

報告 (Note)

水源地域の汚染地下水の浄化実験

井上 充, 渡邊久典
(環境技術部)

Purification Experiment of Contaminated Underground Water in Headwater Area

Mituru INOUE, Hisanori WATANABE
(Environmental Technology Division)

キーワード：パルミチルアルコール、浮上式生物ろ過膜脱窒法、電気透析、硝酸性窒素、地下水浄化

1 はじめに

近年、地下水の定期モニタリング調査等¹⁾で硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) が基準超過する事例が増加している。ことに、地下水を水源として利用している地域においては水源を閉鎖するところまででてきており、その対策が急務となっている。その原因と考えられる工場・事業場排水、家畜排泄物の不適正処理、生活雑排水の地下浸透、過剰施肥等に対しては、新たな負荷を削減するために、法令等による規制や維持管理の徹底が図られているが、地下水の水質改善には長い期間が必要となっている。特に、地下水を水源としている地域においては、これらの対策に加えて、汚染地下水の直接浄化対策が求められている。

地下水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ による汚染の浄化対策としては、電気透析膜法^{2,3)}、イオン交換樹脂法⁴⁾等が提案されているが、これらの方法では、濃縮された排水とその処理に伴う生物汚泥 (廃棄物) 等が発生するため、その処理が大きな課題となっている。

そこで、既存の技術とこれまでに当センターで開発した技術を組み合わせ、濃縮された排水を適正に処理するとともに廃棄物を発生させない新たな地下水浄化技術を開発・実用化するための研究を行った。

2 実験

2.1 実験期間

平成 18 年 10 月 21 日～平成 19 年 5 月 30 日の計 222 日間

(このうち電気透析装置では、実用化を確認するための予備実験として設置、調整、試運転、適正条件模索実験および適正条件による確認を行った後、40 日目から本実験を開始した。浮上式生物ろ過膜脱窒装置については、適正

条件模索実験と馴化実験に多くの時間を要したため、144 日目から本実験を開始した。)

2.2 実験場所

神奈川県内の H 市水道局 S 取水場

2.3 実験方法

2.3.1 地下水浄化装置

本装置の概要を図 1 に示す。

取水場の既存施設である地下水貯留槽から地下水 (原水) を原水槽へ送り、電気透析膜装置 (ユアサ・アイオニックス (株) 製のテスト機) で $\text{NO}_3\text{-N}$ 等を分離濃縮し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等をほとんど含まない生成水は現地の沢へ放流した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等を高濃度に含んだ濃縮水は、当センターで開発した浮上式生物ろ過膜脱窒装置⁵⁾で脱窒処理した後、生成水と同様に処理水として沢へ放流した。なお、今回は生成水を現地の沢に放流したが、将来的には地下涵養に利用することも十分に可能である。

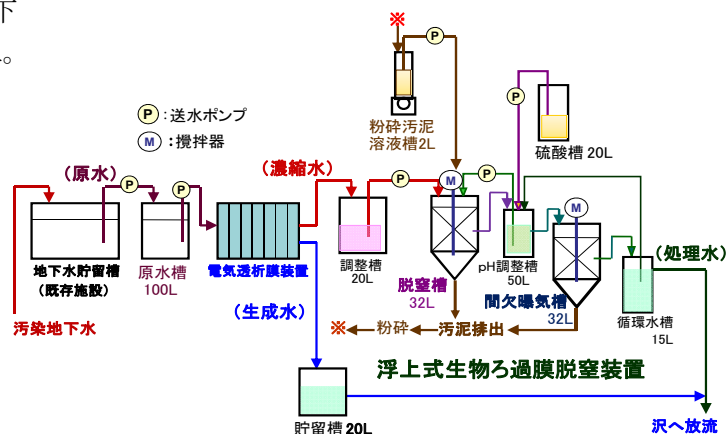


図 1 地下水浄化装置

2. 3. 2 各装置の概要

1) 電気透析膜装置

本装置は、原水槽、電気透析膜装置および放流槽で構成されている。

原水は、一定の直流電圧が通電されている重積した電気透析用交換膜(交換膜)を通過する間に、生成水と濃縮水に分けられ、生成水は放流槽へ、濃縮水は浮上式生物ろ過膜脱窒装置の調整槽へそれぞれ送られる。なお、交換膜は、陽イオンおよび陰イオンの交換膜(横 23cm×縦 25cm×厚さ 0.1cm)計 100 枚がそれぞれ交互に重積されている。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

本装置は、調整槽、脱窒槽、pH 調整槽、間欠曝気槽、循環水槽、粉碎汚泥溶液槽で構成されている。

調整槽: 横 26cm×縦 37cm×高さ 24cm, 有効容積 20L。濃縮水は、調整槽から定量ポンプで脱窒槽の上部へ送水し、脱窒槽以降の pH 調整槽、間欠曝気槽および循環水槽までは落差を利用して送水した。

脱窒槽: 内径 20cm×高さ 118cm の塩ビ製、有効容積 32L。槽容量等は、以前から検討してきた室内実験結果⁶⁾を参考に決定した。内部には浮上接触材(材料:日本バイリーン製不織布 OR-125, 大きさ:横 10mm×縦 20mm×厚さ 3mm/個)を 13L 充填したが、これは水よりも軽いため、通常、槽の上部に浮いた状態で存在している。

pH 調整槽: 内径 37cm×高さ 53cm, 有効容積 50L。

浮上接触材に付着した脱窒菌は水素供与体を利用して NO₃-N 等を脱窒処理するが、脱窒によって pH を上昇させるため、pH 調整槽で pH コントローラー(トーコー(株)製 TPX-98)と硫酸溶液(0.8 mol/L)で調整するとともに、脱窒効率を上げるため pH 調整槽から脱窒槽に一部の排水を戻す循環処理を行った。

また、pH 調整槽で発生した浮上汚泥等の廃棄物(浮上汚泥)は 1 回/月の頻度で除去し、水素供与体として利用した。

間欠曝気槽: 脱窒槽と同様な浮上接触材を充填し、槽の容量等も脱窒槽と同じとした。ここでは、脱窒槽で残留した NO₃-N についてやはり残留した水素供与体を用いて再度脱窒処理を行った。その際、水素供与体は、脱窒処理により大部分が消費されるが、一部残留することも想定されたため、好気条件下で分解処理

を行うとともに、アンモニア性窒素(NH₄-N)の一部を NO₃-N に変える硝化も併せて行った。

これらの処理を満足させるため、曝気および曝気停止を一定時間毎に交互に繰り返す間欠曝気運転を行い、曝気時には好気処理を、曝気停止時には脱窒処理を行うこととした。

循環水槽: 内径 28cm×高さ 30cm, 有効容積 15L。ここでも、脱窒効率を上げるために、一部を間欠曝気槽に戻す循環処理を行い、残りは処理水として沢に放流した。

なお、脱窒槽および間欠曝気槽では、浮上接触材の間隙に生物汚泥が蓄積して閉塞するおそれがあるため、1回/日の頻度で2~3回転程度の緩速攪拌を行った。攪拌機は、攪拌モーター(オリエンタル(株)製 PSH425-401P)と攪拌羽(横 16cm×縦 3.0cm×厚さ 0.3cm の塩ビ製攪拌羽3個を攪拌支柱にほぼ一定間隔に設置)付きの攪拌支柱(長さ 76cm×直径 1cm)で構成した。攪拌によって間隙から降下した生物汚泥は、下部に設置した沈殿槽に堆積させ、1回/週の頻度で引き抜き(引き抜き汚泥)、水素供与体として利用した。

3) 水素供与体

脱窒に必要な水素供与体としては、①粉末のパルミチルアルコール(和光純薬工業製、粒径 250 μm)と②本装置から排出された引き抜き汚泥および浮上汚泥等の廃棄物を家庭用ミキサー(東芝製 MIX-K10GR)で約3分間粉碎し作製した粉碎汚泥溶液を用いた。

2. 4 装置の運転条件

2. 4. 1 電気透析膜装置

本装置の直流電圧を上げて行くと、生成水の水質は向上するが、反対に濃縮水の電気伝導率が高くなり、硫酸カルシウム等の結晶が膜内に析出し、膜閉塞の原因となることがわかった。

このため、メーカーの助言等を受けながら運転を行ったところ、濃縮水の電気伝導率は、低いほど望ましいが、4,000 μS/cm 以下にすれば水温低下時でも結晶の析出もなく良好な運転を継続できることがわかり、安全を考慮して 3,000 μS/cm 付近で運転することとした。なお、濃縮水の電気伝導率は、内蔵された導電率計等を用いて制御した。

また、その時の直流電圧は 13V であったため、

本実験は直流電圧 13V の条件下で行った。

原水槽から電気透析膜装置への送水量は約 1,000 L/日とし、交換膜にスケールが付着しないように、15分間隔で電極の極性を変えた。その際、交換膜の洗浄も併せて行った。

2. 4. 2 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

前もって行った現場の地下水水質調査、電気透析膜装置の処理能力、以前から検討してきた室内実験結果⁶⁾等を参考に送水量等を次のとおり決定した。

脱窒槽への濃縮水の送水量は約 70 L/日、浮上接触材窒素負荷は約 0.75 kg/m³/日と設定した。循環処理の水量は濃縮水の流入水量の約 4 倍とし、pH 調整槽の制御 pH は 6.5 とした。間欠曝気時間は、曝気時間が 8 分および曝気停止時間が 52 分とした。

水素供与体としては、NO₃-N 1 mg を脱窒する際に必要な生物学的酸素要求量 (BOD) は 4 倍量 (4mg) であることから、パルミチルアルコールを 1 回/週の頻度で脱窒槽の上部から添加するとともに、粉碎汚泥溶液 (BOD 濃度 13,000 ~ 20,000 mg/L) 約 700 mL を 1 週間かけて間欠定量で脱窒槽の上部から滴下した。パルミチルアルコールの添加量は粉碎汚泥溶液の滴下量に応じて 70 ~ 160 g とした。また、滴下時には粉碎汚泥溶液が沈殿しないように攪拌を行った。

その他、pH 電極は約 2 回/月、硫酸溶液は約 1 回/3 か月の頻度でそれぞれ洗浄および作製した。

2. 5 水質測定方法

2. 5. 1 採水

各装置による窒素除去効果および性能を把握するため、水質等を測定した。

採水は、1 ~ 3 回/週の頻度で、地下水貯留槽 (原水)、生成水の貯留槽 (生成水)、濃縮水の調整槽 (濃縮水) および循環水槽 (処理水) の計 4 か所で行った。

2. 5. 2 水質測定項目

水質測定は、pH、水温、電気伝導率、化学的酸素要求量 (COD)、BOD、全有機炭素 (TOC)、懸濁物質 (SS)、NH₄-N、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、NO₃-N、全りん (T-P)、全窒素 (T-N) および廃棄物量の計 13 項目について行った。

また、水質以外に水量および電力量 (積算電力計) も併せて測定した。原水の水量は電気透析膜装置に設置されている水量計から、濃縮水の水量は 1 L メスシリンダーに溜まる時間からそれぞれ求め、生成水の水量は原水と濃縮水のそれぞれの水量の差から算出した。なお、処理水の水量は濃縮水と同じである。

2. 5. 3 水質測定方法

本測定は、工場排水試験方法 JIS K 0102-1998 により行った。なお、TOC は (株) 島津製作所製 TOC 分析計 V-CSH 型、NH₄-N、NO₂-N および NO₃-N は (株) DIONEX 社製イオンクロマト分析計 4500i、T-N は柳本製作所 (株) 製微量窒素分析計 308P 型を用いて測定した。

3 結果

3. 1 水量

原水および生成水等の水量を表 1 に示す。

原水は 870 ~ 1,200 L/日 (平均 1,100 L/日)、生成水は 790 ~ 1,200 L/日 (平均 1,030 L/日) および濃縮水は 51 ~ 84 L/日 (平均 67 L/日) であった。原水の水量はほぼ計画どおりであり、また、原水の水量に対する生成水の水量の割合 (回収率) は約 94% であった。

3. 2 水量と電力量

原水の水量当たりの電力量の結果を表 1 に示す。

原水量 1 m³ 当たりの電力量は、8.7 ~ 13 kWh/m³ (平均 9.9 kWh/m³) であった。野中⁷⁾によれば既存の技術である電気透析膜法とグラニュール式脱窒法を組み合わせた実装置の電力量は、電力量の単価を 13 円/kWh として算出したところ、処理水量 122m³/日で 1 m³ 当たり 0.8 kWh/m³ と、本装置の約 1/12 であった。同文献の中で、水量規模が大きくなると水量当たりの電力量等が少なくなると報告していることから、今回の実験は 1/110 も水量が少なかったことが電力量が多くなった主な要因と考えられるが、今後、電力量を減少させるための装置の見直しも必要であると考えられる。

3. 3 水質

3. 3. 1 水温

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の水温の経日変化を図 2 に、全体総括を表 1 に示す。

表 1 本実験における水質結果等（全体総括）

項目	電 気 透 析 膜 装 置		浮上式生物ろ過膜脱窒装置	
	原 水	生成水	濃縮水	処理水
装置	約 6 か月		約 2.5 か月	
試料名				
実験期間	約 6 か月		約 2.5 か月	
水 量 (L/d)	870～1,200 (平均 1,100)	790～1,200 (平均 1,030)	51～84 (平均 67)	51～84 (平均 66)
水 温 (℃)	13.5～18.3 (平均 15.5)	12.0～21.1 (平均 16.2)	9.5～18.3 (平均 15.8)	8.9～18.3 (平均 15.3)
電気伝導率 (μS/cm)	240～350 (平均 290)	55～110 (平均 70)	2,000～3,400 (平均 2,700)	1,900～2,700 (平均 2,400)
T-N (mg/L)	9.2～12 (平均 10)	1.2～3.1 (平均 2.2)	99～150 (平均 130)	0.9～14 (平均 4.0)
NH ₄ -N (mg/L)	<0.1～2.1 (平均 0.4)	0.1～0.9 (平均 0.4)	<0.1～2.3 (平均 0.4)	0.1～1.4 (平均 0.5)
NO ₂ -N (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1～0.5 (平均 0.1)
NO ₃ -N (mg/L)	8.8～12 (平均 11)	1.2～3.4 (平均 1.9)	90～140 (平均 120)	1.0～9.2 (平均 3.3)
p H	7.4～7.9 (平均 7.6)	6.5～7.5 (平均 7.0)	8.1～8.6 (平均 8.5)	6.9～7.8 (平均 7.4)
COD (mg/L)	<0.1～0.8 (平均 0.2)	<0.1～0.6 (平均<0.1)	0.8～2.3 (平均 1.7)	4.8～10 (平均 6.5)
BOD (mg/L)	<0.1～1.3 (平均 0.5)	<0.1～0.6 (平均<0.1)	<0.1～1.4 (平均 0.5)	0.6～9.7 (平均 3.8)
TOC (mg/L)	<0.1～1.5 (平均 0.7)	<0.1～1.0 (平均 0.4)	4.4～13 (平均 8.3)	2.6～9.9 (平均 5.3)
SS (mg/L)	<0.1～1.4 (平均 0.4)	<0.1～0.7 (平均 0.1)	0.1～3.6 (平均 2.1)	1.9～14 (平均 5.3)
T-P (mg/L)	0.16～0.31 (平均 0.21)	<0.05～0.05 (平均<0.05)	1.9～2.1 (平均 2.0)	0.42～2.0 (平均 0.80)
廃棄汚泥量 (mg/L)	0.23～1.3 (平均 0.79)			
原水量当たり電力量 (kWh/m ³)	8.7～13 (平均 9.9)			

原水は 13.5～18.3℃（平均 15.5℃）、生成水は 12.0～21.1℃（平均 16.2℃）であった。原水は地下水であることから、気温が低い時期でも比較的安定的な水温を示し、生成水は本装置内を通過する間に、原水より約 1℃高くなった。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

浮上式生物ろ過膜脱窒装置の水温の経日変化を図 3 に、全体総括を表 1 に示す。

濃縮水は 9.5～18.3℃（平均 15.8℃）、処理水は 8.9～18.3℃（平均 15.3℃）であった。

なお、水温が 10℃以下になる時期があるため、

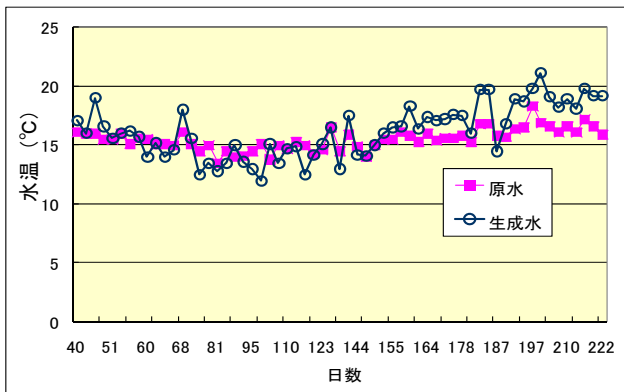


図2 水温の経日変化(電気透析膜装置)

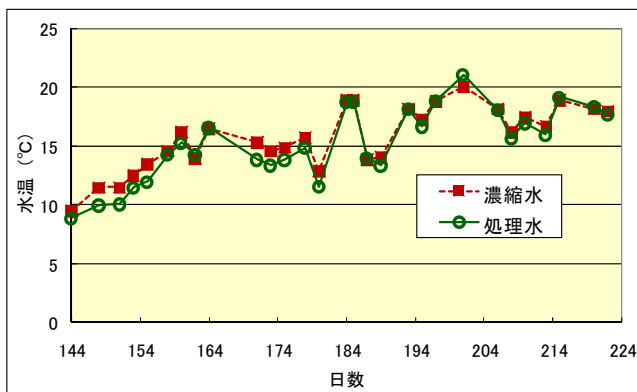


図3 水温の経日変化(浮上式生物ろ過膜脱室装置)

本装置の屋内設置等の防寒対策を考慮する必要がある。

3. 3. 2 電気伝導率

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の電気伝導率の結果を表1に示す。

原水が240~350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (平均290 $\mu\text{S}/\text{cm}$)、生成水が55~110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (平均70 $\mu\text{S}/\text{cm}$)であり、除去率は60~80% (平均76%)であった。

当初はテスト機であったこともあり、装置の停止が頻繁に続いたが、濃縮水の電気伝導率を常時3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 付近に維持可能となるよう装置の改善を行った結果、約半年間、雷等の一時的停電による停止以外は良好な運転を継続することができた。

2) 浮上式生物ろ過膜脱室装置

浮上式生物ろ過膜脱室装置の電気伝導率の結果を表1に示す。

濃縮水は2,000~3,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (平均2,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$)、処理水は1,900~2,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (平均2,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$)であった。濃縮水の電気伝導率は平均2,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$

であったことから、ほぼ予定どおりの運転ができた。

なお、処理水の電気伝導率は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等の除去による減少およびpH調整のための硫酸溶液滴下による増加が想定されたが、最終的には濃縮水より若干低い値を示した。これは、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去が大きく影響したものと考えられる。

3. 3. 3 T-N

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置のT-Nの経日変化を図4に、全体総括を表1に示す。

原水は9.2~12 mg/L (平均10 mg/L)、生成水が1.2~3.1 mg/L (平均2.2 mg/L)で、T-N除去率は71~88% (平均79%)と良好な除去率が得られた。

2) 浮上式生物ろ過膜脱室装置

浮上式生物ろ過膜脱室装置のT-Nの経日変化を図5に、全体結果を表1に示す。

濃縮水が99~150 mg/L (平均130 mg/L)、処理水が0.9~14 mg/L (平均4.0 mg/L)で、T-N除去率は89~99% (平均96%)であった。

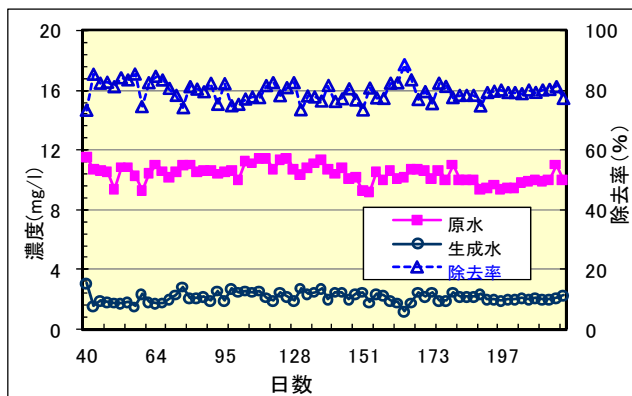


図4 T-Nの経日変化(電気透析膜装置)

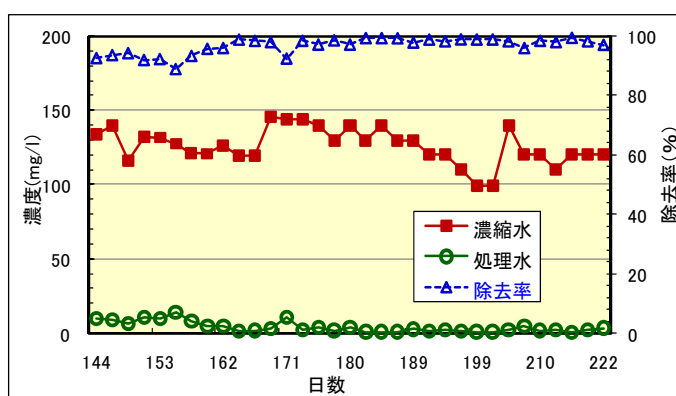


図5 T-Nの経日変化(浮上式生物ろ過膜脱室装置)

浮上接触材窒素負荷は約 $0.67 \text{ kg/m}^3/\text{日}$ と算出され、ほぼ予定どおりの運転をすることができた。

粉末のポリメチルアルコールと粉砕汚泥溶液を水素供与体とした併用脱窒は、良好な T-N 除去率を得ることができたことに加え、粉末のポリメチルアルコールの使用量を減らすことができたこと、廃棄物を槽外に排出する必要がなくなったこと等、維持管理費節減の観点からも大きな成果をもたらしたといえる。

3) 装置全体

電気透析膜装置および浮上式生物ろ過膜脱窒装置を組み合わせた装置全体の T-N 除去率の結果を表 1 に示す。

原水の流入 T-N 負荷は $8.4 \sim 13 \text{ g/日}$ (平均 11 g/日)であったが、電気透析膜装置によって生成水の T-N 負荷が $1.3 \sim 2.6 \text{ g/日}$ (平均 2.2 g/日)、濃縮水の T-N 負荷が $6.4 \sim 11 \text{ g/日}$ (平均 9.2 g/日)となり、濃縮水はさらに浮上式生物ろ過膜脱窒装置によって脱窒処理され、処理水の T-N 負荷は $0.1 \sim 1.0 \text{ g/日}$ (平均 0.5 g/日)となった。このことから、装置全体の T-N 除去率 ((生成水の T-N 負荷+処理水の T-N 負荷)/流入 T-N 負荷)は $68 \sim 88\%$ (平均 78%)と算出された。

3. 3. 4 形態別窒素

1) 電気透析膜装置

$\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および T-N について、原水の経日濃度変化を図 6 に、電気透析膜装置全体の結果を表 1 に示す。

原水の形態別窒素濃度は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が $<0.1 \sim 2.1 \text{ mg/L}$ (平均 0.4 mg/L)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が $<0.1 \text{ mg/L}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ が $8.8 \sim 12 \text{ mg/L}$ (平均 11 mg/L)であった。

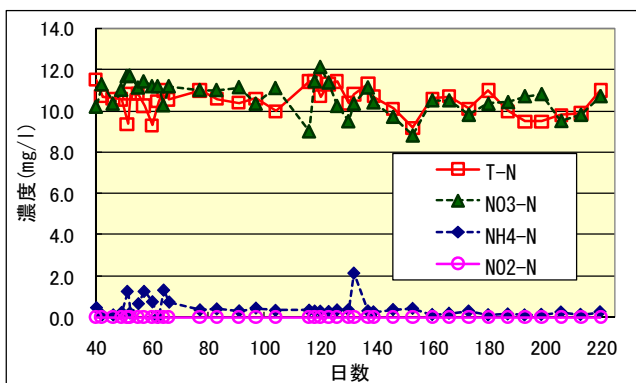


図 6 原水の形態別窒素の経日変化

原水の T-N の内訳は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が 4.0% 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0% および $\text{NO}_3\text{-N}$ が 100% と算出され、大部分が $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。なお、T-N の内訳は、T-N 濃度当たりの形態別窒素の濃度の百分率割合から求めたが、分析感度等の違いから、形態別窒素の総計濃度が T-N 濃度より高くなったため、総計割合は 100% を若干超過した。

生成水は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が $<0.1 \sim 0.9 \text{ mg/L}$ (平均 0.4 mg/L)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が $<0.1 \text{ mg/L}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ が $1.2 \sim 3.4 \text{ mg/L}$ (平均 1.9 mg/L)であり、T-N の内訳は $\text{NH}_4\text{-N}$ が 14% 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0% および $\text{NO}_3\text{-N}$ が 99% であった。なお、原水と同様な理由で、総計割合は 100% を若干超過した。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

浮上式生物ろ過膜脱窒装置の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および T-N の結果を表 1 に示す。

濃縮水の $\text{NH}_4\text{-N}$ は $<0.1 \sim 2.3 \text{ mg/L}$ (平均 0.4 mg/L)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が $<0.1 \text{ mg/L}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ が $90 \sim 140 \text{ mg/L}$ (平均 120 mg/L)であり、T-N の内訳は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が 0.3% 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0% および $\text{NO}_3\text{-N}$ が 92.3% であった。残りの 7.4% は有機体性窒素と考えられる。

また、処理水の $\text{NH}_4\text{-N}$ は $0.1 \sim 1.4 \text{ mg/L}$ (平均 0.5 mg/L)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が $<0.1 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ (平均 0.1 mg/L) および $\text{NO}_3\text{-N}$ が $1.0 \sim 9.2 \text{ mg/L}$ (平均 3.3 mg/L)であり、T-N の内訳は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が 10% 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0% および $\text{NO}_3\text{-N}$ が 82.5% であった。残りの 7.5% は有機体性窒素と考えられる。なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は顕著に除去されていた。

3. 3. 5 pH

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の pH の経日変化を図 7 に、全体総括を表 1 に示す。

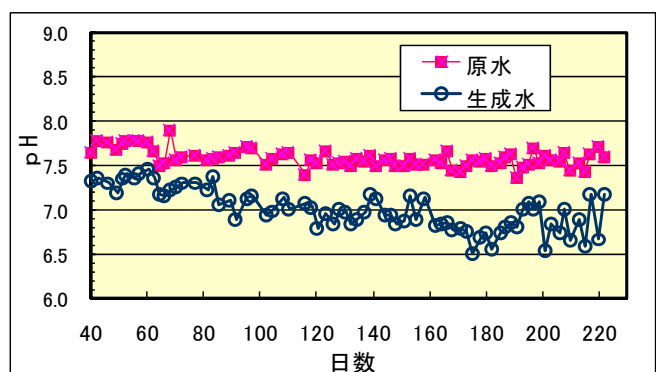


図 7 pHの経日変化 (電気透析膜装置)

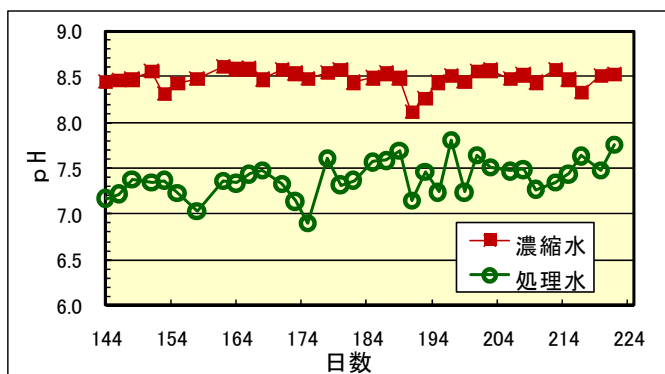


図8 pHの経日変化(浮上式生物ろ過膜脱室装置)

原水のpHは7.4~7.9(平均7.6)、生成水が6.5~7.5(平均7.0)であった。なお、生成水では、pHに影響するナトリウムイオン、硝酸イオン等が分離除去されたため、低くなったものと考えられる。

2) 浮上式生物ろ過膜脱室装置

浮上式生物ろ過膜脱室装置のpHの経日変化を図8に、全体総括を表1に示す。

濃縮水のpHは8.1~8.6(平均8.5)、処理水が6.9~7.8(平均7.4)であった。なお、濃縮水では、逆にナトリウムイオン、カルシウムイオン等が増加したため、pHが上昇したが、処理水はpH調整槽で6.5に調整したため、脱室環境としては適正なpH値⁸⁾を示した。

3. 3. 6 COD

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置のCODの経日変化を図9に、平均値等の結果を表1に示す。

原水が<0.1~0.8 mg/L(平均0.2 mg/L)、生成水が<0.1~0.6 mg/L(平均<0.1 mg/L)で、平均除去率はほぼ100%であった。

本装置はイオン化している無機物等を主に除去対象にしているため、SSや溶解性有機物の除去⁹⁾はあまり期待できないが、比較的

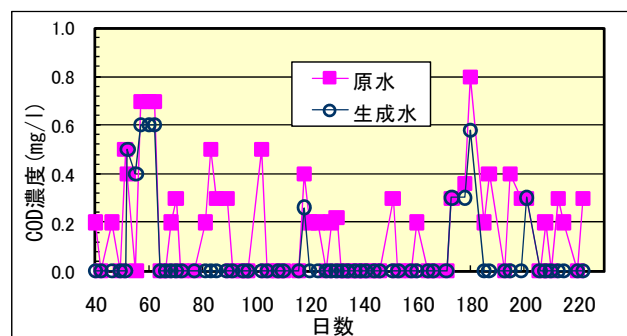


図9 CODの経日変化(電気透析膜装置)

COD物質が良く除去されていた。これは原水が透析膜を通過する際に一部SSが除去された可能性があり、このことがCOD除去等に影響したものと考えられる。

2) 浮上式生物ろ過膜脱室装置

浮上式生物ろ過膜脱室装置のCODの経日変化を図10に、全体総括を表1に示す。

濃縮水が0.8~2.3 mg/L(平均1.7 mg/L)、処理水が4.8~10 mg/L(平均6.5 mg/L)と、処理水のほうがCOD濃度が高く、除去率はマイナスとなった。これは、脱室に関与しなかった水素供与体由来のCOD物質が、間欠曝気槽の好気処理でも除去しきれずに、処理水に残留したためと考えられる。

この対策としては、間欠曝気槽の好気処理時間を脱室処理に影響を与えない程度まで長くするか、粉碎汚泥溶液のBODをCOD等で速やかに把握して、粉碎汚泥溶液ができる限り過剰に滴下されないようにする等の検討が必要である。

3. 3. 7 BOD

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置のBODの平均値等の結果を表1に示す。

原水が<0.1~1.3 mg/L(平均0.5 mg/L)、生成水が<0.1~0.6 mg/L(平均<0.1 mg/L)で、平均除去率はほぼ100%であった。CODと同様に比較的BOD物質が良く除去されていた。このことについてはCODと同様な理由と考えられる。

2) 浮上式生物ろ過膜脱室装置

浮上式生物ろ過膜脱室装置のBODの平均値等の結果を表1に示す。

濃縮水が<0.1~1.4 mg/L(平均0.5 mg/L)、処理水が0.6~9.7 mg/L(平均3.8 mg/L)で、BODもCODと同様処理水のほうが濃度が高く、除去率がマイナスとなった。これにも、CODの項目で

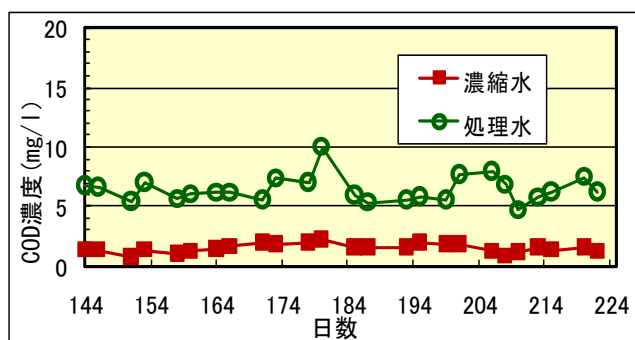


図10 CODの経日変化(浮上式生物ろ過膜脱室装置)

述べたような検討が必要と考えられる。

3. 3. 8 TOC

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の TOC の平均値等の結果を表 1 に示す。

原水が<0.1~1.5 mg/L (平均 0.7 mg/L), 生成水が<0.1~1.0 mg/L (平均 0.4 mg/L) で, 平均除去率は約 43%であった。COD および BOD と比べて除去率が低かったのは, TOC は本来, 溶解性有機物の濃度測定を主としているため, 原水に含まれている SS 由来の TOC が十分測定されず, 原水の TOC 濃度が低く見積もられたためと考えられる。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

浮上式生物ろ過膜脱窒装置の TOC の平均値等の結果を表 1 に示す。

濃縮水が 4.4~13 mg/L (平均 8.3 mg/L), 処理水が 2.6~9.9 mg/L (平均 5.3 mg/L) で, TOC も平均除去率は COD と同様にマイナスとなった。ここでも, COD の項目で述べたような検討が必要である。

3. 3. 9 SS

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の SS の平均値等の結果を表 1 に示す。

原水が<0.1~1.4 mg/L (平均 0.4 mg/L), 生成水が<0.1~0.7 mg/L (平均 0.1 mg/L) で, 平均除去率は 75%であった。COD の項目で述べたように, 透析膜を通過する際に, 一部 SS も除去されたものと考えられる。

今回実験に用いた電気透析膜装置は, 極性を変更する際に膜洗浄も併せて行うため, 今回のように SS 濃度が低い地下水であれば, これまでの実績から閉塞なく通水の継続が可能である。しかし, 今回の実験場所は森に囲まれていたため, 冬季は細かい枯葉等が原水に混じり, 装置停止までには至らなかったが, 透析膜の通水圧力が一時的に上がった。今後, このような場合の対応についての検討が必要である。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

浮上式生物ろ過膜脱窒装置の SS の平均値等の結果を表 1 に示す。

濃縮水が 0.1~3.6 mg/L (平均 2.1 mg/L), 処理水が 1.9~14 mg/L (平均 5.3 mg/L) で, 平均除去

率はマイナスとなった。これは, 生成した生物汚泥が剥離等して処理水の SS 濃度を高めたためであるが, 処理水の SS 濃度が比較的強く抑えられたのは, 浮上接触材全体が良好なる過機能を持っているためと考えられる。

浮上接触材によるろ過機能については, 浮上接触材自身の浮力と脱窒処理によって発生する窒素ガスによる浮力とが重なって, 浮上接触材全体が押し上げられると, 浮上接触材の間隙が狭くなり, 効果的なろ過機能が発揮されるものと考えられる。しかし, 時間の経過に伴い, 間隙内に生物汚泥の蓄積量が高まると閉塞するため, 定期的に生物汚泥の排除が必要となる。

この対策としては, 定期的に緩速攪拌を行って, 浮上接触材から窒素ガスを放出させ, 浮上接触材全体の浮力を低下させると, 蓄積した生物汚泥の重みによって浮上接触材全体が降下し, 間隙が広がって, 生物汚泥の一部が槽内の底部に設置した沈殿部へ降下する。生物汚泥の減少によって軽くなった浮上接触材は, 上記で述べたように浮上接触材自身の浮力と脱窒処理による窒素ガスとの浮力によって, 再び間隙が狭くなり, 効果的なろ過機能を回復する。この繰り返しによって, 良好なる過機能が長期間にわたって維持されると予想される。

3. 3. 10 T-P

1) 電気透析膜装置

電気透析膜装置の T-P の平均値等の結果を表 1 に示す。

原水が 0.16~0.31 mg/L (平均 0.21 mg/L), 生成水が<0.05~0.05 mg/L (平均< 0.05 mg/L) で, 平均除去率はほぼ 100%であった。

2) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置

浮上式生物ろ過膜脱窒装置の T-P の平均値等の結果を表 1 に示す。

濃縮水が 1.9~2.1 mg/L (平均 2.0 mg/L), 処理水が 0.42~2.0 mg/L (平均 0.80 mg/L) で, 平均除去率は約 60%であった。

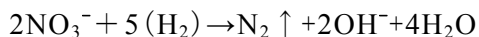
当初はりん不足による脱窒処理への影響が心配されたが, T-N 除去率も良好であったこと, 濃縮水にりんが含まれていること, 粉砕汚泥溶液からのりん補給も想定されること, 処理水にも一部りんが検出されていること等から, 新たにりん補給することなく, 現状の中で十分対応できると考えられる。

3. 3. 11 廃棄物量

廃棄物量の結果を表1に示す。

廃棄物量は0.23～1.3 g/日(平均0.79 g/日)であった。廃棄物には、引き抜き汚泥以外に浮上汚泥もあるため、廃棄物量は変動する。pH調整槽水面等に繁殖する浮上生物は、大部分が水素供与体として利用できるため、できる限りこまめに除去する必要があるが、無理に剥がすと分散して除去が困難となるため、時間の経過に伴ってできる浮上汚泥を定期的に除去した方がよい。これらを粉砕した粉砕汚泥溶液の利用により、粉末のパルミチルアルコールの添加量を大幅に減らすことが可能となった。

今回の脱窒は、粉末のパルミチルアルコールの添加量から、ほぼ以下に示す反応式¹⁰⁾に従って進んだものと考えられる。



そこで、今回の平均的窒素量は約8.7 g/日で、当初、引き抜き汚泥が十分取れない時期には粉末のパルミチルアルコールが約23 g/日必要であった。その後、時間の経過に伴い引き抜き汚泥が増加し、安定期には粉砕汚泥溶液の滴下量を多くしたことから、粉末のパルミチルアルコールの使用量は、浮上汚泥も利用した時期に、最高で約11 g/日にまで減らすことができた。なお、通常時は引き抜き汚泥のみであったため、粉末のパルミチルアルコールの使用量は約14 g/日であった。

このことから、通常、粉末のパルミチルアルコールを約38%減らした運転が可能であると考えられる。

4 まとめ

NO₃-N等で汚染された地下水の浄化技術を開発するために、電気透析膜法と当センターで開発した浮上式生物ろ過膜脱窒法を組み合わせた地下水浄化装置を用いて、実用化に向けた実験を行った。結果の概要を以下に示す。

(1) 水量は、原水が870～1,200 L/日(平均1,100 L/日)、生成水が790～1,200 L/日(平均1,030 L/日)、濃縮水および処理水が51～84 L/日(平均67 L/日)であった。なお、原水に対する生成水の水量割合は約94%で、ほぼ予定どおりの回収率であった。

(2) 水温は、原水で13.5～18.3℃(平均15.5℃)、生成水で12.0～21.1℃(平均16.6℃)、濃縮水で9.5～18.3℃(平均15.8℃)および処理水で8.9～18.3℃(平均15.3℃)であった。処理水の水温が10℃以下になることもあるため、防寒対策を考慮する必要がある。

(3) 原水の水質は、T-N濃度では平均10 mg/Lで、約100%近くがNO₃-Nであった。T-N以外の平均水質は、pHが7.6、BODが0.5 mg/L、CODが0.2 mg/L、TOCが0.7 mg/L、SSが0.4 mg/L、NH₄-Nが0.4 mg/L、NO₂-Nが<0.1 mg/L、NO₃-Nが11 mg/L、T-Pが0.21 mg/Lおよび電気伝導率が290 μS/cmであった。

(4) 電気透析膜装置によるT-N除去率は平均79%で、生成水のT-N濃度は平均2.2 mg/Lとほぼ良好であった。T-N以外の平均水質は、pHが7.0、BODが0.1 mg/L、CODが<0.1 mg/L、TOCが0.4 mg/L、SSが0.1 mg/L、T-Pが<0.05 mg/Lおよび電気伝導率が70 μS/cmであった。

また、濃縮水の平均水質は、T-Nが130 mg/L、pHが8.5、BODが0.5 mg/L、CODが1.7 mg/L、TOCが8.3 mg/L、SSが2.1 mg/L、T-Pが2.0 mg/Lおよび電気伝導率が2,700 μS/cmであった。

(5) 浮上式生物ろ過膜脱窒装置によるT-N除去率は平均96%で、処理水のT-N濃度は平均4.0 mg/Lと良好であった。また、T-N以外の平均水質濃度は、pHが7.4、BODが3.8 mg/L、CODが6.5 mg/L、TOCが5.3 mg/L、SSが5.3 mg/LおよびT-Pが0.80 mg/Lであった。

(6) 電気透析膜装置および浮上式生物ろ過膜脱窒装置を組み合わせた装置全体のT-N除去率は、68～88%(平均78%)であった。

(7) 廃棄物量は0.23～1.3 g/日で、全て粉砕汚泥溶液にして水素供与体として利用したが、T-N除去率への影響もなく、良好な除去効果が得られた。粉末パルミチルアルコールは、粉砕汚泥溶液の利用によって、通常約38%減らすことができた。また、粉砕汚泥溶液の利用はりんの供給源ともなるため、脱窒処理に良い影響を与えるものと考えられる。

(8) 粉砕汚泥溶液の滴下は、T-N除去率の向上に良い影響を与える反面、過剰に流入すると、処理水のCOD濃度等を高くすることもあるため、適正な滴下が必要と考えられる。

(9) 地下水浄化装置全体の電気量は8.7～13 kWh/m³(平均9.9 kWh/m³)であった。

以上のことから、電気透析膜法と浮上式生物ろ過膜脱窒法を組み合わせた地下水浄化装置は、廃棄物を槽外へ全く出さずに T-N 等を良好に除去できた。

参考文献

- 1) 神奈川県：第2章地下水質測定結果，平成16年度神奈川県公共水域および地下水の水質測定結果，環境農政部，121-147(2005)
- 2) 野中信一：電気透析法および生物脱窒法による地下水中の硝酸性窒素の除去，資源処理技術，**49**(2)，63-69 (2002)
- 3) 馬場義輝等：電気透析装置と生物脱窒装置による硝酸性窒素汚染地下水のオンサイト浄化，水環境学会，**26**(6)，361-367 (2003)
- 4) 明賀春樹：硝酸性窒素による地下水汚染への対策技術，環境管理，**34**(6)，575-580 (1998)
- 5) 「生物ろか装置」：平成17年4月22日特許取得(特願2002-019074)
- 6) 井上充：生物脱窒法による高濃度硝酸性窒素含有排水の処理に関する研究，しんかんきょう，**111**(1)，38-40 (2006)
- 7) 野中信一：水道水源地下水を対象とした硝酸性窒素除去，環境浄化技術，**2**(6)，24-27(2003)
- 8) 金子光美：生活排水処理システム，100，技報堂(1998)
- 9) 村田恒雄：下水の高度処理技術，209，理工図書(1992)
- 10) 井出哲夫：水処理工学，301，技報堂(1993)

政策課題研究 [平成18～19年度]

課題名：水源地域の汚染地下水浄化方法の検討