



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地下水中の硝酸性窒素トータル除去システム-電気透析法と生物脱窒法を組み合わせた硝酸性窒素除去システム-
Author(s)	荻野, 行洋; 西尾, 弘伸; 野中, 信一 他
Description	第7回衛生工学シンポジウム (平成11年11月11日 (木) -12日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 7 水処理 2 . 7-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 7, 231-236
Issue Date	1999-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7298">https://hdl.handle.net/2115/7298</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	7-7-1_p231-236.pdf



## 7-1 地下水中の硝酸性窒素トータル除去システム

—電気透析法と生物脱窒法を組み合わせた硝酸性窒素除去システム—

○荻野行洋 西尾弘伸 野中信一 石丸豊（神鋼パントック）

### 1. はじめに

農耕地（主として畑地）への窒素系化学肥料の多投入や、家畜の糞尿の浸透により、地下水が硝酸性窒素に汚染されている事例が増加傾向にある。

硝酸性窒素は人間の代謝生成物でもあるが、乳幼児が多量に摂取すると酸素欠乏症であるメトヘモグロビン血症を引き起こす。また、発ガン性の疑いのあるニトロソアミンの生成にも関与しているといわれている。

表流水や汚染されていない井戸など、代替水源を有する自治体では、汚染された地下水をこれらの代替水源で希釈するか、また代替水源のみにて対応（汚染水源を放棄）されている。しかし、これら汚染地域の中では代替水源を確保出来ない地域も多く、硝酸性窒素汚染は深刻な問題となっている。

このような地下水に対して、筆者らは、電気透析法を適用した硝酸性窒素除去を行い飲料水として、安定した供給を実現している。またこの濃縮排水に対して生物脱窒法の適用の実証実験を行い、硝酸性窒素を系外に排出しないクローズドシステムを開発したので紹介する。

### 2. 硝酸性窒素の除去技術

硝酸性窒素は、イオンであるため、従来の浄水処理では取り除くことが出来ない。現状実用化されている硝酸性窒素除去技術には以下のようなものがある。

- 1) 物理化学的手法 : 逆浸透膜法、イオン交換樹脂法、電気透析法 など
- 2) 生物化学的手法 : 脱窒菌による生物脱窒法

物理化学的方法では、硝酸性窒素は濃縮水、あるいは再生排水側に移動するだけであり、この排水をそのまま放流すれば、水域の富栄養化の原因となる。環境保全の立場から、この排水は何らかの方法で処理すべきである。

一方、生物処理は、硝酸性窒素を完全無害化することが出来るものの、せっかく自然によって浄化されてきた水を2次汚染する可能性がある。上水として給水する場合には、後に再曝気槽や凝集・沈殿・砂ろ過といったプロセスの必要性が問われる。

地下水が硝酸性窒素によって汚染されていることが問題になる場合、硝酸性窒素のみが問題になり、他の水質基準項目は基準値をみたしていることが多い。

従って、給水目的として硝酸性窒素を取り除こうとした場合、2次汚染の心配のない物理化学的手法が有効な方法と考えられる。中でも、電気透析法は、設備設置費用やランニングコスト、また維持管理性において非常に有効なシステムである。

### 3. 硝酸性窒素のトータル除去システム

こうした考えから、硝酸性窒素の除去に電気透析法を、また発生する濃縮排水処理に生物脱窒法を適用し硝酸性窒素を無害化する、硝酸性窒素を浄水場外へ排出しないクローズドシステムを提案している。(図1)

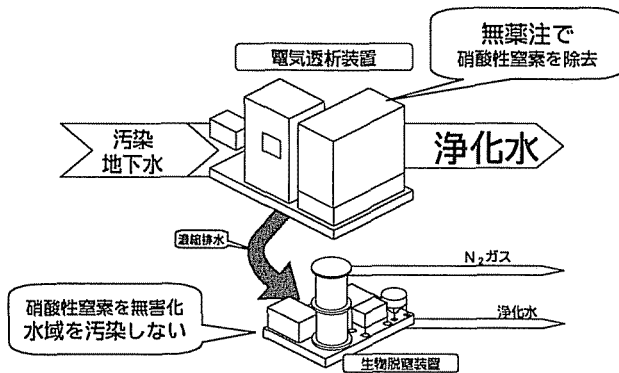


図1 硝酸性窒素トータル除去システム  
(電気透析法+生物脱窒法)

我々が適用した電気透析法は、極性転換方式を採用しており、通常の電気透析で必要となる、膜面へのコロイド付着や電極へのスケーリング防止のための薬注(酸添加)を全く必要としない、低ランニングコストかつ維持管理の容易な装置である。

濃縮排水処理に適用する生物脱窒法は、グラニユール方式を採用しており、こちらも汚泥の引き抜き以外特別な維持管理を要しない。

### 4. 実設備概要

#### 4-1 納入実績

長崎県加津佐町に、硝酸性窒素除去目的としては国内第1号機となる、極性転換式電気透析装置を平成10年3月に納入しており、現在まで安定して運転されている。また、生物脱窒法による濃縮排水処理を付加した、本トータル除去システムの第1号機を長崎県南有馬町に納入、平成11年10月稼働予定である。

ここでは、加津佐町の実装置の電気透析装置の運転状況と、生物脱窒装置の実証実験結果を報告する。

#### 4-2 加津佐町実施設(宮原簡易水道)の概要

長崎県加津佐町宮原地区は、馬鈴薯の栽培の盛んな地域であり多量の窒素肥料を使用している。6月から9月までの間、利水権が農業用水にあるため、飲料水として地下水を利用しなければならないが、この地下水に水道水質基準を超える濃度の硝酸性窒素が含まれている。宮原簡易水道浄水フローを図2に示す。通常は表流水を取水して凝集沈殿+砂ろ過プロセスにて浄水処理を行っているが、6月~9月までの間、地下水を利用しなければならない期間のみ前塩素+砂ろ過水を電気透析によって処理している。

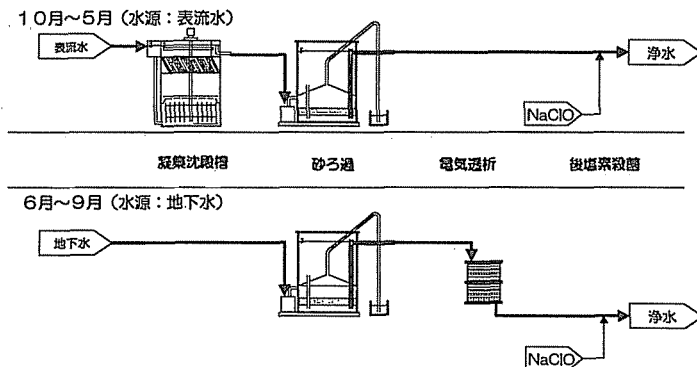


図2 宮原簡易水道フロー

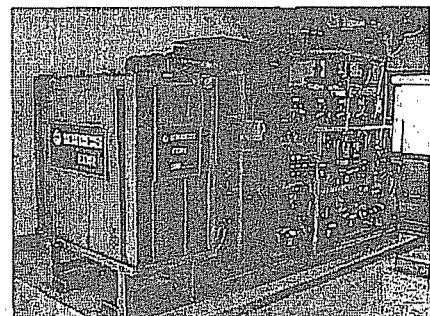


図3 宮原簡易水道電気透析装置

## 5. 電気透析装置運転状況

### 5-1 極性転換方式

通常電気透析では、電極へのスケーリングや膜面へのコロイド付着防止のため、電極液や濃縮水側に酸を注入する必要がある。極性転換方式では、一定時間毎に電極の極性を切り替え、発生するスケールや付着したコロイドを電気的に溶出・脱着することができ、薬品を一切必要としないシステムである。(図4)

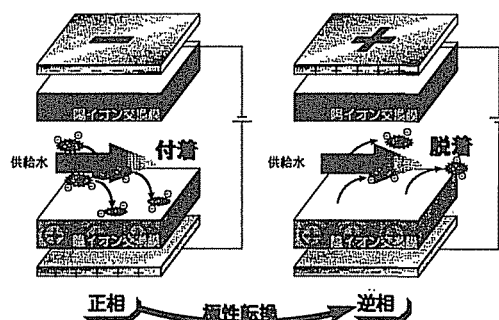


図4 極性転換による自己洗浄

これにより、薬品使用によるランニングコストを抑える

ことができ、また薬注設備に必要なスペースを省く事ができる。薬品の補充や薬注設備のメンテナンスが不要になるなど、維持管理性の面でも優れた装置である。

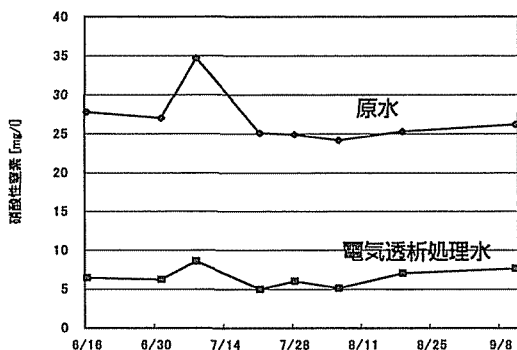


図5 硝酸性窒素除去状況

### 5-2 運転状況

図5に硝酸性窒素の除去状況を示す。設計段階では18mg/lであった硝酸性窒素は、稼働時にはこのように大幅に設計値を上回る数値で推移している。しかし、電気透析装置は、原水の濃度によらず、除去率75.8%、処理水硝酸性窒素平均濃度6.5mg/lと安定した処理性能を発揮しており、極性転換による自己洗浄機能が有効に機能していることが分かる。

硝酸性窒素と電気伝導度の関係を図6に示す

このように、硝酸性窒素濃度と電気伝導度は良好な相関を示し、この電気透析装置では、硝酸性窒素濃度のコントロール指標として電気伝導率を使用している。

極性転換によって処理水ラインと濃縮水ラインが一定時間毎に切り替わるため、電気伝導度が所定の値になるまでは処理水を原水タンクへ返送し、既定の電気伝導度以下になって初めて、処理水として取り出すしくみである。電気透析装置の運転結果(水質)を表-1に示す。

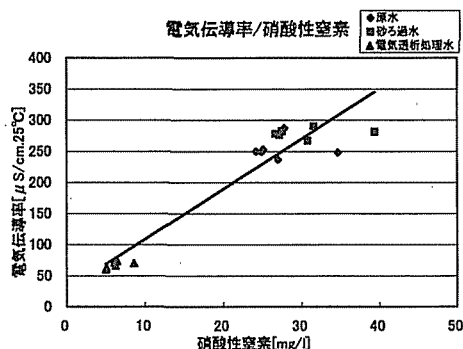


図6 硝酸性窒素と電気伝導率の関係

表-1 宮原浄水場運転結果('98年6~9月)

試料名	原水	砂ろ過水	電気透析処理水	除去率(%)
pH	6.6	6.7	6.5	-
濁度 [度]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-
色度 [度]	1	1	1	-
KNnO4消費量 [mg/l]	1.138	< 1.000	< 1.000	-
電気伝導率 [μS/cm, 25℃]	269	280	73.6	72.6
蒸発残留物 [mg/l]	245	274	78.5	67.9
鉄 [mg/l]	0.01	0.03	0.01	4.9
マンガン [mg/l]	0.003	< 0.001	< 0.001	-
7Mニウム [mg/l]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-
イオン状シリカ [mg/l]	35.6	35.5	35.5	0.4
カルシウム [mg/l]	18.9	20.3	3.58	81.1
マグネシウム [mg/l]	7.46	8.11	1.69	77.4
ナトリウム [mg/l]	20.0	13.8	5.29	73.5
アンモニア性窒素 [mg/l]	0.04	0.02	0.03	7.1
亜硝酸性窒素 [mg/l]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	-
硝酸性窒素 [mg/l]	26.9	30.2	6.50	75.8
塩化物イオン [mg/l]	13.8	16.2	3.2	77.2
硫酸イオン [mg/l]	0.49	0.53	0.12	76.0

## 生物脱窒装置実証実験

### 6-1. 実験の概要

宮原簡易水道の極性転換式電気透析装置は回収率90%にて運転していることから、ほぼ10倍程度に濃縮された(260mg/L程度)排水を発生している。この濃縮排水に対して、生物脱窒法の適用の実証実験を行った。

実験は1998年の宮原簡易水道の電気透析装置稼働期間である6/3~9/30の期間について行った。

### 6-2. 実験の目的・方法・条件

実証実験フローを図7に示す。

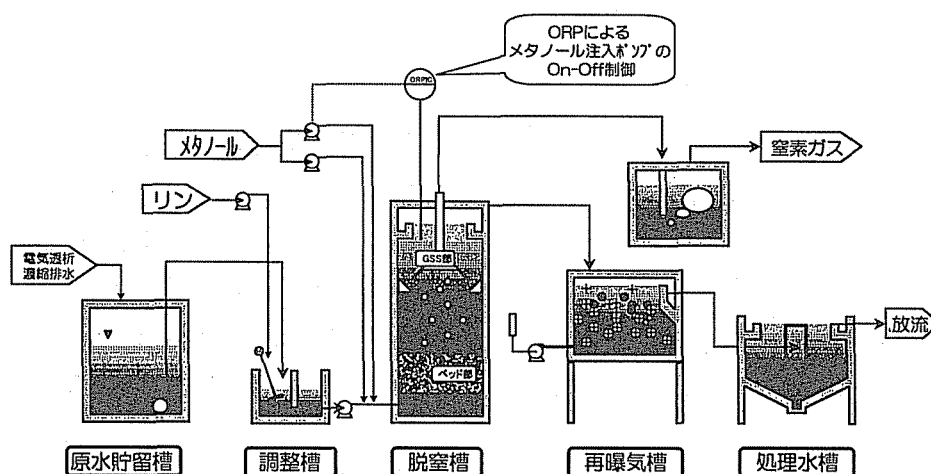
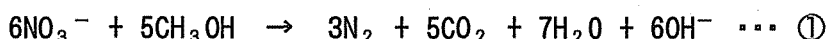


図7 生物脱窒実証実験フロー

実験に用いた生物脱窒装置はグラニュール汚泥方式で、水素供与体にはメタノールを使用した。理論注入量は①式で表すことができ、1.9gメタノール/gNO<sub>3</sub>-Nである。



実験には1年間保存した汚泥を使用したため、当初の1ヶ月はスタートアップ期間として目標とする滞留時間1hrまで徐々に負荷を上げ、スタートアップ期間の性能も確認した。

実証実験においては、主に次の2点について調査を行った。

#### 1) 脱窒槽滞留時間1hrの運転での処理安定性の確認

→メタノール注入量を理論量で固定した、  
定常条件による実験

#### 2) 水素供与体(メタノール)の最適注入方法の検討

→脱窒槽の酸化還元電位によるメタノール注入ポンプの制御実験

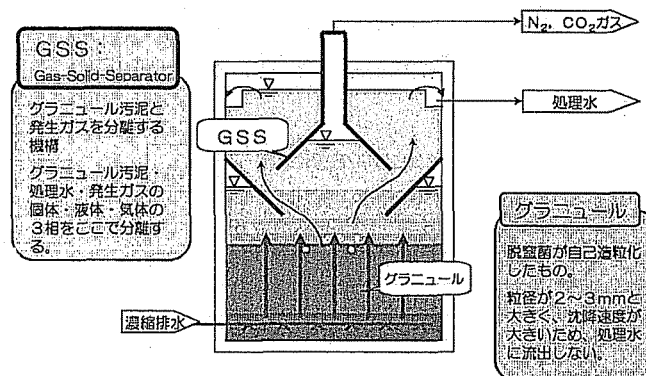


図8 脱窒槽概略構造

### 6-3. 実験結果

1) 処理安定性について(定常条件による) 定常条件における結果を表-2 および図9に示す。

定常条件において処理水の硝酸性窒素は、原水の濃度変動の大きかった35日目と48日目にメタノールの不足が生じ、処理水濃度でそれぞれ17.4、31.9mg/Lとなったが、49日目以降は原水の硝酸性窒素濃度が安定したことにより、処理水の硝酸性窒素濃度は1mg/l以下に安定して抑えられた。

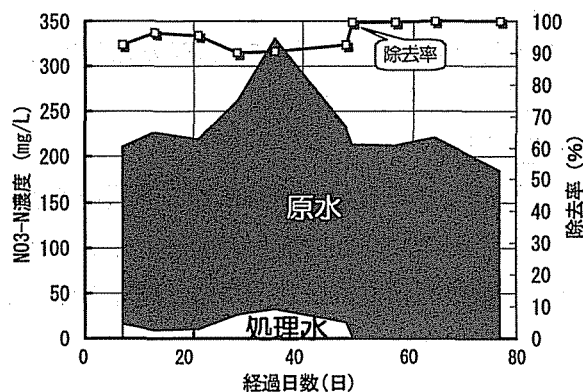


図9 硝酸性窒素濃度と除去率の推移

表-2 定常条件における水質分析結果

	原水	脱窒処理水
pH	7.3	8.4
硝酸性窒素 mg/l	185	0.2以下
DOC mg/l	0.5以下	1.6
メタノール mg/l	420*1	0.5以下
SS mg/l	-*2	2

\*1: 注入量からの計算値

\*2: ほぼゼロと予想されるため未分析

また、スタートアップ期間においても90~96%の高い除去率が得られ、原水の硝酸性窒素濃度の変動に対しても十分対応出来ることが分かった。

#### 2) メタノールの最適注入方法の検討

脱窒槽の酸化還元電位(以下ORP)にてメタノール注入ポンプのon-off制御を行った。

脱窒槽ORPとメタノール注入量の間には図10に示したように相関関係が認められ、注入量が多いほどORPは低い値となる。また、ORPが-180mVより低い場合に95%以上の硝酸性窒素除去率が得られており、ORPを指標としてメタノール注入量を制御できることが示唆された。よって、-170mV及び-200mVを制御値として、ORP制御によるメタノール注入方法を試みた。

その結果を表-3に示すが、制御値が-200mVの場合は過剰注入となり脱窒処理水のDOCは50.3mg/lに上昇した。一方、制御値が-170mVの場合は脱窒処理水硝酸性窒素にばらつきが見られ0.2~16mg/lの範囲で変化した。なお、-170mVでは脱窒処理水DOCはいずれも2.3mg/l以下であり、メタノールが過剰注入になることはなかった。以上の結果より、ORP制御値としては-200mVより-170mVが望ましいと言える。

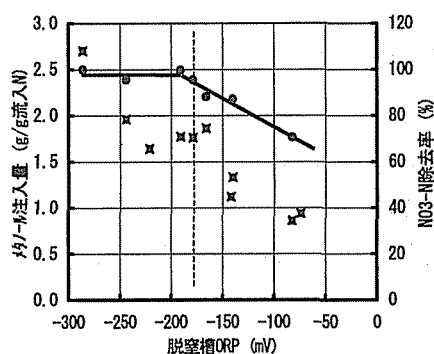


図10 メタノール注入量および硝酸性窒素除去率

と脱窒槽酸化還元電位の関係

表-3 メタノール注入ポンプ制御結果

脱窒槽	ORP制御値	
	-200mV	-170mV
メタノール注入量 g/gN	2.7	1.8~2.1
処理水硝酸性窒素 mg/l	0.2以下	0.2~16
処理水DOC mg/l	50.3	1.0~2.3

## 7. まとめ

硝酸性窒素のトータル除去システムとしての電気透析法及び生物脱窒法の各プロセスにおいて以下の実績及び知見を得た。

### 電気透析法

1. 平成10年6月～9月までの運転結果より、減水の平均硝酸性窒素濃度は26.9mg/l、電気透析処理水は6.5mg/l（除去率75.8%）と安定して処理している。
2. 硝酸性窒素除去の状況から、電極へのスケール付着が認められず、極性転換が有効に機能している。
3. 電気透析における電力費は、処理水1m<sup>3</sup>当たり0.6Kwhと安価である。

### 生物脱窒法

1. 脱窒槽の種汚泥に1年間保存したグラニュール汚泥を使用した場合、約1ヶ月で滞留時間1hrで処理できる。
2. 脱窒槽を滞留時間1hr、硝酸性窒素負荷4～6kg/m<sup>3</sup>・dの条件で運転したとき、濃縮排水に含まれる200～300mg/lの硝酸性窒素を1mg/l以下に安定して除去できることが確認された。
3. 水素供与体にメタノールを用いる場合の必要供給量は1.8g/g流入Nであり、理論値とほぼ一致した。
4. メタノールを過不足なく脱窒槽に供給する方法としてORP制御注入が有効であり、-170mVを制御値として運転した場合、脱窒処理水として硝酸性窒素0.2～16mg/l、DOC<2.3mg/lが得られた。

## 8. おわりに

これらの結果から、現状実用化されている技術では、本トータル除去システムはランニングコストや維持管理性の面で有効なシステムと考えられる。

また、本システムは、環境庁の「硝酸性窒素浄化システム技術実証調査」の技術システムとして採用されており、今後も研究開発を進めていく予定である。

---

## 参 考 文 献

- 1) 厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課, 平成8年度水道統計 水質編
- 2) 水道産業新聞記事 1998年7月23日付
- 3) 西尾弘伸ら(1998), 電気透析法による地下水中の硝酸性窒素除去, 日本水道協会関西地方支部第42回研究発表会講演集, p. 86-89
- 4) 野中信一ら(1998), 生物脱窒法による電気透析濃縮排水中の硝酸性窒素の除去, 日本水道協会関西地方支部第42回研究発表会講演集, p. 181-184