硫黄を用いた独立栄養型脱窒による硝化型 DHS リアクターの後段処理

岐阜工業高等専門学校　○大岩勇太（学）、重田晃司、和田桂児（学）角野晴彦（正）
国立環境研究所　珠坪一晃（正）、東北大学大学院　原田秀樹（正）、広島大学大学院　大橋晶良（正）

1　はじめに

平成9年より伊勢湾流域の3県は、窒素、リンの水質管理目標値を定め、富栄養化対策を実施している。高度処理の早期普及と持続的な運営を行うため、技術の低コスト化が望まれる。そこで我々は、下水二次処理水を対象に、曝気を必要としない硝化槽であるDHS（Down-flow Hanging Sponge）リアクター、硫黄を用いた独立栄養型の脱窒槽（以後、硫黄脱窒リアクターとする）を組み合わせた窒素除去システムを開発した。開発システムは、曝気を要する硝化槽と有機物添加を要する従属栄養型の脱窒槽で構成される従来のシステムにかかるランニングコストを大幅に軽減できる。

前段のDHSリアクターは、処理温度10℃以下、HRT 1 hrの条件下でもアンモニア除去率80%以上の硝化性能を発揮してきた[1)]。本報告では、後段の硫黄脱窒リアクターについて処理性能と保持汚泥性状を評価した。

2　実験方法

図1に実験装置の概要を示す。前段のDHSリアクターは、三角柱スポンジ（断面積：5 cm^2、幅：20 cm）を塩化ビニール製のシートに貼付し、カーテン状のろ床とした。ろ床の高さは165 cm、スポンジの間隙容積は3.0 Lとなる。

後段の硫黄脱窒リアクターは、円筒形カラム（内径：10 cm）に硫黄担体（新日鐵化学、バチルエース）を見掛け容積で4.6 L、4層に分けて充填した。充填高さは76 cm、担体充填部の空容積は6.0 Lとした。また、硫黄脱窒リアクターには、処理水循環の設備を付けた。

植種汚泥は両リアクターとも活性汚泥を用い、予め別々で馴養した後、連結させ、運転0日とした。

DHSリアクターの流入水には、下水二次処理水を模した人工排水を用いた。この組成は塩化アンモニウム30 mgN/L、スクロース30 mgCOD/L、その他無機塩類とした。室温は20℃で制御した。硫黄脱窒リアクターはHRTと処理水循環を変化させて処理性能を評価した。

また、運転0、75、372日に硫黄脱窒リアクターの硫黄担体を採取し、脱窒活性と汚泥濃度を測定した。脱窒活性は、（a）硝酸性窒素、チオ硫酸塩、（b）硝酸性窒素、有機物、の2種類の培地に採取した硫黄担体を入れ、温度27.5℃の条件で測定した。汚泥濃度の指標にはタンパク質濃度を用い、Lowry法によって測定した。

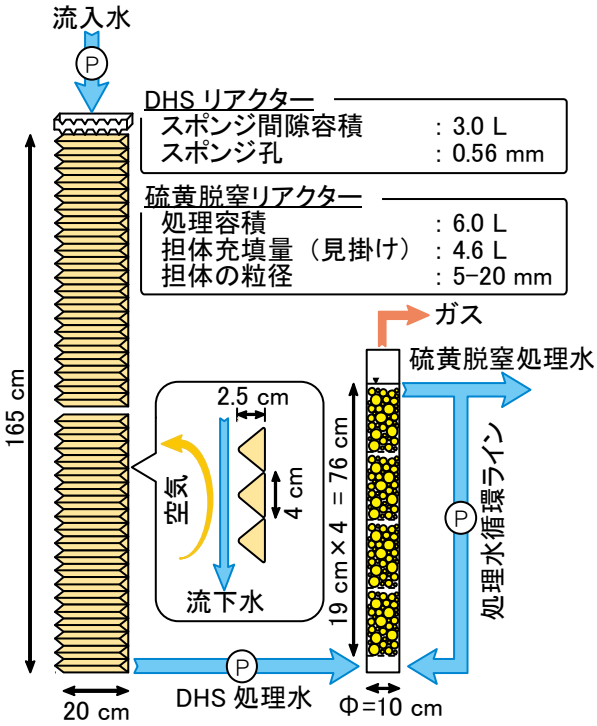

図 1　実験装置の概要

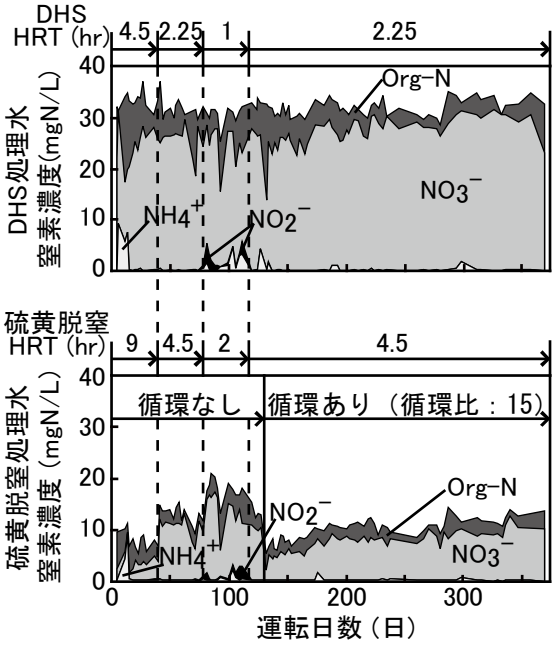

図 2　DHS 処理水、硫黄脱窒処理水 各窒素態の経日変化

3　実験結果および考察

3-1　連続処理性能

図2にDHS処理水、硫黄脱窒処理水の各窒素態の経日変化を示す。DHSリアクターの処理水質はHRTに依らず概ね安定しており、運転期間を通じて全窒素は平均32 mgN/L、硝酸性窒素は平均26 mgN/Lであった。DHS処理水で時折、アンモニア性窒素が検出されたが、これはpH調整の不備が原因であった。

硫黄脱窒リアクターでは、HRT 9、4.5 hr（循環なし）において、処理水の全窒素は平均7、13 mgN/L、硝酸性窒素は平均3、11 mgN/Lであった。また、HRT 2 hrにおいて、処理水循環の影響を調査したところ、有効性が認められた(データ不提示)。運転130日より、HRT 4.5 hr、循環比15（線流速：3.0 m/hr）とした。運転条件の変更直後は、処理水循環の効果が現れたが、運転日数の経過とともに処理水の全窒素、硝酸性窒素濃度は徐々に増加した。運転180日以降の処理水質は安定し、全窒素で平均11 mgN/L、硝酸性窒素は平均8 mgN/Lとなった。なお、運転期間を通じて逆洗や引き抜き等の処置は一切行わなかった。

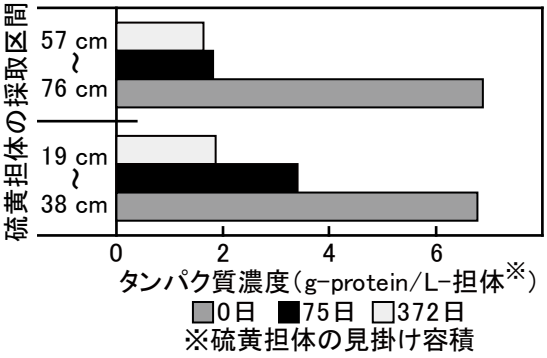

図 3 硫黄担体の付着汚泥の汚泥濃度

3-2 硫黄単体の汚泥濃度と脱窒活性

図3に硫黄脱窒リアクターの高さ19～38、57～76 cm区間におけるタンパク質濃度を示す。タンパク質濃度は、硫黄担体の見掛け容積当たりで評価した。運転0日から75日にかけての汚泥濃度の変化は、高さ57～76 cm区間より高さ19～38 cm区間で増加が大きかった。運転372日では、高さ19～38、57～76 cm区間において運転0日の3.6、4.2倍まで増加した。この時点で、高さ19～38、57～76 cm区間のタンパク質濃度は6.8、6.9 g-protein/L-担体と同程度であった。この理由として、処理水循環によってリアクター内が完全混合に近づいたことと、付着汚泥が飽和に達したことが挙げられる。

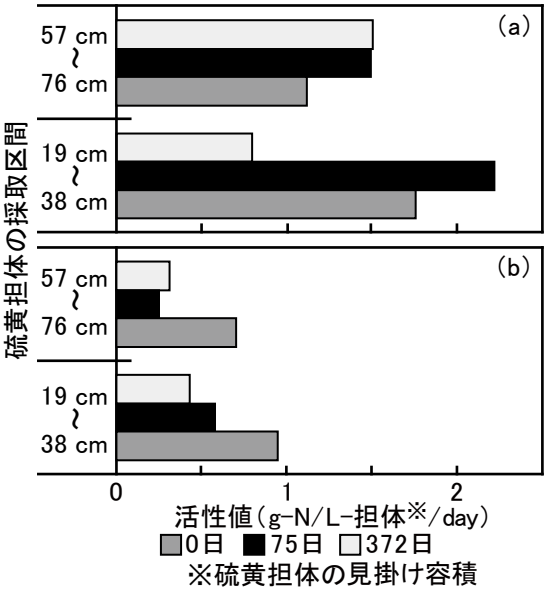

図 4 硫黄担体付着汚泥の脱窒活性
(a) 硝酸塩、 チオ硫酸塩、 硫黄担体
(b) 硝酸塩、 有機物、 硫黄担体

図4に硫黄脱窒リアクターの高さ19～38、57～76 cm区間における脱窒活性を示す。活性値は、硫黄担体の見掛け容積当たりの硝酸性窒素消費速度で評価した。ここで注目すべき点は、硫黄脱窒のみの活性を示す（a）において、運転75日から運転372日にかけて、汚泥濃度の増加に伴わず（図3参照）、両区間で脱窒活性が低下している点である。これは、硫黄担体に付着する生物膜が肥大化すると硫黄脱窒能が低下する既報[2]の現象に相似しており、おそらく生物膜内への硝酸性窒素の供給と硫黄担体からの電子供与体の供給の関係が悪化していると予想される。全運転期間を通じて、汚泥の引き抜きを行わなかったにも関わらず、運転180日以降で処理水質が安定していた。この理由は、複数の因子がバランスして汚泥濃度が一定に保たれたためと考えられる。

一方、硫黄脱窒と従属栄養型脱窒を合わせた活性を示す（b）において、両区間の運転372日で脱窒活性が最も高くなった。これは、リアクター内で起こる脱窒のうち従属栄養型脱窒の割合が増加したことを示している。従属栄養型脱窒に必要な有機物は、肥大化し活性が低下した生物膜（自己消化等）より供給されていると考えられる。

4 まとめ

硫黄脱窒リアクターによって硝酸塩含有排水（平均値で全窒素32 mgN/L、硝酸性窒素26 mgN/L）を連続処理した。室温20℃、HRT 9～4.5 hrで、処理水の全窒素は岐阜県の最も厳しい排水基準である全窒素15 mgN/L以下を確保していた。硫黄脱窒リアクターの安定した処理性能は、前段のDHSリアクターの高い硝化性能を前提として発揮できた。硫黄脱窒リアクターの硫黄脱窒活性（硫黄担体見掛け容積当たり）は、汚泥濃度が過剰に増加すると低下し、従属栄養型脱窒の活性は上がった。

参考文献
1） 小澤徹ら：土木学会第61回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM、DISC 2、Ⅶ-051、pp.101-102、2006
2） Flere, J.M., and Zhang, T. C.：Journal of Environmental Engineering、pp.721-729、August 1999
謝 辞 本研究は、文部科学省科学研究費（若手研究（B））（課題番号：18760407）の助成を受けて実施しました。記して感謝致します。