

報告

雑排水の循環利用処理施設の実態調査

木村賢史 三好康彦 嶋津暉之
紺野良子

1 はじめに

近年、大型事務所ビル等では水の有効活用のため、雑排水等の循環利用が多種多様な処理方式で進められている。東京都（都市計画局）が指導した事業所だけでも平成3年9月現在、250件に及び、自主的に循環利用を行っている事業所も含めると、実際の事業所数はさらに上回ると考えられる。これら循環利用施設、とりわけ個別循環方式では、ビル内に設置するためコンパクトでかつ良好な処理水質が得られるよう高度な処理技術を導入する等、工夫がなされている。本研究は、これらの処理方式や施設が工場排水等の高度処理にも活用できる面が多々あるのではないかと考えの下に、その可能性の検討を行うものである。この一環として、平成4年度は都内事務所ビル等の雑排水循環利用処理施設の実態調査を行ったので報告する。

2 調査方法等

調査は、アンケート調査と現場調査とで行った。調査対象は、都市計画局の循環利用事業所名簿を参考に選定した。

(1) アンケート調査は、原則として都内の処理水量50 m³以上の循環利用処理施設から業種等を考慮し、40施設を選定し、郵送方式により行った。調査項目は、施設の処理能力や処理方式、処理コスト、処理施設の充填材、使用薬品等22項目である。

(2) 現場調査は、アンケート調査対象施設の中から、処理方式等を考慮に入れ、10施設を選定した。調査項目は原水、処理水等の各処理工程でのpH、BOD (ATU-BOD)、COD、窒素、りん、TOC等20項目である。水質の分析はJISK 0102で行った。

(3) 処理方式の明示：本文の図では処理方式を次のように略称で表示した。

①「回接」は、回転板法と接触酸化法を組み合わせた

もの。

②「圧活沈生ろ」は、加圧浮上法、活性汚泥法、沈殿、生物ろ過法を組み合わせたもの。

③「圧回沈UF炭」は、加圧浮上法、回転板法、沈殿、UF処理（限外ろ過法）、活性炭法を組み合わせたもの。

④「活ろ」は、活性汚泥法と砂ろ過法を組み合わせたもの。

3 調査結果と考察

(1) アンケート調査

アンケート調査をした40施設のうち、回答のあった37施設の結果は以下のとおりである。

ア 調査対象施設及び処理方式

アンケート調査した施設は、ホテル・デパート等の業務用ビルが20、飲食店や事務所から成る複合ビル5、学校関係5、庁舎等の公的機関7の計37ヶ所である。37施設を処理方式に分類すると、生物処理+UF処理+（活性炭）が15施設で全体の約40%を占め、最も多く採用されていた。次いで、活性汚泥（回分）+接触酸化+砂ろ過+（活性炭）が7施設（19%）、活性汚泥+（生物ろ過、砂ろ過）5施設、接触酸化+砂ろ過+（活性炭）4、生物処理+凝集沈殿+砂ろ過+（活性炭）4、回転板法1、回転板+接触酸化+脱窒素処理+土壌処理+オゾン+活性炭1であった。回転板法の1施設を除き、複数の処理方式を組み合わせて処理していた。

イ 処理コスト及び建設コスト

1 m³当たりの建設コスト（処理施設のみ）、処理コストを図1、2に示す。建設コストは、14施設平均で63万円（処理能力86~1050 m³/日）であるが、UF処理では最高が140万円と高いのに対して、その他の処理では約70万円とUF処理の1/2以下である。ただし、これには建設後10年以上経過した施設も含まれるため、過去5年以内に限定した場合、UF処理では50~140万円（処理能力約

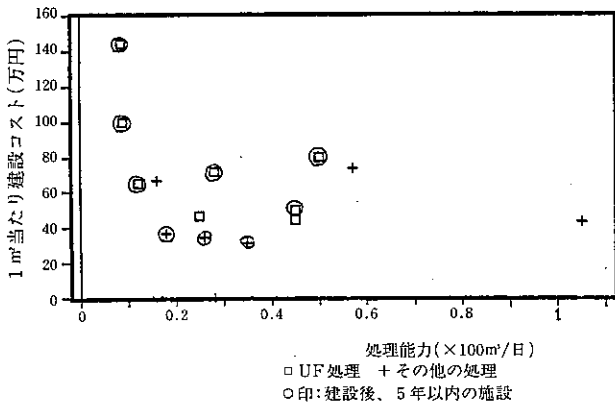


図1 雑排水循環利用処理施設の1m³当たり建設コスト

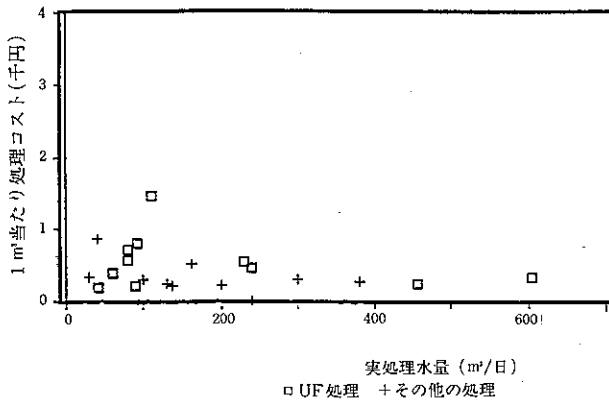


図2 雑排水循環利用処理施設の1m³当たり処理コスト(建設費は除く)

90~500m³/日)、その他の処理で30~40万円(処理能力約150~300m³/日)と全般的にはUF処理のコストが高いが、データ数が少ないため断定はできない。また、1m³当たりの処理コストは、UF処理(11施設平均)で535円、その他の処理(11施設平均)で340円、22施設全平均で437円(ただし、これらの金額には、施設の原価償却費は含まれていない。)である。東京都上下水道料金が1m³当たり628円(消費税は含まない)であることを考えると、70%以上の施設は上下水道料金を下回っており、東京都水道局の調査結果¹⁾とほぼ同様の値を示していた。処理コストの内訳をみると、UF処理では11施設平均で汚泥処理費14%、電気22%、薬品等6%、人件費28%、膜等の交換費24%、その他18%に対して、生物処理を中心としたその他の処理では、5施設平均で汚泥処理費5%、電気24%、薬品等の交換費7%、人件費60%、その他15%であった。UF処理では、ほぼ均等に費用が分散して

いるが、その他の処理では人件費が約60%を占めており、維持管理に人手を要することが判る。

(2) 現場調査

ア 流入水の水質

流入水は、厨房排水と雑排水とに大別できるが、アンケート調査した37施設のうち約46%がし尿も併せて処理し、雑用水として再利用していた。流入水の水質を表1

表1 流入水の水質(平均値)

	BOD (min-max)	COD (min-max)	SS (min-max)	TOC (min-max)	Cl (min-max)	T-P (min-max)	T-N (min-max)
厨房排水 (4施設)	330 (126-597)	148 (82.2-345)	164 (60-235)	154 (58.4-316)	89.1 (60.2-131)	5.42 (1.06-11.4)	13.4 (8.41-20.6)
雑排水 (5施設)	69.5 (26.8-155)	53.4 (15-97.1)	71.3 (21-225)	28.4 (12.6-53.3)	47.3 (26.5-81.5)	1.36 (0.37-4.01)	8.15 (2.73-26.4)
総合排水 (2施設)	109 (67.3-132)	150 (84.4-227)	301 (188-227)	27.0 (11.4-44.2)	174 (170-177)	7.64 (1.81-13.7)	53.7 (14.2-105)

に示す。水質は、施設の設置されているビルの業務形態等を反映し、多様であるが、今回の調査結果をみる限り厨房排水の水質は、雑排水に比べてBODで4.7倍、COD2.7倍、SS2.3倍、TOC5.4倍、Cl1.9倍、T-P3.9倍、T-N1.6倍の値を示していた。これは、厨房排水に含まれる油分や調味料等が大きく影響しているものと考えられる。

総合排水では、し尿が含まれていることからT-Pが平均で厨房排水の1.4倍、雑排水の5.6倍、同じくT-Nでは4倍、6.5倍であった。

イ 処理方式と処理水質

処理方式と処理水質との関係を図3に示す。処理水のBOD、TOCについては、いずれも10mg/ℓ未満と処理方式にかかわらず良好であるが、CODについては3~17mg/ℓと比較的変動が大きい。図4、5にみられるようにし尿を含んだ流入水を処理している施設で処理水の

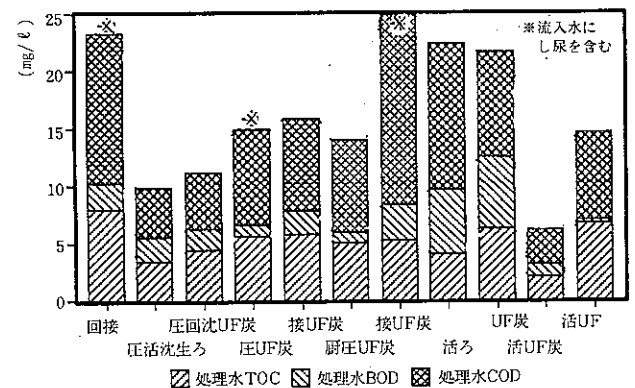


図3 処理方式別の処理水質(TOC, BOD, COD)

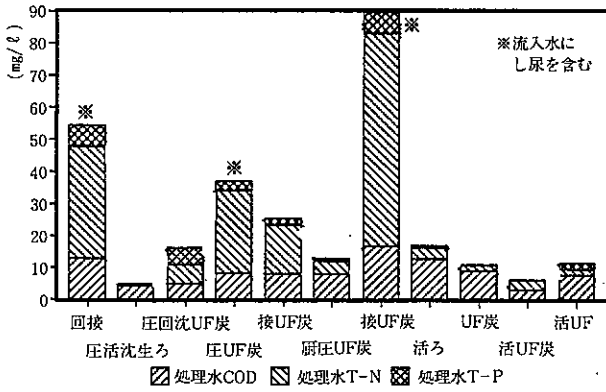


図4 処理方式別の処理水質(COD, T-N, T-P)

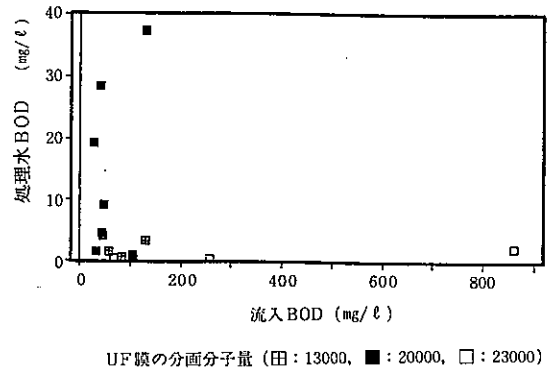


図6 UF処理膜の分画分子量別の流入BODと処理水BOD濃度との関係

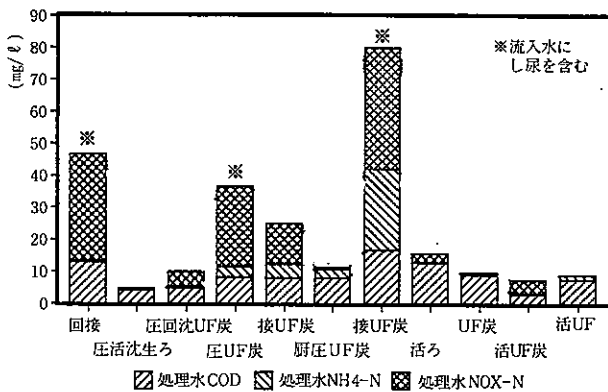


図5 処理方式別の処理水(COD, NH₄-N, NO_x-N)

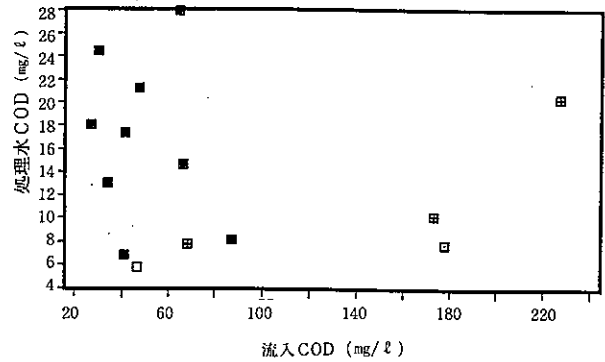


図7 UF処理膜の分画分子量別の流入CODと処理水COD濃度との関係

CODが高くなっている。この原因として、し尿中のNO₂-NがCODを高めていると考えられるが、流入水のNO₂-Nを測定していないので断定はできない。

また、今回の調査結果から、BOD、COD、TOC、T-N、T-Pいずれも良好な水質を示したのは、加圧浮上(凝集剤添加) + 活性汚泥 + 沈殿 + 生物ろ過と活性汚泥 + UF処理 + 活性炭の二つの処理方式であった。特に、前者の処理方式の場合、厨房排水が含まれていることから流入水濃度は高いが、前段で凝集剤を添加した加圧浮上により懸濁性の汚濁負荷が軽減されるため、その後の処理が順調に進み有機性汚濁物や窒素・リンの除去率の向上に寄与していると考えられる。

(3) UF処理と処理水質

アンケート調査で処理方式の約4割を占めていたUF処理方式について検討した。今回調査したUF処理では、BOD、COD(図6、7)については流入水と処理水との間に、特に関係はみられず、流入水濃度に関係なく概ね70%以上の施設がBODで10mg/ℓ未満、CODで20mg/ℓ未満までに処理されていた。次に、UF膜の分画分子

量と処理水質との関係を見ると、BOD、CODの除去は分画分子量が13000~23000の範囲内では分子量や流入水濃度の大きさにかかわらず、BODでは平均7mg/ℓ以下、同じくCODではバラツキはあるものの14mg/ℓ程度の水質が多く得られている。即ち、分画分子量2万前後のUF処理では、平均でBOD90%、CODで80%以上の除去率が得られることになる。同じく、T-N、T-P(図8、9)についてみると、除去率は平均でT-N29%、T-P31%とBODやCODと比べて著しく低い。分画分子量との関係では、BODやCODと異なり、同一の分画分子量でも処理水のT-N、T-Pは大きく変動している。分画分子量2万前後では、流入水のT-N、T-P濃度の上昇とともに処理水の濃度も上昇しており、T-N、T-Pの除去は難しいことを示している。即ち、N、Pの多くが前段の生物処理時点でNH₄-N、PO₄-P等の無機態になっていることを示している。ただし、BOD、COD、T-N、T-Pについては、前段の生物処理で活性汚泥の管理を適正に

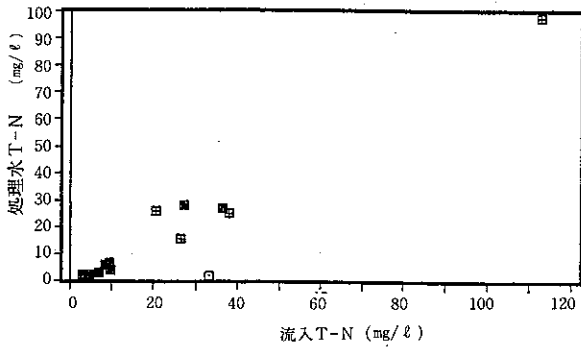


図8 UF処理での流入T-Nと処理水T-Nとの関係

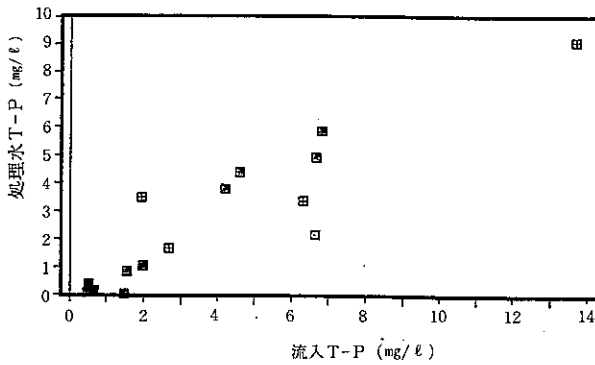


図9 UF処理での流入T-Pと処理水T-Pとの関係

行えば、さらに除去率を高めることができると考えられる。通常、活性汚泥法ではMLSS濃度を高めれば、処理水のT-N、T-P、BOD、CODは低下傾向を示す。そこで、MLSS濃度と処理水のT-N、T-P、BOD、CODとの関係(図10、11)をみると、BODについてはMLSS濃度の上昇にともない概ね低下する傾向がみられるが、他の項目は、ほとんど関係が認められなかった。この原因は、活性汚泥の引き抜きを年1~2回程度に抑えてい

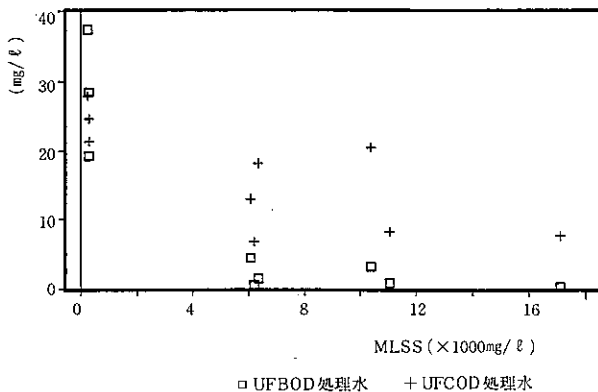


図10 UF処理前段の生物処理のMLSS濃度とUF処理水BOD、COD濃度の変化

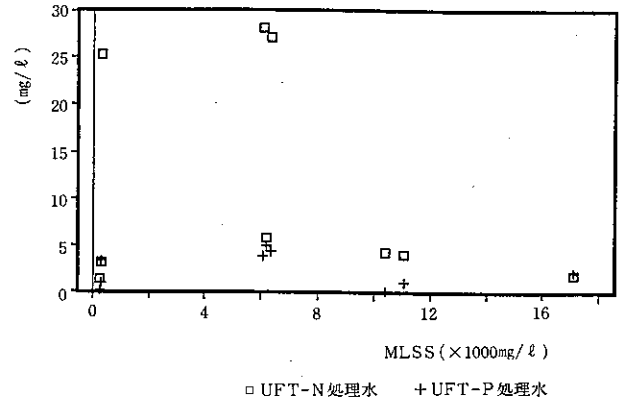


図11 UF処理前段の生物処理のMLSS濃度とUF処理水T-N、T-P濃度の変化

るため、汚泥の自己消化等が進み、活性汚泥の機能が十分発揮されていない施設があるためと考えられる。今後、UF等の膜処理方式で高い除去率を得るためには、前処理での活性汚泥の管理の適正化とともに、逆浸透処理等、さらに分画分子量の小さい膜を使用した処理法を検討する必要がある。なお、図8、9でT-Nが約20%、T-Pで30%強の除去率が得られているが、これはUF処理の前段にある活性汚泥の取り込み等によるものと考えられる。

(4) T-N、T-Pを除去する循環利用処理施設

N社では排水の循環利用を積極的に進めており、処理水の一部はさらに高度処理して緊急時の飲料水として活用している。そのため、飲料水確保までの処理は7段に

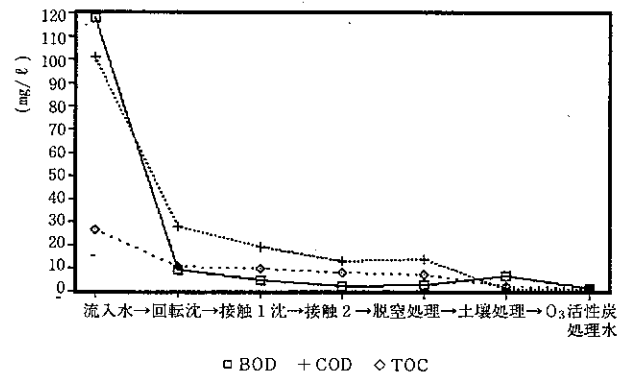


図12 処理工程別の処理水質(BOD, COD, TOC)

も及ぶ。図12に各処理工程毎のBOD、COD、TOCの濃度変化を示す。回転板+沈殿処理でBODは90%以上、CODで70%、TOCで58%の除去率を示し、その後、BODが接触酸化の2段処理でほぼゼロに近づくの対して、COD、TOCは土壌処理まであまり減少していない。即ち、BODにかからない難分解性の有機物は接触酸化

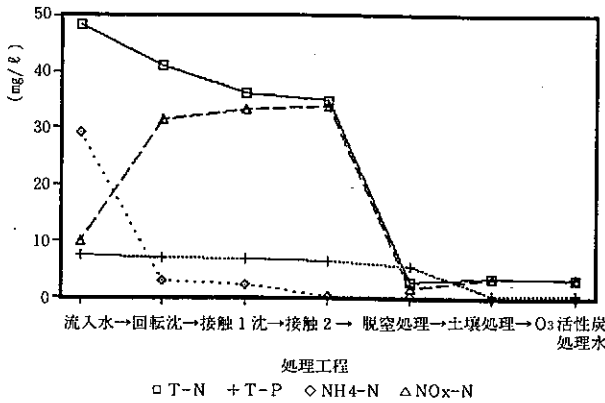


図13 N社処理工程別のT-N, T-P, NH₄-N, NO_x-Nの変化

処理では十分には処理されず、次の土壌処理で5 mg/ℓ以下まで処理されるようである。T-Nの除去では、図13に示すように回転板+沈殿処理で20%程度除去された後、メタノールを添加した脱窒素処理工程で90%以上が除去されている。なお、Nの硝化は2段目の接触酸化処理でほぼ完了しており、窒素除去の条件は脱窒処理前段で十分満足している。

一方、T-Pは土壌処理の段階までほとんど除去されず、土壌処理で90%以上が除去されている。これらのことは、土壌処理が難分解性有機物やT-Pの除去に有効であることを示唆している。

なお、脱窒処理では、小石状(直径10-20mm)の充填材が約80%充填されている脱窒素槽(1.9m³)内に10%濃度のメタノールを約50ml/hr添加した状態で、T-N約35mg/ℓの原水8m³/日を5mg/ℓ程度まで処理している。即ち脱窒素槽1m³当たり126gのT-Nが除去されている。通常、生物学的循環脱窒素法では、MLSS3000mg/ℓの場合、窒素槽1m³当たり112gのT-N除去量であるから通常の生物学的循環脱窒素法をやや上回る能力を示している計算になる。また、土壌処理では、上層に黒土68.2m³、下層に赤土85.3m³の計153m³の土壌を充填した土壌層で、T-P5.5mg/ℓの原水8m³/日を0.5mg/ℓ程度まで処理している。これまでに約24000m³の原水を処理しており、土壌1m³当たり0.78kgのT-Pを吸着したことになる。黒ボク土1g当たりのりん飽和吸着量は2.5mgである²⁾。当施設の土壌全量を黒ボク土とみなし、土壌の容積比重を1.0とし、土壌にT-Pが均一に吸着するとした場合、土壌153m³は未だ52500m³(約18年分)の原水を処理する能力を有していることになる。

5 まとめ

今回の調査結果から次のことが明らかとなった。

①37施設を処理方式に分類すると、生物処理+UF処理+(活性炭)が15施設で全体の約40%を占め、最も多く採用されていた。

②1m³当たりの建設コスト(処理施設のみ)は、14施設平均で63万円(処理能力86~1050m³/日)である。過去5年以内に限定した場合、UF処理では50~140万円(処理能力約90~500m³/日)、その他の処理で30~40万円(処理能力約150~300m³/日)と全般的にはUF処理のコストが高いが、データ数が少ないため断定はできない。

③1m³当たりの処理コストは、UF処理(11施設平均)で535円、その他の処理(11施設平均)で340円、22施設全平均で437円(ただし、これらの金額には建設コストは含まれていない。)である。上下水道料金が1m³当たり628円(消費税は含まない)であることを考えると、70%以上の施設が上下水道料金を下回っていた。

④今回の調査結果をみる限り、良好な水質が得られたのは、加圧浮上(凝集剤添加)+活性汚泥+沈殿+生物ろ過と活性汚泥+UF処理+活性炭の二つの処理方式であった。

⑤厨房排水の水質は、雑排水に比べてBODで4.7倍、COD2.7倍、SS2.3倍、TOC5.4倍、Cl 1.9倍、T-P3.9倍、T-N1.6倍の値を示していた。

⑥分画分子量2万前後のUF処理では、平均でBOD90%、CODで80%以上の除去率が得られるが、T-N、T-Pの多くが前段の生物処理段階まででNH₄-N、NO_x-N等の無機態となっているため、除去されないことが判った。

⑦今回の調査結果をみる限り、土壌処理が難分解性有機物やT-Pの除去に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 東京都水道局：雑用水道調査報告書(昭和59年3月)
- 2) 木村賢史ら：家庭用合併処理浄化槽の処理水質向上に関する研究(その2)、東京都環境科学研究所1989、p.135.