

氏名	蔡 偉 (Wei CAI)		
学位の種類	博 士 (環境学)		
学位記番号	博 甲 第 7946 号		
学位授与年月日	平成 28 年 9 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Volatile Fatty Acids Production from Waste Activated Sludge Pretreated by Hydrothermal Technology and Their Potential Application for Phosphorus Recovery Using Aerobic Granular Sludge Process (水熱前処理した廃活性汚泥から VFA の生産及びそれらの好気性汚泥顆粒プロセスにおけるリンの回収への潜在的なアプリケーション)		
主査	筑波大学 教授	博士 (農学)	張 振亜
副査	筑波大学准教授	工学 博士	雷 中方
副査	筑波大学准教授	博士 (学術)	水野谷 剛
副査	筑波大学准教授	博士 (工学)	ヤバール ヘルムート

## 論 文 の 要 旨

近年、廃水処理場から発生する大量の廃棄活性汚泥 (WAS) の最終処分は環境問題として重要視され、高濃度の有機物、窒素 N (2.4-5.0% DW)、リン P (0.6-2.3% DW) などが含まれるため、再資源化技術の研究開発は喫緊の課題になっている。廃棄活性汚泥は、嫌気性消化技術により炭素源として CH<sub>4</sub> や VFAs を回収することが可能であることから、活性汚泥を可溶化する適切な前処理技術の確立は環境科学的に最も重要な研究テーマの一つである。

VFAs は、6 炭素原子以下の短い炭素鎖の脂肪酸で、生物学的リンや窒素などの除去プロセスの炭素源として用いることができる。一方、VFAs は廃棄活性汚泥を嫌気性発酵することによって得ることができる。VFAs 発酵は廃棄活性汚泥に対する最も有効な処理法として位置付けられ、加水分解と酸化反応の二つのプロセスから構成される。主に固体有機物からなる WAS の可溶化は、VFAs 発酵プロセスの制限要素であるため、水熱処理のような廃棄活性汚泥の前処理を必要とする。廃棄活性汚泥の VFAs 発酵液体を、活性汚泥水処理プロセスにおいてリンの除去に炭素源として利用するとの研究報告はあるが、近年、開発された活性汚泥顆粒技法への適用に関する報告は殆どない。

審査対象となる論文は二部から構成され、1) 廃棄活性汚泥の水熱前処理が VFAs 発酵に及ぼす影響の解明、2) 活性汚泥顆粒法における VFAs 発酵液のリン除去への影響の解明、からなる。本論文の成果は、主要な環境問題として注目されている過剰活性汚泥の減量化や資源回収技術の進展への貢献も、期待されるものである。得られた成果は、下記の通りである。

廃棄活性汚泥の水熱前処理が VFAs 発酵に及ぼす影響: 著者は水熱前処理した WAS の嫌気性消化を行い、VFAs の変換効率を検討した。まずは WAS の水熱処理 (100°C ~275°C、温度保持時間 0 min) を行い、WAS の可溶化及び中温 VFAs の回分式発酵を行った結果、200°Cの水熱前処理した WAS の3日間の VFAs 発酵で VFAs 濃度は 1485.7 (mgC/L) に達し、未処理 WAS で得られた結果 (518.5 mgC/L) に比べてほぼ3倍であった。得られた各揮発性脂肪酸種である HAc、HPr、HBU、HVa の総 VFAs 量に対する割合はそれぞれ 42.8%, 16.3%, 22.3% and 18.6%であった。酢酸(HAc)は主要な VFAs 種であるが、水熱処理温度の増加に伴い、酢酸の割合が増加する傾向が確認された。さらに VFAs 発酵プロセスにおけるメタンの発生は、VFAs の蓄積によって極めて阻害されたことが明らかになった。

VFAs 発酵液を活性汚泥顆粒技法へ炭素源とした場合のリンの除去: 著者は、リンを除去するため、酢酸 (HAc) とプロピオン酸 (HPr) を活性汚泥顆粒技法の炭素源として使用して実験を行った。2種類のリアクタ sequencing batch reactors (SBRs) (Ra リアクタ (HAc 炭素源) と Rp リアクタ (HPr 炭素源)) を用いて実験を行った結果、Rp リアクタのリン除去率は 8.4 mg (P/g-VSS·d)、嫌気性 P 放出率は 0.6 mg(P/g-VSS·h) に対し、Ra リアクタにおいてより安定な顆粒形成や高いリン除去率(9.4 mgP/g-VSS·d)、高い嫌気性 P 放出率(6.9 mgP/g-VSS·h) が得られた。さらに Ra リアクタの場合、活性汚泥顆粒に高濃度のリン(78 mgP/g-SS)を含有し、リンの生物学的利用性は 45 mgP/g-SS に達し、Rp リアクタ(28 mgP/g-SS)や汚泥種(21 mgP/g-SS)より遥かに高かった。さらに微生物相解析の結果、Rp リアクタの顆粒により多く GAOs が蓄積されていることが明らかになった。

審査対象となる本論文は、水熱前処理した廃棄活性汚泥を VFAs 発酵し、分離した VFAs を炭素源とする活性汚泥顆粒技法の確立を初めて行ったものである。酢酸を炭素源とした場合の顆粒形成の安定性や、リンの除去率、嫌気性リンの放出率などに優れていることが明らかとなった。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、廃棄活性汚泥の可溶化を促進するため水熱前処理を行い、VFAs 発酵した液を炭素源として活性汚泥顆粒技法へ利用した結果、高いリンの除去効率や生物利用性が得られたことを示したものであり、世界で初めての報告例となる。水熱法で前処理した WAS の場合、高い VFAs 変換率を得たこと、さらに、VFAs を炭素源として活性汚泥顆粒技法リアクタに添加した場合、高いリンの除去率や高いリンの生物利用性が得られたことから、それらの研究成果は有望な廃棄物である余剰活性汚泥の再資源化やリンや窒素の回収技術として期待される。また、本研究で貴重な実験データが得られ、有機廃棄物の再資源化技術研究開発分野への応用に関して科学的かつ技術的な助言を提供可能とし、オリジナリティに富む研究として高く評価できる。

平成 28 年 7 月 13 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査および最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判断された。

よって、著者は博士(環境学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。