

II - 555

電気透析法による下水の高度処理
—主に窒素の除去について—

日本大学生産工学部 正会員 佐藤 克己
日本大学生産工学部 正会員 大木 宜章
都立工業高等専門学校 正会員 三森 照彦
道都短期大学建設科 正会員 大沢 吉範

1. 序文

現在の下水処理における窒素の挙動をみると流入する有機態窒素・アンモニア態窒素は活性汚泥法などの生物処理により窒素硝化が進み、亜硝酸・硝酸態窒素に変化し放流されており、これらの硝化窒素から、いかに脱窒を計るかが課題とされている。また、電解処理による下水の処理では、過去の研究によってSS、 PO_4^{3-} や有機物の除去が実証されている。

本研究は、生物処理、電解処理などで除去が困難であり、富栄養化の原因である窒素が電解質であることに着目し、これを電気透析法によって処理を試み、その知見をまとめたものである。

2. 実験装置

装置は、処理槽、アノード槽、カソード槽の三槽からなるバッチ装置を用いた。処理槽と各電極槽の容量は300mLとした。処理槽は陽イオン交換膜でカソード槽と、陰イオン交換膜でアノード槽とに仕切った。また極板には陽極、陰極ともチタン板を配し、カソード槽、アノード槽には水道水を使用した。試料は標準活性汚泥法による処理水を電解処理法によって前段処理してSS、 PO_4^{3-} を除去した。しかし、アンモニア態窒素が低濃度であったため、アンモニウムイオンの挙動を観察しやすくする目的で NH_4Cl により N-NH_4^+ 濃度を概ね20ppmに調整し、電気透析法による実験を行った結果を以下にまとめた。

3. 実験結果・考察

膜面積当たりの電流密度と窒素の除去率の関係を検討すると、窒素の除去率は1.5～2.0mA/cm²付近に変曲点が存在したため、設定電流密度を1.5mA/cm²とし、膜間隔は、①膜の経時変化の観察、②分析測定スペースの確保などを考慮し60mmと設定した。また電気透析処理には、定電流法と定電圧法があるが、本実験では経済的に優位である定電圧法を採用した。このため詳細は省略するが、まず設定電流密度で定電流処理を行う。その際、電気抵抗は、各槽のイオン濃度変化により、経時的に変動するが、装置全体の電気抵抗が最低となったときの電圧値を用いて定電圧処理を行った。この電気抵抗が最低となる時間を最高通電点と称することとする。本実験で使用した試料水は、定電流法、定電圧法ともに膜間隔60mmで最高通電点が60分であり、1.5mA/cm²-65Vの関係であった。

3.1. 窒素の除去率

無機態窒素の除去率を図-1に示す。各態窒素とも処理時間とともに除去率は上昇し、処理終了時には100%近い除去率が得られた。除去効率の観点からみると除去率の変曲点が最高通電点である60分前後に存在した。

3.2. 窒素の物質収支

次に処理槽と電極槽の三槽を合わせた窒素の物質収支（ N-NH_4^+ 、 N-NO_2^- ・ N-NO_3^- ）を表-1に示す。表より、

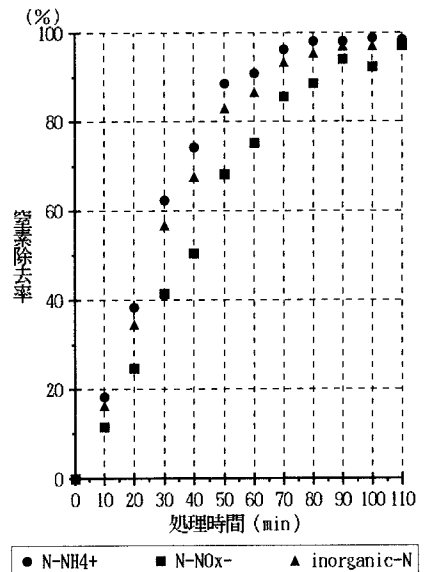
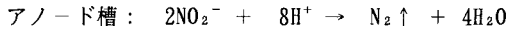
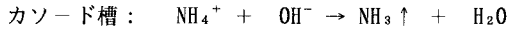


図-1 窒素の除去率

カソード槽は強塩基性を、アノード槽は強酸性を呈するため、pHの平衡状態を維持するべくカソード槽ではアンモニアストリッピングによる NH_3 の放散が、アノード槽においては NO_2^- 、 NO_3^- が還元され窒素が気化し、よって以下の反応が行われているもの推測される。



このことにより、カソード槽では、1molの NH_4^+ が NH_3 にストリップすることにより、1molの OH^- が消費され、またアノード槽においては2molの NO_2^- 、 NO_3^- が1molの N_2 に変化することでそれぞれ8mol、12molの H^+ を消費することになる。

3.3. 殺菌効果の検討

処理槽内の細菌の変化を図-2に示す。図より、明らかに本法は殺菌に対して有効と推測され、処理開始30分経過後は、ほぼ100%殺菌できた。この殺菌力は、①電気透析法での酸化還元反応の酸化力、②細菌は $\text{pH} < 3$ または $\text{pH} > 11$ の条件下では長時間生存し得ないといわれていること、③処理槽の水分解による中性攪乱現象などがその理由として考えられる。

3.4. 連続処理

連続処理条件は、前記の3.1の結果をもとに、定電圧処理で行った。なお、処理槽中の処理流速は、処理槽の容量と処理効率を考慮して最高通電点より5mL/minと設定した。この結果を図-3に示す。除去率は、満足する高い除去率、かつ安定した結果を示した。なお、処理能力を初期濃度と残存濃度の平均値で示すと、 N-NH_4^+ は20.232ppmから1.471ppmに、 $\text{N-NO}_2^- \cdot \text{N-NO}_3^-$ は14.038ppmから3.269ppmに低下した。

さらにイオン交換膜の耐久性、電極板の耐食性などの改良によって、実用的にも有用であると思われる。

4. まとめ

一般に脱塩を目的とした電気透析処理では、pH変動を引き起こさずに運転することが望ましいといわれているが、本法は限界電流以上の電流密度によって透析処理を行うため、電極槽内が強酸性、強塩基性状態になる。このため処理槽での窒素除去と、電極槽でのアンモニアストリッピングによるアンモニアの放散、亜硝酸・硝酸態窒素が還元され窒素ガスの気化が同時に起きることが確認された。さらに本法は、薬剤を使用することなく、電気エネルギーのみで処理することから、ケミカルハザードの心配が低く、また大腸菌、一般細菌の殺菌効果が認められることから、下水の高度処理に有効と思われる。

表-1 窒素の物質収支

	N-NH_4^+	N-NO_x^-	Total	pH
試料水	20.209	7.688	27.897	7.2
アノード槽	0.439	1.977	2.416	2.2
処理槽	0.366	0.586	0.952	3.4
カソード槽	13.033	0.879	13.912	11.5
物質収支	6.371	4.246	10.617	
アンモニア放散率	31.5%			
N_2 気化率		55.2%		

各槽1.000mL換算 単位: mg

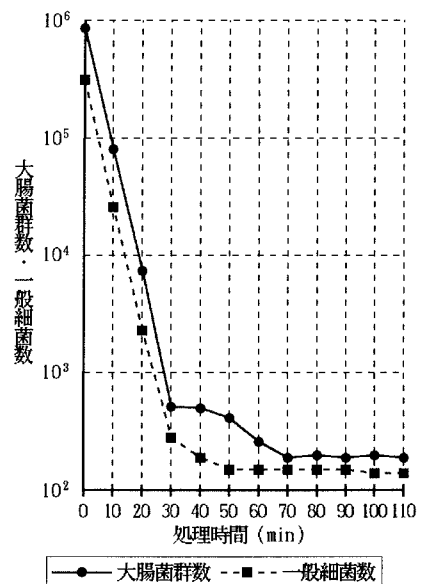


図-2 大腸菌群数、一般細菌数の推移

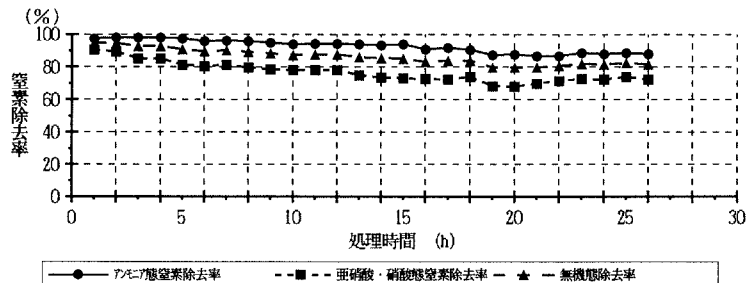


図-3 定電圧による連続処理