



Title	上向流移床型ろ過器による脱窒基礎特性
Author(s)	煙崎, 正之; 宍田, 健一; 春木, 裕人
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 122-126
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7334">https://hdl.handle.net/2115/7334</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-4-3_p122-126.pdf



## 4-3

# 上向流移床型ろ過器による脱窒基礎特性

○煙崎 正之    宍田 健一    春木 裕人((株)タクマ)

### 1 はじめに

下水処理における課題のひとつとして閉鎖性水域を中心とした富栄養化の原因とされる窒素、リンの除去がある。現在、その処理法として嫌気・好気法やA<sub>2</sub>O法、ステップ法など、下水の一次、二次処理プロセスに関する検討が主流で行われている。これらは、流入下水中の高い窒素濃度を効果的に低減することが可能である。しかし富栄養化問題が深刻化した放流先では、さらなる放流水の窒素低減が要求される場合も考えられる。

また近年、限りある水資源を有効に利用するという観点から、親水用水や修景用水といった下水の再利用への気運が高まっており、下水処理場においては再利用や処理水質向上を目的として、主に懸濁物質(以下SS)の除去を中心とした高度処理設備が、既設処理設備の後段に付加する形で導入されつつある。

以上のような状況において、従来のSS除去を目的とした高度処理設備により、下水二次処理水中に残存する窒素成分(主に硝酸性窒素)を十分に低減させることが可能となれば、さらに効率的なシステムの構築が達成できる。

残存窒素濃度を十分に低減させる方法のひとつに、SS除去と同時に脱窒処理を行うことが可能な生物膜ろ過法がある。このうち、固定床型のろ過器を用いた場合、生物の過剰増殖によるろ床の閉塞、窒素ガスのろ床内停滞による除去効率の悪化が指摘されている。これに対し、移床型のろ過器において脱窒が可能となれば、上記の問題なく処理が可能となると考えられる。

そこで演者らは、高度処理に用いられている上向流移床型ろ過器に有機炭素源を添加して窒素除去を行うという、SSと窒素の同時除去技術の、実用化の可能性について検討を行った。以下に得られた知見について報告する。

### 2 実験概要

本研究では、実験装置を流域下水道のA処理場内に設置し、処理場の二次処理水(塩素混和前)を流入原水として検討を行った。図-1 に実験装置のフローシートを、表-1 に実験に用いたろ過器の仕様を示す。ろ過器は、ろ過行程を停止することなく連続逆洗が可能な上向流移床型ろ過器(以下ろ過器)を使用した。ろ材はSS除去を目的として用いられるろ過砂をそのまま使用し、ろ床の高さについてもSS除去を目的とする場合と同様の条件とした。

実験条件を表-2 に示す。Run-1~4 では、通常のろ過行程にメタノールを添加し、ろ過速度およびメタノール注入率の影響について検討を行った。Run-5 では、逆洗排水の一部を原水に混入させた場合の効果について検討した。なお、メタノールの注入は、定量注入とした。なお、A処理場二次処理水の平均的な硝酸性窒素濃度は10mg/lであった。

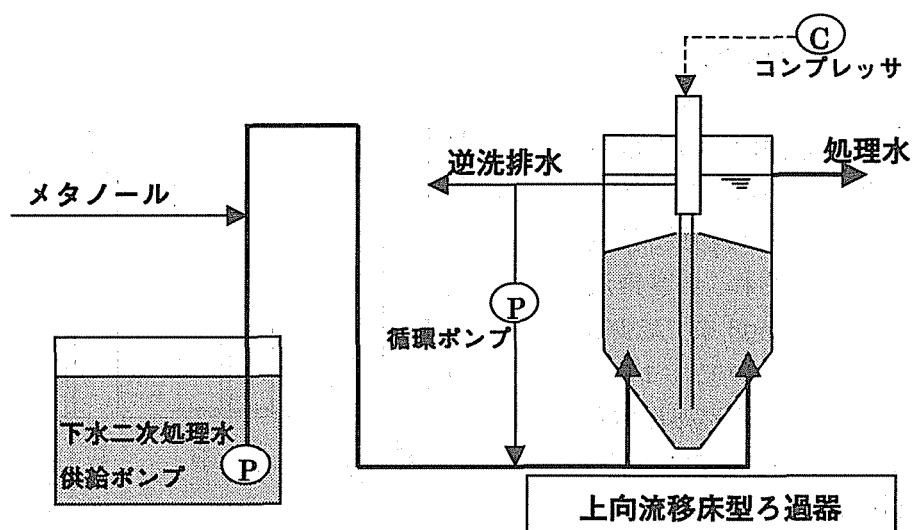


図-1 実験装置フローシート

表-1 ろ過器の仕様

型式	上向流移床型	
仕様	形状	円筒型
	ろ過面積	0.5m <sup>2</sup>
	ろ床高さ	1m
	ろ材	珪砂
	砂径	1mmφ

表-2 実験条件

	ろ過速度 (m/d)	メタノール注入率 (mg/l)	逆洗排水循環
Run-1	200	30	なし
Run-2	200	10	なし
Run-3	100	10	なし
Run-4	50	30	なし
Run-5	100	30	あり

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 ろ過速度とメタノール注入率の影響(Run-1~4)

##### 3.1.1 窒素除去効果

Run-1~4 での原水および処理水の窒素濃度について図-2 に示す。なお、原水の窒素濃度は、Run により変動しているが、窒素の大半が硝酸性窒素として存在し、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素はほとんど含まれていない(表-3 参照)。

Run-1 では、ろ過速度を標準的な値である 200m/d に設定してメタノールを注入した。その結果、硝酸性窒素濃度は低減したが、ろ床よりも上部の内壁に発生した生物膜が剥離し、処理水中に混入してSS濃度が 8mg/l から 18mg/l に増大する結果となった。内壁に生物膜が発生したのは、注入したメタノールがろ床内で十分に消費されずに処理水側に残留したためと思われる。

Run-2 では、ろ過速度を Run-1 と同様 200m/d とし、メタノール注入率を Run-1 の 1/3 の 10mg/l とした。Run-2 の処理水は、硝酸性窒素濃度の減少が若干認められたものの、全窒素濃度としての値に変化はなかった。また、SSについては Run-1 より減少し、その濃度は 12mg/l から 4mg/l と低減が認められたものの、ろ床より上部での生物膜の発生は依然認められた。

Run-3 では、ろ過速度を Run-2 の半分の 100m/d にして行った。その結果、全窒素では、Run-3 でも Run-2 と同様、硝酸性窒素濃度の減少が若干認められたが、全窒素濃度としてはほとんど変化がなかった。また、SS濃度は 1mg/l とかなり減少したものの、ろ床より上部での生物膜の発生は、Run-2 と同様であった。

Run-1～3の結果を踏まえ、Run-4ではメタノール注入率をRun-1と同様の30mg/lに戻し、ろ床内でのメタノール消費を促進させるためにろ過速度をRun-1の1/4とした。その結果、硝酸性窒素は完全に除去され、全窒素濃度は16mg/lから2.4mg/lまで減少した。一方、SS濃度についても1.5～2.5mg/l程度と、通常のろ過処理水と同等となり、生物膜の発生についてもかなり改善された。

一般的に、メタノールを有機炭素源として用いる場合、その注入率は

$$(\text{メタノール注入率}) = 2.47(\text{硝酸性窒素濃度}) + 1.53(\text{亜硝酸性窒素}) + 0.87(\text{溶存酸素濃度}) \quad (\text{単位: mg/l})$$

として表され、また他の実験によれば、メタノール注入率は硝酸性窒素濃度の3.3倍程度という値が報告されている。Run-4中におけるメタノール注入率は、これらのメタノール注入率よりも若干低く、硝酸性窒素濃度の2.5～3倍程度となった。

### 3. 1. 2 ろ過器内のDO、ORP分布

実験時のろ過器内におけるDOおよびORPの鉛直方向の分布を測定した結果を図-3に示す。測定は、図中に示す①～⑤のポイントで行った。すなわち、①はメタノール添加前、②はろ過器上部水面より1.5m(ろ床上部より0.5m)下方、③はろ過器上部水面より1m下方(ろ床上端)、④はろ過器上部水面より0.5m下方、⑤は処理水である。

DOの分布より、Run-1～4とも同様の減少傾向を示しており、ほぼ飽和状態であった原水のDOは、ろ床の中央部である②までに2～3mg/lまで急激に減少し、その後徐々に減少する傾向が認められた。また、Run-1～4では、Run-2のDOが若干高く、Run-4のDOが若干低くなっている傾向が認められたが、いずれのRunについても大差ない結果が得られた。

サンプリングポイントにおけるORP分布についてもDO分布と同様の傾向が見られ、原水のORPは③のろ床出口までに減少し、その後ほとんど変化しなかった。Run-1～4の各々に注目すると、Run-2とRun-3では、350～480mVであった原水のORPは、100～200mVまでしか減少していない。一方、Run-1では-150mV、Run-4では-380mVまで減少している。Run-2とRun-3およびRun-1とRun-4では、メタノール注入率が同じであること、

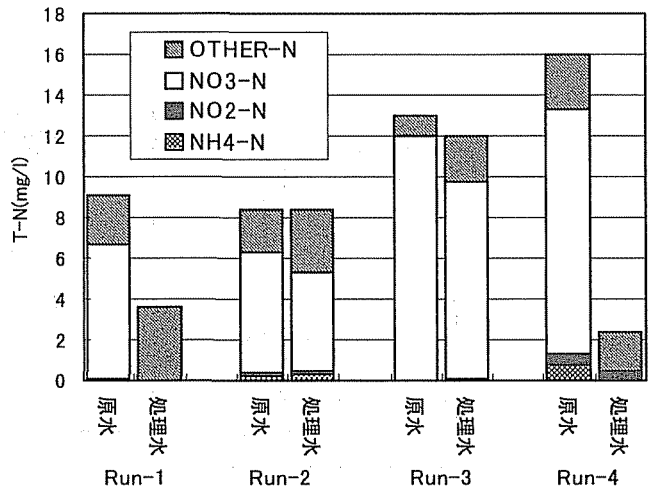


図-2 処理結果(窒素)

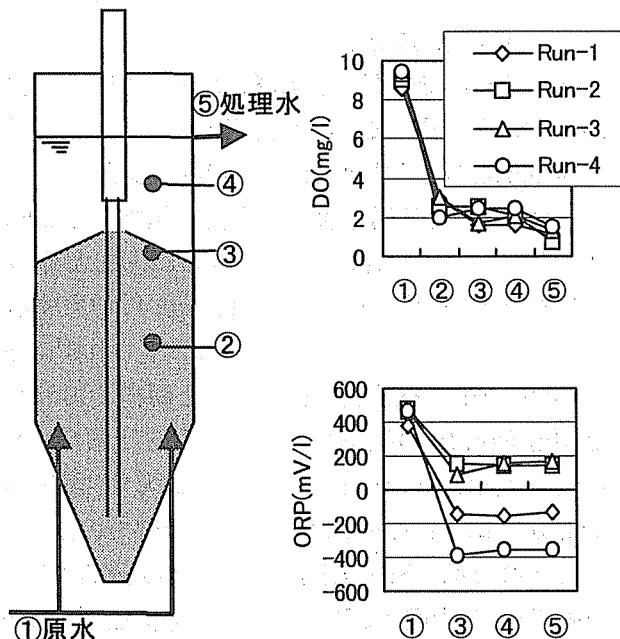


図-3 ろ過器内のDO、ORP分布

Run-1 と Run-2 ではろ過速度が同じであることを考慮すると、ORPは本実験の条件内では、ろ過速度とメタノール注入率の両者に影響を受けていることが認められた。一般的にORP 100～150mV という値が脱窒の目安として用いられるが、この値を満足するにはメタノール注入率を大きくすること、およびろ過速度を低下させて、接触時間を多くとることが有効であると考えられる。

### 3. 1. 3 考察

上記のように、脱窒を効果的に進行させるには、十分なメタノール量と接触時間が必要であると考えられる。しかし、ろ過速度を向上させると接触時間が短くなってしまいうため、それを補うためにはろ床高さを大きくすること、もしくはろ床内の生物量を増大させかつそれを保持することが有効になると推測される。

しかし、ろ床の高さを大きくするには装置自体の高さを大きくしなければならず、移床式上向流ろ過器の特徴である損失水頭の小ささを放棄することになり、現実的ではない。また、ろ床内の生物の保持量を増大させる方法として、生物保持能の優れたろ材への変更、もしくは生物をろ床内へ添加することが考えられるが、本実験で用いたろ過器はエアリフトポンプによる連続逆洗を行っており、その物理的バランスから、ろ材には現状の珪砂に近い比重と強度・耐摩耗性が要求される。加えて生物保持に優れたろ材を用いる場合、ろ材の流動時に生物膜の剥離によってろ過性能が低下してしまう危険性がある。このようなことから、ろ材の変更は新たな課題を抱えることになり、現実的には膨大な検討を要することになる。

これに対し、生物をろ床内へ添加する方法は、システムの大幅な変更を必要とせず、簡便で効果的な方法であると考えられる。特に逆洗排水を一部原水に戻すことにより、ろ床入口付近では高い生物量が維持できるため脱窒が促進され、一方ろ床高さも通常通り確保できることから、良好なるろ過性能が得られることが期待できる。

そこで次節では、逆洗排水を循環させた場合の影響について検討を行った。

### 3. 2 逆洗排水の循環による影響

Run-5 では、ろ過速度 100m/d、メタノール注入率 30mg/l の条件において逆洗排水 12m<sup>3</sup>/d(原水水量の約 25%)を原水に返送して約二ヶ月間連続運転を行った。結果を図-4 に示す。

すなわち、原水中の窒素の大部分を占める硝酸性窒素については 0～0.5mg/l 程度まで除去されている。一方で、亜硝酸性窒素が若干ではあるが処理水中に残留する場合も認められた。また、有機性窒素についても若干量検出された。これらをトータルで見ると、8mg/l程度あった原水中の全窒素濃度は、1mg/l以下にまで除去されており、逆洗排水の循環により Run-4 の 2 倍のろ過速度での高度な脱窒処理が達成された。

さらに、運転面においても約二ヶ月間に渡り、ろ床の閉塞や処理水中へのSSの流出などのトラブルもなく、メタノールの補充以外は何らメンテナンスを行うことなく安定した性能が維持できた。

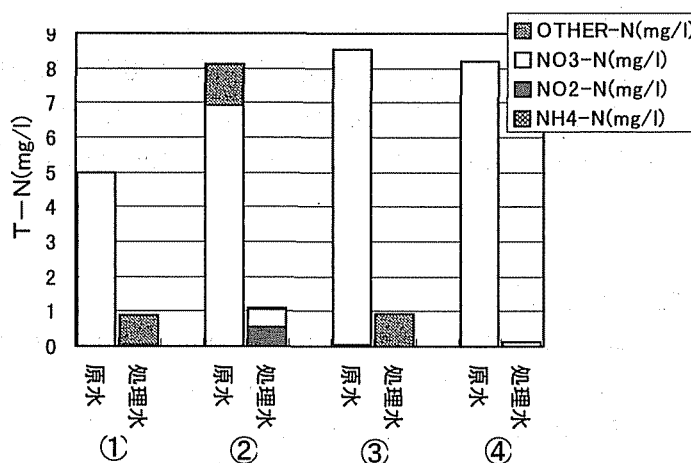


図-4 逆洗排水循環運転による処理結果(窒素)

### 3. 2. 1 処理水質

表-3 に Run-4 と Run-5 での処理水質の一例を示す。

逆洗排水の循環を行わなかった中で、最も良好な処理結果を得た Run-4 であるが、Run-5 の水質と比較するとBOD、SSの値が高くなっている。特にBODについては原水が 1.1mg/l であったのに対し、処理水は 5.2mg/l と増加している。これは、脱窒に使用されなかったメタノールが処理水中に残留したためと推測される。

一方 Run-5 において Run-4 ほどBODが上昇していないのは、逆洗排水を循環したためにろ床内の生物量が大きくなり、メタノールが効果的に消費されたためと考えられる。

SSについても、同様の理由でろ床より上部の処理水側への残留メタノールの持ち込みがなくなり、ろ過器内壁での生物膜の発生及び剥離が抑制されたことで Run-5 では良好な結果が得られたものと考ええる。

その他の水質については同等レベルの処理となっており、本処理法により、SS・硝酸性窒素の低減効果が得られることが明らかとなった。

表-3 処理水質の一例

	Run-4		Run-5	
	原水	処理水	原水	処理水
pH(-)	7.4	7.4	7.2	7.5
濁度(-)	4	1	4	<1
色度(-)	28	24	22	22
SS(mg/l)	2.0	1.5	4.5	<1
TDS(mg/l)	270	250	290	280
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	1.1	5.2	3.9	1.3
GOD <sub>Mn</sub> (mg/l)	10	9.7	8.2	7.7
KMnO <sub>4</sub> 消費量(mg/l)	27	24	21	19
TOC(mg/l)	7.2	7.6	5.0	5.7
硬度(mg/l)	70	68	62	62
NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	0.46	0.81	0.01	0.02
NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	6.3	<0.05	8.2	0.10
T-N(mg/l)	10	2.3	8.2	0.13
T-P(mg/l)	0.32	0.11	0.83	0.73
一般細菌数(個/100ml)	6.4 × 10 <sup>2</sup>	6.8 × 10 <sup>3</sup>	2.7 × 10 <sup>3</sup>	
大腸菌群数(個/100ml)	ND	ND	5.0	

## 4 まとめ

本研究では、上向流移床型ろ過器にメタノールを注入し、下水二次処理水中のSSおよび窒素の同時除去に関する検討を行った。その結果、ろ過速度100m/d、メタノール注入率 30mg/l、逆洗排水循環量 12m<sup>3</sup>/d で窒素除去率 85%以上が得られた。うち、硝酸性窒素についてはほぼ 100%の除去率が得られ、加えてSSについても4~5mg/l から1~2mg/l にまで低減することができた。

以上より、本法は特に硝化促進型の運転を行っている下水処理場の後段に付加することで、処理水中のSSだけでなく窒素をさらに低減させるのに有効なシステムであると考ええる。

現在、さらにろ過速度を上昇させた場合について検討を継続中である。今後、凝集剤の添加による脱リンの効果、およびランニングコストの低減を目的としたメタノール注入量の制御についても検討を行う予定である。

## 5 参考文献

- Ben Koopman, Charles M. Stevens, Carl A. Wonderlick : "Denitrification in a moving bed upflow sand filter", Research Journal WPCF, Vol.62, Number3, May/June 1990, p.239
- B. Hultman, K.. Jonsson, E. Plaza : "Combined nitrogen and phosphorus removal in a full-scale continuous up-flow sand filter", Wat. Sci. Tech, Vol. 29, No.10-11,1994, p.127
- 辻 幸男 : "酸化と還元(5)", PPM,1996/9,p.95~104