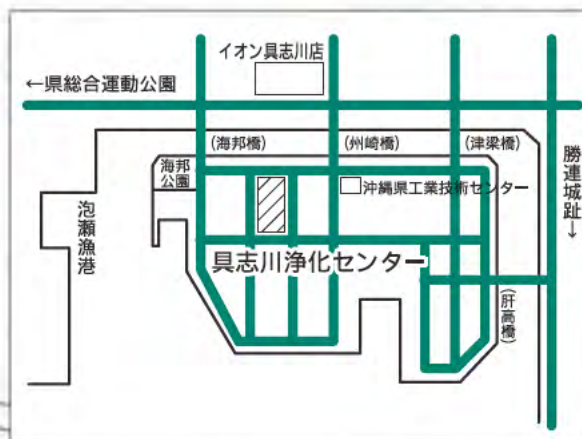
各浄化センター位置図

沖縄県下水道管理事務所

〒901-2221
 宜野湾市伊佐3丁目12番1号
 (TEL)098-898-5988
 (FAX)098-870-2268

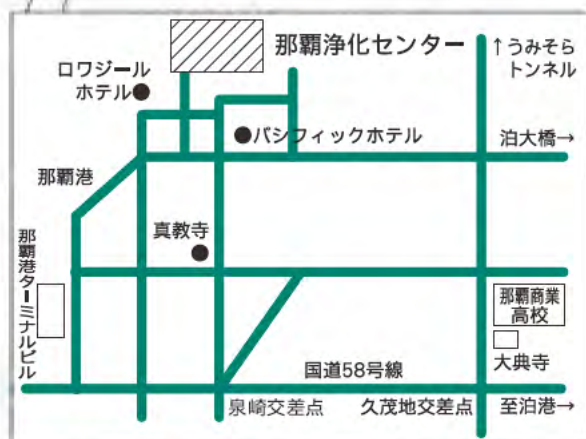
宜野湾浄化センター

(TEL)098-899-2801
 (FAX)098-870-2267



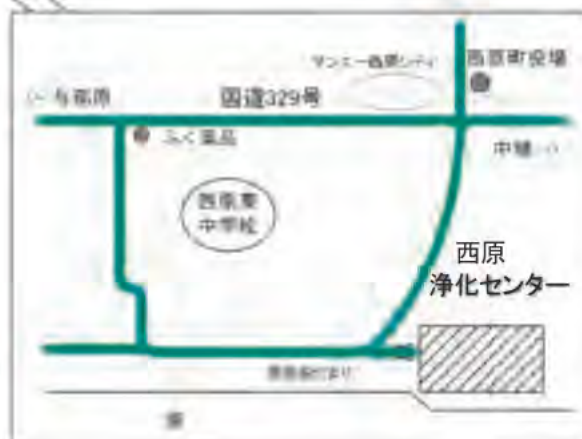
具志川浄化センター

〒904-2234
 うるま市州崎1番地
 (TEL)098-938-8630
 (FAX)098-982-1310



那覇浄化センター

〒900-0036
 那覇市西3丁目10番1号
 (TEL)098-868-3310
 (FAX)098-880-2725



西原浄化センター

〒903-0103
 西原町字小那覇875-10
 (TEL)098-871-9807
 (FAX)098-871-9808

沖縄県流域下水道

維持管理年報（平成25年度）

編集・発行：沖縄県下水道管理事務所

〒901-2221 宜野湾市伊佐 3-12-1

TEL：（098）898-5988

FAX：（098）870-2268

<http://www.pref.okinawa.jp/gekan/index.html>

印刷・製本：有限会社 ドリーム印刷

〒901-1117 南風原町津嘉山 1537-6

TEL：（098）889-2784

FAX：（098）888-2335

（ 表紙撮影：國吉 健郎
撮影箇所：恩納村の海岸 ）



下水道博士
(下水道管理事務所キャラクター)