

1. はじめに

高度浄化は高度処理、三次処理、超高級処理などといろいろに呼ばれ、その意味、定義といったものもかなり差があるようである。上水道、工業用水、下水道、再利用といった立場から異なった内容となり、単位操作そのものを指している使い方もある。これらの混乱を整理し、新しい技術として注目されている単位操作または組合せた処理方法を目的別、応用範囲、適用限界などをまとめてみたい。勿論情報不足、誤認、偏見といったものがあり、研究段階にあるものも多いので予測にもとづく判断もかなりある。

2. 上水道

上水道においては、「水の高度利用」という言葉がしばしば用いられ、人為的な汚濁を受けた水源を利用し、浄水する技術を指す。目標とする水質は、水道水質基準があるため明確である。汚濁した河川水に対して、前置ろ過処理、オゾン処理、粉末活性炭処理、粒状活性炭吸着が実施されている。湖沼水の着奥に対しては、オゾン、活性炭の使用が一般的である。試みとして、生物化学的処理があり、活性汚泥法類似の方法は稼働している。接触エアーレーション類似の「接触通過法」は各地でパイロットプラント試験が行なわれているようである。

浄水における粒状活性炭吸着は、見かけ接触時間が小さく、10分以下であるが下水処理水の場合と異なる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は塩素要求量の増加を伴うので関心が高拂われており、生物化学的処理の目的の一つとなっている。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度はまだ低いので、硝化のみで脱窒素は考えられていない。 $\text{NO}_3\text{-N}$ が10ppmを超える時期はまた先のこととして考慮されている。湖沼水は過栄養化ととも見えるような状況にあり、プランクトン除去と臭気除去に大きな関心を持たれ、研究も集中している。汚濁が定常化しつつあるため、汚泥処理にや、難のある粉末活性炭処理から、オゾン、粒状炭などへの移行がみられる。上水道の高度浄化は特有の1時的な処理ではなく十分となりつつあると言える。

3. 工業用水道

下水再利用の場合以外には特に高度浄化の要求はないようである。都市下水などによる汚濁よりも工業用水にあり問題になるのは無機イオンの濃度増加である。地盤沈下などによる塩水浸入は特に各所で問題となっている。逆浸透法の最も大規模な使用は、塩分濃度の高い湖沼水の工業用水やボイラ用水に前処理しようとするものである。汚濁の影響は、イオン交換樹脂の汚染は最もよくあらわれ、有機物を除く施設が工場側で設けられている。貯水池系からのマンガンが交換樹脂に障害を与えたことがある。

4. 公共下水道

公共下水道においては、「三次処理」に統一されているようである。再利用目的以外では実施されているものはないようである。計画中のものは、凝集沈殿、急速砂ろ過といったもののようで、活性汚泥ブロックの流失を防止し、懸濁物質は起因するBODなどを除去する作用がある。リン、窒素の除去はまだ研究段階であろう。

水質汚濁防止を目的とする「三次処理」と、再利用目的の「浄水」、「造水」はや、異なっている。前者は、下水を全量処理しなければならぬが、塩素イオンなどの非栄養塩類は気にしなくてよい方が後者と異なる。「三次処理」した水でも、塩水が浸入したものは用水としては不向きなのである。

河川水の汚濁防止は、BOD除去によるDO不足の解消、SS除去によるBOD除去と沈泥の防止、ABSなどの除去による発泡防止、色度・濁度除去による外観の改善などを行うことにより達成される。環境基準以下の水質にすることは現状ではあまり意味がないので、処理目標と適用すべき技術はかなり明確である。

停滞水系の場合、リンと窒素の問題が加わる。藻類の爆発的増殖が問題とされ、リン分が制限因子と見られて

いる場合が多い。他の成分も勿論除去が必要であり、陸上からの炭素の供給が少ない時臭での制限因子の議論があるから、BODなどの除去も大いに行う必要がある。南タホー湖の例より、石灰処理を中心とするパイロット実験が行なわれている。

単位操作については後述するが、無機イオンを全量除去処理法（イオン交換、電気透析、逆浸透法）は再利用が行なわれなければならぬ適用すべきではないことを強調しておく。

5. 共同浄化槽（コミュニティ・プラント）、内陸型工業の廃水

地域社会との関連において、上水・下水とつながる大規模公共事業以外の所で高度浄化の要求が急激に進んでいる。住宅団地からのNH₄-Nによる被害に対する要求はかなり古いが、長時間エアレーション法の普及によってかなり解決されたかに見える。しかし、「公営」意識の普及と「三次処理」という言葉の先行した普及により、新規開発に対する汚濁防止の要望はきわめてきびしくなりつつある。BOD 5 ppm以下の要求は普通になり、3～1 ppmとつながる例もある。全窒素で0.1 ppm以下とする要求が水産業側から出されるようになった。工場においても、要求はかなりきつくなり、逆に企業側で先取りして5～6段以上の処理を行うといった事例も希しくなくなってきた。コミプラでは、砂ろ過はかなり前から稼働しており、粒状活性炭吸着も実施例が出ている。工場では粒状活性炭までの事例は急激に増加しつつある。

要求がさらに進むと、無機水における「クロースト・システム」を行うことになる。某医科大学化学工場が実施しようとしており、成果が注目される。

これらの事例はやや行き過ぎに属するものと思われるが、技術施展上からは貴重なものである。

このような小規模施設では、大規模の場合と同じような手法が応用されているが、管理技術者が不足することは当然予想され、正常に作動せずに単なるかさ増しになる可能性も心配されている。

6. 工業廃水

前項とは違いにしても、廃水処理の高度化もかなり行なわれるようになった。現況ではまた廃水処理の段階があることが多いが、汚濁負荷を減らす要求がもう少し進むと、工業用水使用合理化の方向に動き出すものと考えられる。廃水処理を多段に行なう場合、後段の装置容量は水量に支配されるので廃水量は少ない方が好ましくなる。高度に浄化された処理水なら、放流するよりも再利用した方が得である。再利用すればさらに廃水量が少なくなる。最終的には廃水が出なくなる。このような用水使用法には多くの場合、やはり高度浄化は必要となる。濃厚廃水と分離すること、水質別（有機汚染、無機汚染など）に廃水を別けること、循環使用、向流使用を強化すること、などでも廃水量が大幅に少なくなることが多い。廃水で処理を要するものでも間接冷却に使えることは多いし、カスケード的な使用によってかなりの水量が節約できる。水処理も集中的に行うのは最終的な場合で、工程の *on site* で中間的な水処理を行って再利用することになる。水使用の系統化が中心で合理化は促進され、高度浄化はほんの一部の働きをするだけである。

大規模な製鉄所では、いわゆる高度浄化なしでほとんどクロースト系に近くなっている。石油精製では、プロセス廃水のみに粒状活性炭吸着が採用されて再利用され、排出されるのは、雨水・無機質廃水、冷却水・ブロー水、蒸気凝結水および従業員の汚水といったものとなっている。大規模コンビナートからの排水をなくし、「クロースト・システム」化するには、残存する無機質廃水の回収、冷却系のブロー・カット操作を行なわなくてはならない。この場合、高度浄化の必要性は工場によって全く異なる。

有害金属類の除去は高度浄化としてかなり興味を持たれる。微量有害金属の選択的な除去、回収することなどで、イオン交換樹脂によって一部実用化されている。

7. 下水の再利用

下水の再利用には、直接的なもの間接的なものがある。直接的なものは、散水・リクリエーション水、農業用水、工業用水、雑用水、上水などが代表的なものである。間接的なものは、処理・処分を兼ねたものが多く

、灌漑による処理・処分と地下水としての回収、河川に放流してから混合再取水、河川維持用水に代替することによる余剰水の活用、人工地下水などがある。変わった所では、下水、廃水から、ヒートポンプなどを用いた熱回収があり、下水処理場を熱源として冷暖房を行うことができる。

これらの利用の内、高度浄化を必要とするものについて考えてみよう。

7-1. 散水

下水処理場の芝生散水はよく用いられている。ノズルの閉塞を防ぐため、マイクrostレーナを用いることが好ましい。

7-2 リクリエーション用水

我国ではあまり実施されるとは思えないが、外観の改善、栄養塩類除去といった所があるが。

7-3 農業用水

農地用は高度浄化は必要としなが、水稻用には NH_4-N を少なくする必要がありとされる。

7-4 工業用水

工業用水供給の実績はすでにかなりなくなった。施設のあるのが4ヶ所、給水されているのが4ヶ所ある。凝集沈殿、急速砂ろ過による高度浄化はすでに長期の実用試験を受け、十分稼働することが確認されていることになる。欠点などについては報告も多いため参照されたい。下水の高度浄化としては、工場内で粒状活性炭処理がすでに2年以上稼働している。さらに、ボイラ用水用目的の純水製造を試験している工場もある。公共事業としては、5万gpdの能力の粒状活性炭処理による浄水場が「実証プラント」として実施の段階となり、大規模施設として先鞭をつけることになる。

工業用水は用途によって要求される水質が変わるので、下水処理の各段階で利用可能である。高度浄化するほど地下水や上水道からの転換率を高めることが可能となる。都市下水、特に海岸に近い下水道において最も欠点とされるのは塩水浸入である。塩素イオン 100 ppm を超える用水は悪質な水として使用を嫌われる。海に近い下水処理場では、 Cl^- 1000 ppm 以上となるものが多く、「三次処理」されてもイオン濃度があまり限られ、腐食性は改善されず工業用水として使用範囲はかなり限られることになってしまう。一般に、下水道における「三次処理」は、非汚濁性物質 (Cl^- , 硬度...) の除去は行われないう。都市下水は硬度、シリカ共に高く、塩素イオンも多いことから、回収利用して濃縮率を高くする合理化が困難視され、ブロー水量を多くするが、フロム系の防食剤のような薬剤を大量に使うことになって別の問題を引き起こすことになる。

問題はあっても、工業用水は下水処理水の最大の利用先であり、今後益々増加するだろう。いわゆる「造水」は、無価値な下水処理水などから有価な良質の淡水を製造することであり、「造水産業」という言葉までつくられた。

7-5 雑用水

飲用、工業用以外の都市用水を雑用水と定義されて使われている。「中水道」という言葉があるが、下水処理水を使うという水源種別による名称である。雑用水道となると用途別による呼称で水源は別に下水処理水である必要はなくなる。日頃良質の水を用い、濁水などの時には下水を混入するといった方式があるので、用途側から考えた名称の方がより正しいと考える。

雑用水の用途は、水洗便所のフラッシュ用水が第一である。フラッシュ用水は臭気、外観についての考慮があれば特に良好な水質を必要としない。(新幹線車両の便所など) 下水処理水を砂ろ過して用いている例もいくつかある。冷房用の冷却塔補給水も、熱交換器に配管があれば特に良質な水を必要としない。洗車の事例もあるので、現在の工業用水技術(凝集沈殿、砂ろ過)または粒状活性炭処理、オゾン処理等さらに加えた方式での用途は、水洗便所用水・冷却用水、洗車用水、散水といった普通の雑用系(建築設備上の)に適用できよう。この際の水質項目は大巾に変動可能で、有機指標などはあまり意味を持たず、流す・流す・冷すといった物理的な水使

用が強調される。

家庭内における水使用には、掃除・洗濯、風呂・牛洗・炊事・飲用といった用途がある。病原菌による汚染を防止、上水道の水質基準に下水処理水を合致させるのはそれほど困難なことではない。問題点は、クロソコネフション、誤飲、長期間低濃度曝露による影響といったもので、水処理の稼働率、危険度といった考慮も必要となる。住居内における二元給水は複雑であり、安全であるとする保証もないので採用すべきではないと思う。

7-6 上水道

他水源と混用されることになる。やむを得ず上流からの下水の混入した河川水を浄水する場合とは別として、やはり人為的に混合使用することは問題は多いと思われる。低回収率による逆浸透処理で一応安全と思われるが、水処理としての安定性は今後の問題で、よほど特殊な場合には使われるべきで一般的に普及させるべきではない。

7-7 その他

深井戸に入工地下水として注水する場合は、懸濁物質除去と溶存酸素除去が必要である。

下水道からの雨水の利用は今後の研究課題がある。

8 単位操作およびプロセス

8-1 マイクロストレーナ

粗大物を下水処理水より除き、散水・機械冷却水などに再使用する。安定性がありコンパクトである。スライム制御を行う。

8-2 懸濁物質の除去

通常の方法が下水道において十分用い得ることは前述のように実証済みである。一方、敷地面積節約のため各種の変法も提案もしくは売り込まれている。沈殿では、傾斜板、管などを入れることにより整流と面積増加の効果を期待するものが多い。たしかに効果はあるが、下水処理水中には粗大物が多いので、構造が複雑なものは障害が多いことが予想できる。さらに、塩素処理によつてスライムの制御を行なわねえと固着、腐敗、スラムの発生などの障害が起きる。下水処理における急速砂ろ過は、その目的からして、上水道ほど慎重でなくともよいとする説もある。上向流・二方向流、連続ろ過、逆粒度構成多層ろ過など多くの提案、もしくは売り込みがある。いずれも洗淨にやゝ難があるので、普通的方式で十分作動するのに任せ複雑にするのは問題であろう。

沈殿を行なわないマイクロフロックスろ過、凝集ろ過といわれる方式でも十分下水処理水中の懸濁物質を除去することができ。表面洗淨または空気洗淨を十分に行なわねえと泥球を形成しやす。南砺町のパイロットプラントでは、スラムのマッドボールが発生した。

処理水の濁度をあまり問題にせず、リンの除去を行なわねえ場合、沈殿ろ過後まで直接粒状活性炭処理を行うことができる。但し、前段の生物化学的処理が、十分に作動していることが条件である。

8-3 リン除去

石灰処理を中心とするパイロットプラントが設置されている。石灰処理はアンモニアストリッピンと組合せの場合有効である。バンドン・鉄塩との比較は、薬剤の取扱いの容易さ、汚泥処理の容易さで判定されねばならない。再利用の際はリン除去はあまり必要としないが、除るに石灰を使う場合は処理水の硬度に注意する必要がある。薬剤の回収は、上水道では禁止の方向にあり、石灰処理でも同様の事態が起きるかも知れない。アルミニウム汚泥・鉄汚泥の脱水処理は実用化がかなり進んでおり、今後の実規模での比較検討を待たねばならない。

8-4 脱窒素

硝化は従来の生物化学的方法で可能であるが、脱窒素となると実用化はかなり遅れそうである。しかし、生物化学的な脱窒素は、尿処理で実施されているので、実用前期にあるといえよう。物理化学的な脱窒素は、ストリッピン・ケイオン交換が考えられている。ストリッピン・ケイオンのパイロットプラントはすでに3ヶ所ほどあるが、都市域での実施については悲観的な見通しが強い。冬期の低効率、大気中への放散、騒音、白煙、大電力消費など

が大きな欠点である。スケール障害と再炭酸化後の残存硬度の制御などはかなり困難な問題であろう。選択的イオン交換としての天然ゼオライトの使用は、イオン交換樹脂と並ぶ前処理のパーマタントなどによる軟化処理と全く同じ方法である。従って、再生剤からの NH_3 回収と既再生剤の処理もしくは回収の技術的問題が解決しさえすればよい。再生剤中の NH_4-N 濃度を 1000 ppm まで上げられることが判明しているの、もしも本格的な施設で連続試験を行うことができれば十分解決できるものと考ええる。再生を加熱によって行う提案もあるが、沈殿池を要したり、脱水などの機械的操作用を要する欠点がある。装置的にもう少し検討の余地がある。

8-5 上水道における生物化学的処理

従来法の浄水の前処理となるものである。この意味では、砂利を使用した過（=殺菌過の前段）は古くからある高度浄化法であろう。近代的なものは、都市の活性汚泥法類似のものと、接触体を用いるものとかある。前者は実用に供され、効果をあげておりようであるが、一般性があるかどうかは不明である。後者はパイロットプラント段階にある。除臭に関しては、活性炭・オゾンと競合することになる。粒状活性炭過の方が敷地は少なくなるし、有機物除去も効率がよいので、硝化を行う場合でも「限」あることになる。

8-6 活性炭処理

粉末活性炭の使用は常時使われる場合には粒状活性炭にあたる。広大な沈殿池を少なくとも2段階し、再生法も確立してはいるのである。粒状炭は固定床過として使われる。流動床は、流量変動が少ない場合に良く、移動床は懸濁物質が少なく、スライム発生も少ない場合に適する。

上水道では固定床のSVは6程度、下水処理水で2以下とされる。2以下の場合、除去率の降下はきわめてゆっくりしており、考慮炭として取り出すべき時期は判定困難である。固定床における障害は、床内が嫌気性になり、 H_2S 臭が出ることもあること、表面洗淨などを行わねば泥球を生成することであろう。概して操作は容易といえる。費用は急速砂過の2.5〜3倍であり、鋼製、鉄筋コンクリート製の優劣は、運転費に對する考え方と規模による。数万 m^3 /日以上では鉄筋コンクリート製の方が有利と認められ、4〜7 m^3 /日オーダーでは鋼製の方が優れている。

活性炭の再生は、滞留時間30分程度の多段砂、ロータリーキルンで十分行える。小規模では、維持管理の容易な外熱炉を推す人が多い。再生内係の在りて費用はかなり小さい。

粒状活性炭処理は、すでに実用段階にあり、実施施設による実績を待つて評価されることとなる。

8-7 選択的イオン交換

天然ゼオライトによる NH_4-N の除去もこれに属する。水中に大量にある非汚染性物質にはふれず、クロム、水銀といったものを除去する。工場廃水では一部実用化されている。

8-8 全イオン除去

イオン交換樹脂・電気透析の使用は、非選択的なイオン除去を行なわせることによって淡水を製造することになる。下水処理水の無機イオン濃度はあまり高くなく、再利用できるが、酸洗廃水からの用水を回収する、縮還水のブローカット運転をすればいくつか用途がある。従来と異なり、有機物汚染力がかなり強くなっているのがかなり広範囲に用いられる。電気透析法で下水の脱塩を行うのはやい効率が悪いといわれるが、TD法を用いたりすることによって可能である。濃度廃水処理を伴うので、工場廃水からの用水回収に適用する方が好ましいと思う。

8-8 逆浸透法

用水回収にかなりの効果が期待できる。下水処理水使用の実用性は確認されたが、都市下水を全量処理して、放流するために用いることは多くの無駄がある。いわゆる「逆水技術」と考えざるべきであろう。

8-9 物理化学的な下水処理

粒状活性炭の技術的基礎が明らかになったので、19世紀末の化学処理の復活が考えられている。実験的には活性汚泥法を上回る除去率が認められるが、汚泥処理、および実用性は今後のパイロットプラント試験を待つて

となる。小規模の建物内における下水回収利用は物理化学的処理が適していると考えられる。

9. 高度浄化法の選択

上水道では、将来の汚濁の予測の上に選択されねばならない。防止計画があってもその効率、年次の遅れ、汚濁源の動向といった考慮が必要である。将来、改善されることが明らかならば、銅製などの一時的な方法がよい場合もある。

下水・廃水処理では、単一ユニットに多目的な処理を期待しない方がよい。むしろ、従来の「二次処理」を十分に行う方がよいことが多いし、「三次処理」が無駄になることもあるのである。たとえば、過負荷の下水処理場では、活性炭吸着は効果がないうし、十分に作動している場合は凝集・沈降などの操作を加えても水質は悪くはない。「二次処理」を向上させた上で、除去目的物質に合致した最良の処理法を選び、組合わせて行くべきである。

建設費、維持管理費、敷地面積といった経済的な面は勿論であるが、プロセスの寿命も考えておく必要がある。つまり、数年で時代遅れ、あるいは現実と合致しなくなるかも知れないのである。従来の半永久的な施設は考えなおすべきであろう。

廃棄物がしばしば主なプロセスの構成を左右することになる。下水処理で活性炭処理ぐらいまでなら汚泥の増量は少ないと思われるが、逆浸透などを採用すると、発生する塩類量はかなりものとなる。「造水」に限らなければこの面からも言える。

処理に高度なものを期待し、環境もそれを前提とするということになると、稼働率、安定性が重要になる。あまり新奇な方法で失敗すると困るのである。再利用で水質が悪いと困るといった事態は普及してくれば重大である。

所要のエネルギーは少ない方がよい。いくら^{処理}処理効果がよくても、大量の電力を要するのは都市施設として好ましくない。大都会では発電所を新設しなければならぬ事も予想できる。

エネルギーを大量に要することを除けば、排水、水に肉するクローズド・システム（閉鎖環境系）の實現も考えられる。その技術的基礎はかなり明らかになったと考える。實現は遠い将来かも知れないが、環境の受容能力と含せて今後の研究課題となるであろう。

10. おわりに

高度浄化をシステムの表にしてしまうとあるとリッな事はまたでさう状況にはない。しかし、定性的ながら各方面の現状を論じてみた。研究よりも実用が先んじている面がかなりあり、更なることを並べてみるに付て止まってしまうように思う。