

課 題	難分解性 COD を除去する下水超高度処理技術の開発
代 表 者	宗宮 功 (理工学部・教授)
研究組織	竺 文彦 (理工学部・教授) 岸本 直之 (理工学部・助教授) 浅野 昌弘 (理工学部・助手) 檜尾 亮一 (理工学部・実験助手)

1. 研究発表

- (1) 岸本直之, 津野洋, 森田優香子, 大村友章, 水谷洋, 下水の電気化学処理におけるオゾン曝気併用効果, 第42回下水道研究発表会講演集, 226-228, 2005
- (2) 浅野昌弘, 岸本直之, 檜尾亮一, 竺文彦, 宗宮功, オゾン紫外線を併用した排水の超高度処理技術の開発, 第15回日本オゾン協会年次研究講演会講演集, 69-71, 2005
- (3) 檜尾亮一, 斎藤憲一, 竺文彦, 今庄博史, 浄化槽における難分解性有機物のオゾン・紫外線処理に関する基礎的研究, 第20回全国浄化槽技術研究会研究発表会(発表準備中)

2. 2005年度の研究計画

本研究は、浄化槽などの小規模廃水処理への適用を視野に入れた下水の超高度処理を達成し得る難分解性 COD 除去技術・プロセスの開発を目的とし、難分解性 COD 除去のための酸化分解処理技術を開発し、その有効性を明らかにするとともに、生物処理を含めてそれぞれの処理特性を活かした全体処理プロセスを提案するものである。2005年度は2004年度に一部実施した単位処理操作の機能評価をさらに追求するとともに、浄化槽の物質挙動評価結果および評価された単位処理操作の機能から、生物処理と酸化分解処理技術の組み合わせプロセスの検討を行い、難分解性 COD の除去が可能な超高度処理プロセスを提案した。研究全体の流れと役割分担を図1に示す。

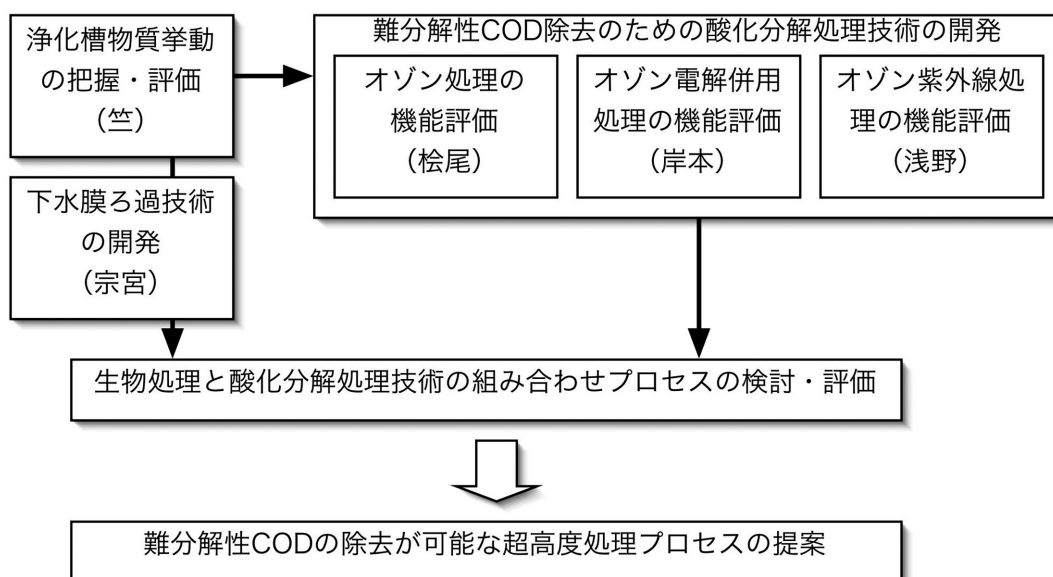


図1 研究の流れおよび各研究項目の相互関係

3. 研究実績の概要(研究経過と成果)

(1) 研究経過

小規模廃水処理プロセスを検討するにあたり、小規模廃水処理の現状や対象とする廃水の質を明らかにする必要がある。日本で実用に供されている小規模廃水施設には様々なものがあるが、中でも浄化槽はその設置数からみても、処理水量からみても間違いなく最も普及している施設とすることができる。そのため、研究においては、浄化槽を小規模廃水処理施設のモデルとし、処理対象を家庭廃水に設定して「浄化槽の物質挙動の把握・評価」を行った。また、処理技術開発については固液分離を高度化する「下水膜ろ過技術」と難分解性 COD 除去を目的とする「酸化分解処理技術」に着目して、研究開発を行った。さらに「酸化分解処理技術」については、適用する技術要素に応じて、「オゾン処理」「オゾン電解処理」「オゾン紫外線処理」に細分して研究開発を進めた。個々の項目の評価を行った後、浄化槽の物質挙動評価結果に基づき、各単位操作を組み合わせたことにより、処理対象汚濁質に合わせた処理プロセスを検討し、その機能評価を行った。以下、各項目で得られた知見をまとめるとともに、処理目的に合わせて最終的に提案するプロセスを提示する。

(2) 研究成果

(2-1) 浄化槽の物質挙動の把握・評価

一言で浄化槽といっても、戸別の 5 人槽から処理対象人員が 1,000 人を超えるような大規模なものまで存在する。高度処理導入のためにはある程度の規模が必要と考えられることから、本研究では、集合住宅廃水を処理対象とした A 浄化槽(長時間曝気方式, 24m³/d, 96人槽), 一戸建て団地を対象とした B 浄化槽(長時間曝気方式, 365m³/d, 1215人槽), 同じく一戸建て団地を対象とした C 浄化槽(接触曝気方式, 50.3m³/d, 315人槽)を調査対象とした。調査は 1 週間にわたって 1 日 1 回のサンプリング調査を行う週間調査と 1 日のうち時間帯毎にサンプリング調査を行う日変動調査を実施した。各サンプルは pH, ORP, 電気伝導度, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TOC, T-N, T-P, フミン酸を測定し、各成分の処理前後での挙動を把握・評価した。また、既存資料による文献調査も合わせて実施し、測定データを補完した。浄化槽の処理前後の水質は浄化槽毎のばらつきがあったものの、流入水質は BOD: 91~260mg/L, COD_{Mn}: 46~177mg/L, COD_{Cr}: 105~421mg/L, 処理水質は BOD: 5~18mg/L, COD_{Mn}: 16~45mg/L, COD_{Cr}: 9~62mg/L の範囲にあり、平均除去率は BOD: 92~97%, COD_{Mn}: 59~85%, COD_{Cr}: 74~94% であった。これらの結果をもとに、モデル廃水に対する浄化槽の処理機能(生物処理機能)は図 2 のように評価された。

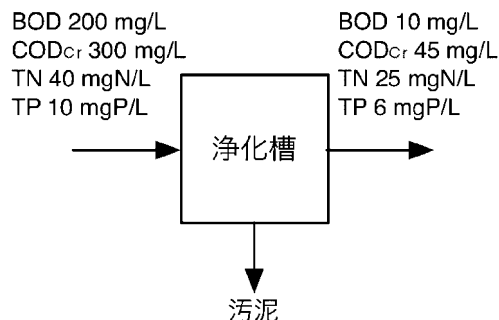


図 2 従来プロセスの典型的な処理の状況

(2-2) 下水膜ろ過技術の開発

環境の時代にマッチした高機能汚水処理システムにあっては、汚水中の有機性汚濁物をバイオマスとして回収する機能と処理水の安全性の確保機能が求められる。膜処理技術は固液分離技術である。汚水中の固形物を排除し、後段の処理プロセスへの負荷を軽減し、処理水質向上に資することは当然であるが、将来的に、汚水中の固形物を有機資源として回収し、有効利用するための基礎技術となるものと位置づけられる。一方、下水の直接ろ過を行うと膜面に微生物を含む固形性ケーキが生成し、著しい膜抵抗の増大を招くことが予想される。そこで、本研究ではオゾンによる逆洗浄工程を組み込んだ膜処理ユニットを製作し、4~5m/d 程度の高いフラックスを安定して達成することを目標としてろ過技術開発を行った。

実下水を用いて処理実験を行った結果、実質フラックス 7.82m/d で 60~68% の固形物除去率を安定的に得ることが可能であった。従来プロセスで用いられている最初沈殿池が表面積負荷率 15~30m/d、水理学的滞留時間 1.5~2 時間で固形物除去率が 30~40% しかないことを考慮すると最初沈殿池を代替する省スペース・高機能固液分離プロセスとして適用可能であることが示された。

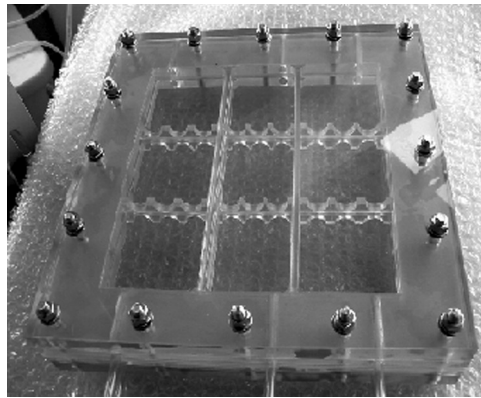


図3 膜モジュール写真

(2-3) 難分解性 COD 除去のための酸化分解処理技術の開発

2-3-1 オゾン処理の機能評価

化学処理として比較的一般に用いられる処理法としてオゾン処理があり、一部の浄水場では水道水の異臭味対策やトリハロメタン対策として実際にオゾン処理が導入されている。本研究では、酸化分解処理技術のベース技術としてオゾン処理の機能評価を行った。処理対象水には浄化槽処理水を用いた。図4に処理結果の一例を示す。

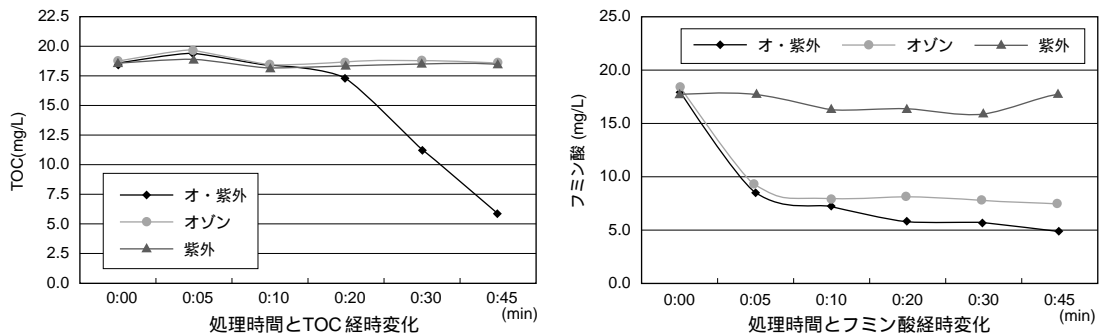


図4 浄化槽処理水のオゾン処理、紫外線処理およびオゾン紫外線処理結果例 (TOC 濃度変化およびフミン酸濃度変化)

オゾン処理は、フミン酸に代表される色度成分の除去については効果的であるが、一方で、TOC 除去にはほとんど効果がなく、有機物除去という観点からは紫外線の併用などの促進酸化処理の適用を検討すべきであると考えられた。

2-3-2 オゾン紫外線処理の機能評価

オゾン処理の機能評価の項で示したように、オゾン処理単独では必ずしも有機物の除去は十分には進まない。ここでは、促進酸化処理としてよく知られているオゾン紫外線処理を生物処理水に対して適用し、その COD_{Cr} 除去効果

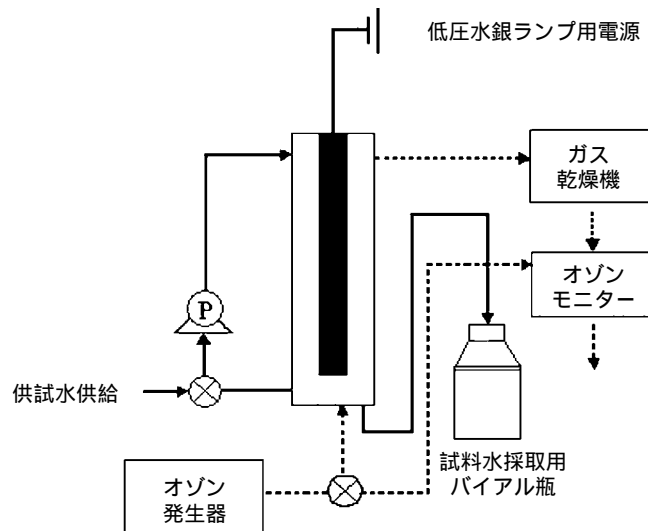


図5 オゾン紫外線処理装置の構成

を評価した。図5に試験装置の概要を示す。処理対象水にはし尿生物膜処理水、標準活性汚泥処理水を用い、オゾン濃度20~80mg/Lのオゾン化酸素を0.5L/minの流量で供給しつつ、低圧水銀紫外線ランプ(Heraeus Co., TNN 30/80, 照射出力12W)により紫外線を照射した。反応器容量は6Lであり、経時的にサンプルを採取し、pH、電気伝導度、COD_{Mn}、COD_{Cr}、カルシウム、マグネシウム、塩化物イオン、TOC、ICの測定を行った。

一例として標準活性汚泥処理水の処理結果を図6に示す。水中の有機物の総量を表すCOD_{Cr}が経時的に減少し、最終的にほとんど検出されなくなる様子が確認できる。し尿生物膜処理水を用いた実験でも同様の結果が得られており、オゾン紫外線処理が難分解性COD_{Cr}の除去に効果的であることが明らかとなった。

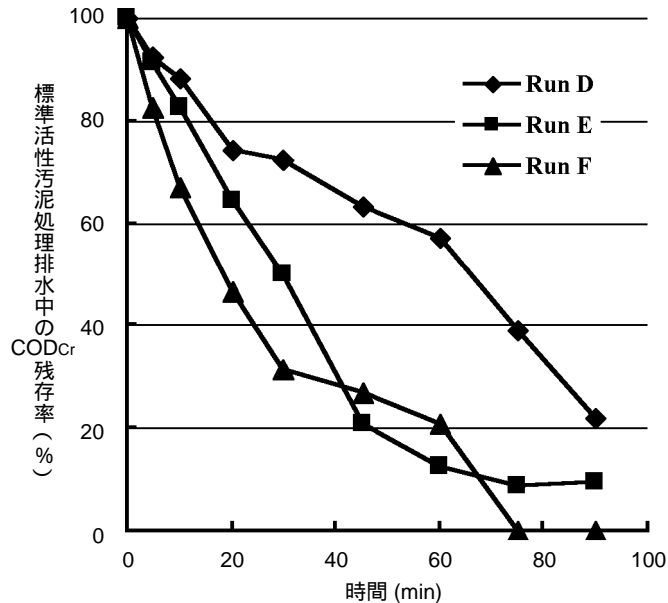


図6 標準活性汚泥処理水のオゾン紫外線処理結果 (COD_{Cr})

2-3-3 オゾン電解処理の機能評価

促進酸化処理は難分解性CODの除去に効果があるが、一方で、富栄養化原因物質である窒素やリンなどの栄養塩類除去には効果がない。ここでは、新しい促進酸化処理法としてオゾン電解処理法の開発を行った。オゾン電解処理法ではカソードにオゾンを供給することにより、オゾン還元反応を生起させ、オゾニドイオン($\cdot\text{O}_3^-$)を経て酸化力の強い水酸基ラジカル($\cdot\text{OH}$)を発生する。一方、アノードでは電極酸化反応により有機物除去が進むと同時に、塩化物イオンのアノード酸化によって生成する遊離塩素を利用したアンモニア脱窒を起こさせ、一つの反応器で難分解性CODと窒素(アンモニア)の除去を同時に行える可能性がある。実験では処理対象水として下水ろ過水や複数のし尿処理水を用いた。実験には有効容積4.8Lの単一槽型反応器や容量31cm³の流通式反応器を用いた。図7、8に実験結果例を示す。Case ACが適切な反応器を用いて適切な条件の下で処理を行った結果である。12.4分と短い処理時間で実験したにもかかわらずCOD_{Cr}は65%の除去率を示し、窒素除去率もT-Nで33%、アンモニアで58%となっており、窒素とCOD_{Cr}の同時除去が進むことが判る。本実験では処理の状況を把握するため、意図的に処理が途中までしか進まないような条件設定を行ったが、適切な条件設定を行えば、COD_{Cr}はほぼ完全除去が可能であり、T-Nも56~75%程度の除去が達成できると考えられた。

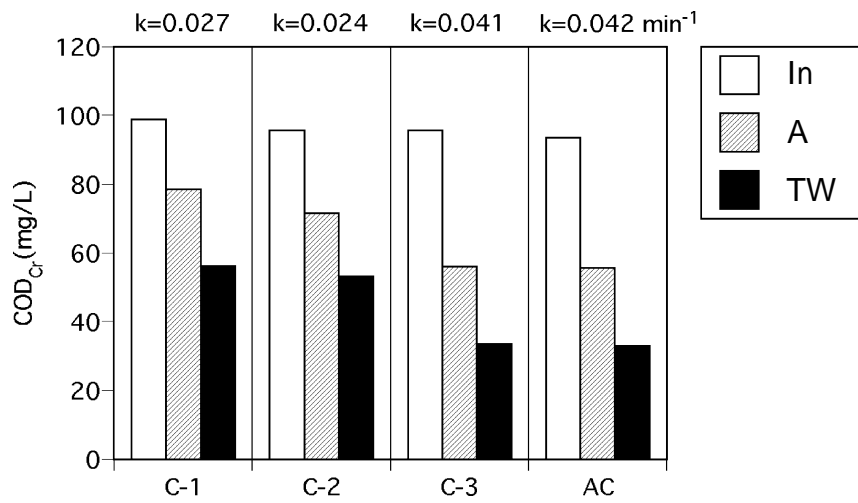


図7 流通式反応器を用いた処理実験結果（滞留時間12.4分，原水：し尿処理水）
In：原水，A：電極液，TW：処理水

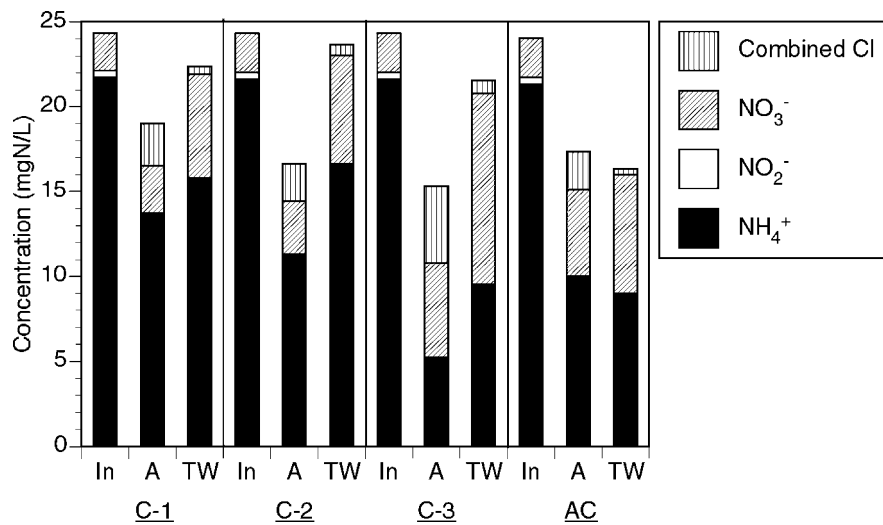
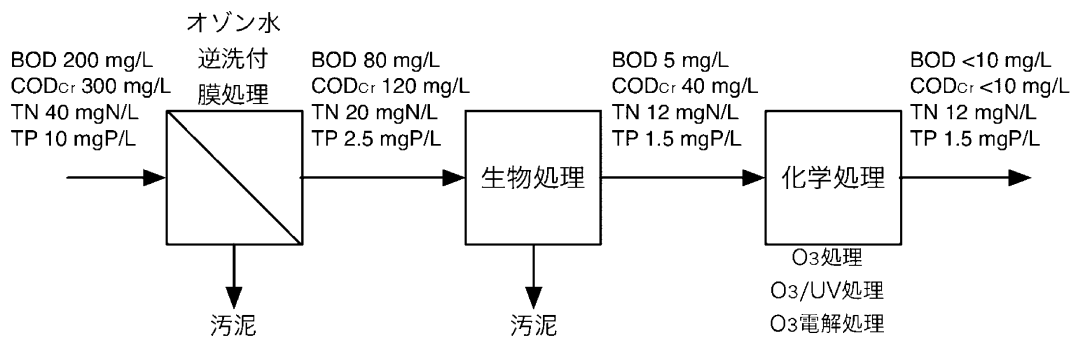


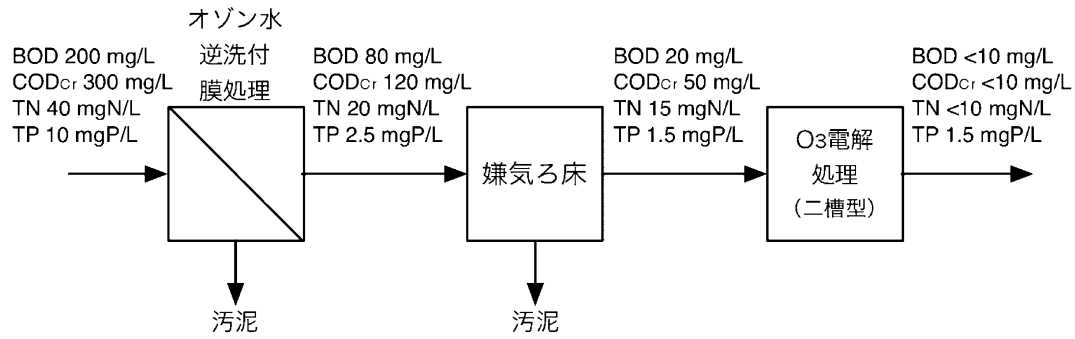
図8 流通式反応器を用いた処理実験結果（滞留時間12.4分，原水：し尿処理水）
In：原水，A：電極液，TW：処理水

(2-4) 小規模廃水処理のための高度処理プロセス

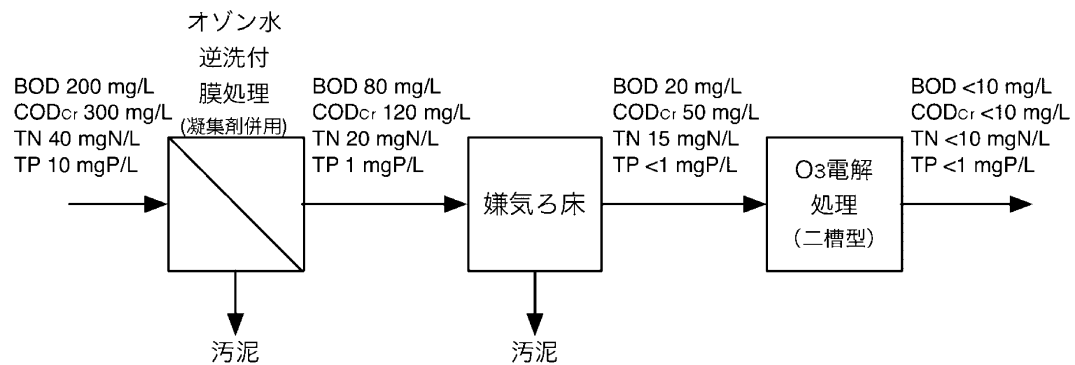
(2-1)～(2-3)の結果を踏まえ，生物難分解性 COD 除去対応型高度処理プロセス，窒素除去対応型高度処理プロセス，窒素・リン除去対応型高度処理プロセスとして，図9に示すプロセスを提案した。図9には想定される典型的な下水および処理水の水質を併記している。



(a) 生物難分解性 COD 除去対応型高度処理プロセス



(b) 生物難分解性 COD・窒素除去対応型高度処理プロセス



(c) 生物難分解性 COD・窒素・リン除去対応型高度処理プロセス

図9 提案する高度処理プロセス

なお、本研究成果の詳細については「難分解性 COD を除去する下水超高度処理技術の開発、平成16～17年度 科学技術共同研究センター 研究プロジェクト 研究成果報告書(研究代表者 宗宮 功)」と題した70ページにわたる報告書を作成しているので、そちらを参照されたい。報告書の閲覧については本研究プロジェクトメンバーのいずれかに問い合わせ下さい。