

好気性グラニューールによる排水処理

三宅 将貴

グラニューール汚泥とは、担体ではなく細胞外に産出するポリマー（EPS）を足場として高密度に細菌同士が付着凝集して自己造粒した汚泥であり、固液分離性が非常に優れているという特徴を有する。グラニューールを用いた排水処理方法では反応槽内に生物保持量を高く維持可能であり、処理設備をコンパクトにできるというメリットがある。グラニューール汚泥といえば嫌気性処理であるUASB（upflow anaerobic sludge blanket）法に代表されるメタン生成菌を構成要素とした嫌気性グラニューール汚泥が一般的である。しかしながら嫌気性処理は対象排水種が限られていること、処理水質が好気性処理ほど良好ではなく、河川などへ直接処理水を放流する際には後段処理が必要になるなどの課題がある。一方で、好気性微生物汚泥でも図1の写真に示すような平均径200 μm 以上のグラニューール汚泥が形成されることが知られている。固液分離性に優れたグラニューール汚泥を好気性処理に適用できれば、従来活性汚泥法などが用いられていた設備をコンパクトにすることが可能である。本稿では、好気性グラニューールを用いた排水処理方法について紹介したい。

好気性グラニューールについては1990年代からヨーロッパを中心にSBR（sequencing batch reactor）法について活発に研究が行われるようになった¹⁾。SBR法とは単一の反応槽において、排水流入、曝気（エアレーション）、静置沈降、処理水排出の4工程を繰り返す処理方法である。SBRで好気性グラニューールが形成される要因としては、沈降工程の時間が短いことで沈降速度の速い汚泥が選択的に反応槽内に残ることや、エアレーションのためのガスの吹き込みにより、強いせん断力が加わることで細胞同士が強固に凝集することなどがあげられている²⁾。また、好気性グラニューール汚泥は3次元構造を有していることから、汚泥中に局所的に嫌気部、無酸素部（分子状酸素はないが、硝酸は存在）、好気部が同時に形成され、複数の機能を有した細菌の棲み分けが可

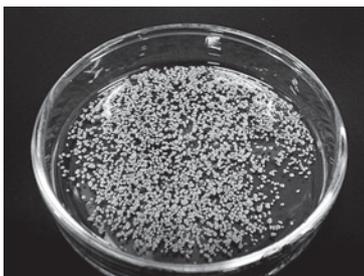


図1. 好気性グラニューール汚泥

能になる。de Kreukらは、反応槽バルク水中の溶存酸素濃度を一定以下に制御することで、グラニューール表層では好気状態を維持しつつグラニューール内部に増殖速度の遅い脱窒性リン蓄積細菌を集積させてグラニューールを安定化させ、有機物、窒素、リンを同時に処理することが可能であると報告している³⁾。

上記は主に有機性排水処理での適用例であるが、産業から排出されるようなアンモニアを高濃度に含む無機性排水処理においても好気性グラニューールの適用が検討されている。Tsunedaらは、無機アンモニア排水処理において、上向流型の好気リアクターを用いて硝化細菌を主とした平均径346 μm のグラニューール汚泥の形成と高速硝化処理に成功している。蛍光*in situ*ハイブリダイゼーション（FISH）分析により、グラニューール表層10–20 μm に分布する化学合成独立のアンモニア酸化細菌以外に、従属栄養性細菌を含むその他の細菌がグラニューールを形成していることが分かっている。このことから、従属栄養性細菌が溶菌由来の有機物を代謝することで生産するEPSがグラニューールの形成・安定化に影響していると推察されている⁴⁾。

また長谷部らは、無機アンモニア排水の硝化脱窒連続処理において、脱窒の水素供与体としての有機物を、通常は連続的に添加するところを、間欠的に添加することにより、硝化菌および脱窒菌から構成されるグラニューール汚泥の形成に成功している⁵⁾。これは前述のSBR法で排水が流入する工程と曝気処理される工程とが分離されていることで生じているような時間的有機物濃度変動を脱窒槽内に形成させたものであり、完全混合型反応槽の条件下、連続処理系でもグラニューールが形成可能な点において新しい。

好気性グラニューールが形成される現象は非常に興味深く、また、近年では実用化段階に入っているが、これまでは運転方法の最適化に焦点が当てられた研究例が多く、グラニューールが形成されるメカニズムについては未知な部分が多い。生物工学的アプローチによりグラニューール形成のメカニズムを明らかにすることで、世界でスタンダードに使用される技術となることを期待したい。

- 1) Morgenorth, E. *et al.*: *Water Research*, **31**, 12 (1997).
- 2) de Kreuk, M. K. *et al.*: *Water Sci. Technol.*, **55**, 8 (2005).
- 3) de Kreuk, M. K. *et al.*: *Biotech. Bioeng.*, **90**, 6 (2005).
- 4) Tsuneda, S. *et al.*: *Water Research*, **37**, 20 (2003).
- 5) 長谷部吉昭ら：第15回日本水環境学会シンポジウム講演集 (2012).