

安全な水の供給と浄水処理

1 はじめに

2015年の国連サミットにおいて、世界が目指す17の国際目標「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。その中で、6番目の目標として「安全な水とトイレを世界中に」というゴール目標があり、国際的にも水環境の安全性が明確にされている。また、世界に着目すると、日常的に安全な水が供給されておらずコレラやロタウイルスによる乳児下痢症などの感染症によって命が奪われているケースがある。さらに、洪水やハリケーンなどの自然災害後に水系感染症が蔓延することがある。特に、1854年ロンドンでコレラが大流行し、600名以上の死者を出すこととなり、その原因は井戸の水であることが明らかにされている。

地球上における環境水には、海水、湖沼水、河川水、地下水などがあるが、わが国では経済成長を優先したために世界的にも稀な公害を経験している。例えば、熊本県水俣市においてアセトアルデヒドの製造に用いられていた触媒の水銀が、水環境中でメチル水銀へと生物学的変換され発生した“水俣病”がある。また、同様の事件が新潟県でも発生し“新潟水俣病”とも呼ばれている。これらは国際的な水銀の使用を禁止した水俣条約が締結されたことから、重大な事件であったことが理解できる。さらに、富山県の神通川河口で起こった“イタイタイ病”はカドミウムが原因である。これらの事件は、すべて水環境が関与しており、ヒトの健康には安全な上水道の供給と下水道の処理は不可欠である。

2 わが国の浄水プロセス

わが国の上水道の処理プロセスは、図1に示す様に沈殿→ろ過→消毒という段階で処理されている。水道水は、必ず最後に塩素消毒が行われて各家庭にも供給されている。もし、水系感染症の蔓延が想定される場合には、残留塩素濃度を高くするなどの措置も取られる。また、水質の良い水を供給するために高度浄水処理されることがあり、オゾンや紫外線を用いた酸化処理や吸着剤を用いた物理化学的処理も併用されており、オゾン処理



図1 上水道の処理プロセス

時に炭素材料を添加する技術などもある¹⁾。上水道の処理プロセスにおいて、普通沈殿と緩速ろ過の組合せで処理された浄水は水質が良いが、広大な処理施設が必要で処理できる水量にも限りがあるため都市部で適用することは難しい。一方、薬品沈殿と急速ろ過の組合せで処理された浄水の水質は前者に比べて劣るが、処理速度は速いのが特徴である。安全な水道水を供給するため、塩素消毒が最後に行われており、蛇口からいつでも安全な水が供給されている。

わが国の下水道の処理プロセスは、図2に示す様に標準活性汚泥法が最も汎用されている。通常、一次処理→二次処理という段階で処理されており、二次処理では生物学的処理として一般的に“活性汚泥”が用いられている。活性汚泥には酸素を好む微生物の集合体や酸素を嫌う微生物の集合体からなるものがある。つまり、好気性微生物と嫌気性微生物の両者を適切に用いることにより、有害物質を効果的に除去できる。活性汚泥は、返送汚泥(図中の白矢印)として曝気槽で再利用されたり、余剰汚泥として埋立処分されたりしている。しかし、栄養塩類であるリンは、一次処理や二次処理で除去されにくい。

一般的に、閉鎖性水域において富栄養化の原因となるリンは、吸着法やイオン交換法などによる高度処理により除去されている。吸着法で用いられている吸着剤には大きく有機性吸着剤と無機性吸着剤の二種類があり、有害物質を効果的に除去できる。これらの水浄化剤による除去機構は、吸着剤表面との親和性や細孔による分子ふるいに関係しており、カラムの充填剤と同じ機能による。

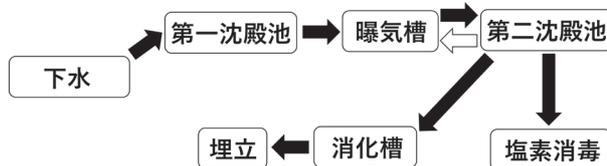


図2 下水道の処理プロセス

3 有機性水浄化剤による処理

近年、有機性の吸着剤としては、カーボンナノチューブやグラフェンなどの新材料が用いられており、種々の報告がなされている²⁾。一方で、脱臭や脱色をはじめ多くの有機物質、重金属、色素などの除去には、吸着性能が高い活性炭が用いられてきた。活性炭の原材料として、石炭や木質などが用いられ、賦活には水蒸気賦活や

リン酸賦活などが良く知られている。製造原料として食品業、農業や水産業から排出される廃棄物を用いることにより、植物性バイオマスの有効利用にもつながる。

活性炭の物理化学的性質としては、表面の官能基（フェノール性水酸基、カルボキシ基、アミノ基など）に基づく極性と細孔構造が吸着挙動に寄与することになる。これらの物理化学的性質は、原料や賦活方法に依存し詳細に研究されているが、表面官能基量の測定法としては Boehm ら³⁾⁴⁾による酸塩基滴定法が主流である。また、細孔径分布の算出には窒素吸着等温線による BJJH 法⁵⁾や DH 法⁶⁾が、さらに、比表面積の算出には窒素吸着等温線による BET 法⁷⁾が用いられている。

水環境において吸着法を適用する場合、カラムへ吸着剤を充填し水を流通する方法や反応槽において吸着剤を分散した後に固液分離する方法がある。例えば、固液分離にはアミノ酸の高分子架橋化合物であるポリグルタミン酸が有益である⁸⁾。

4 無機性水浄化剤による処理

無機性の吸着剤としては、アルミニウム、鉄、カルシウムやマグネシウムなどの水酸化物や酸化物が広く知られている。これらの吸着剤は重金属や染料などの吸着能を有する。著者はこれまでに酸化水酸化アルミニウム（ペーマイト）は、アモルファスの状態で高いリン酸の吸着能を示し⁹⁾、アルミニウム系水酸化物は焼成により脱水反応が進行するため、特徴のある物理化学的性質を有する吸着剤へと変換できることを明らかにした¹⁰⁾。これらの単一の金属から構成される水酸化物や酸化物は、吸着剤をはじめ消化器系の医薬品としても幅広く利用されている。

二種類以上の金属から構成される水酸化物や酸化物は、電池などにも利用されており、それぞれ特徴のある素材となりうる。著者は鉄とマグネシウムから成る複合水酸化物（ハイドロタルサイト）がこれまでに知られていたアルミニウムとマグネシウムから構成されるハイドロタルサイトに比べて、特徴のある吸着性能を示すことを明らかにしている¹¹⁾。複合水酸化物は二種類の金属

から構成されるもの以外に、三種類の金属から構成される複合水酸化物が開発され、種々の機能を保持した吸着剤として今後期待できるところである。無機系の吸着剤はコストがかかるため、環境水の処理剤として適用するには、経済的かつ処理したい場所で得ることができなければ使用が困難であり、いくつかの解決しなければならない課題もある。

5 おわりに

世界人口は増加しており、ヒトの健康保持といった視点から安全な水の安定供給は非常に重要である。わが国では戦後水道水が整備され安全な水が使用できているが、少子高齢化により水道水の処理設備や供給設備の改修保全に費用を要するため、自治体による水道事業の維持が困難になるかもしれない。しかし、安全な水を供給するための新しい水処理技術を開発していくことは重要な課題であるといえる。

文 献

- 1) N. Kawasaki, F. Ogata, I. Yamaguchi, A. Fujii : *J. Oleo Sci.*, **57**, 391 (2008).
- 2) M. Selvaraj, A. Hai, F. Banat, M.A. Haija : *J. Water Proc. Eng.*, **33**, 100996 (2020).
- 3) H. P. Boehm : *Adv. In. Catalysis*, **16**, 179 (1966).
- 4) H. P. Boehm : *Angew. Chem.*, **78**, 617 (1966).
- 5) E. P. Barrett, L. G. Joyner, P. P. Halenda : *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 373 (1951).
- 6) D. Dollimore, G. R. Heal : *J. Appl. Chem.*, **14**, 109 (1964).
- 7) S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller : *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 309 (1938).
- 8) F. Ogata, A. Ueda, N. Kawasaki : *J. Water Envir. Technol.*, **12**, 447 (2014).
- 9) S. Tanada, M. Kabayama, N. Kawasaki, T. Sakiyama, T. Nakamura, M. Araki : *J. Colloid Interface Sci.*, **257**, 135 (2003).
- 10) N. Kawasaki, F. Ogata, H. Tominaga : *J. Hazard. Mater.*, **181**, 574 (2010).
- 11) F. Ogata, Y. Uematsu, M. Fukuda, C. Saenjum, K. Mineaki, T. Nakamura, N. Kawasaki : *J. Environ. Chem. Eng.*, **8**, 104385 (2020).

〔近畿大学薬学部 川崎直人〕