

氏名（本籍）	遠藤 雅也（新潟）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	工博甲第 251 号
学位授与の日付	平成 30 年 9 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学資源学研究科・電気電子情報システム工学専攻
学位論文題目（英文）	磁気フェライト・モーションコントロールを用いた 余剰活性汚泥の可溶化技術に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 熊谷 誠治 (副査) 教授 田島 克文 (副査) 教授 倉林 徹 (副査) 教授 水戸部 一孝

論文内容の要旨

現在、排水処理の過程で増殖する大量の微生物群、即ち余剰活性汚泥が問題になっており、これの減容化が急務とされている。余剰活性汚泥はその90%以上が水分で構成されており、これを処分するにはまず脱水処理を行った後、乾燥させ、焼却処分しなければならない。手間が掛かるため処理コストがかさみやすく、年間に発生する全産業廃棄物の処理コストに掛かる費用の内、約4割がこれら汚泥の廃棄処理に使われている。こうした点から、余剰活性汚泥の減容化は経済的・環境的效果から見て非常に重要である。

そこで私は、この余剰活性汚泥の減容化のために磁気-フェライト処理法について研究を進めてきた。磁気-フェライト処理法とは、二台の電磁石を用いてフェライト粒子と呼ばれる磁性体をモーションコントロールし、活性汚泥中に含まれる微生物細胞の細胞壁・細胞膜を破碎・可溶化する手法である。本手法は電源と電磁石のみで構成されている事から非常に構造が単純であり、準備に要するコストは非常に低いという特徴がある。私は既知の物理学的理論を用いて理論的に本手法を説明した後、余剰活性汚泥に対し可溶化処理を行い、処理前後における活性汚泥濃度・生菌数・化学的酸素要求量CODの変化を測定した。この結果、溶液中の活性汚泥の約5割を可溶化させる事ができ、これに比例してCODは増加し、生菌数は減少した。CODの増加は活性汚泥中の微生物細胞の可溶化による水分中に含まれる有機物の増加、生菌数の減少は活性汚泥の可溶化により微生物量の絶対量が減少した事に起因している。このような結果から、磁気-フェライト処理法が活性汚泥の減容化に一定の効果がある事が示唆された。

続いてこれらの研究成果をもとに、本処理法をラボ・スケールプラントに適用するための研究を進めた。具体的には、磁気-フェライト処理法を連続運転しているラボ・スケールの排水処理システムの返送汚泥ラインに組み込む事で、一定の活性汚泥濃度を維持させ続ける事が可能であるか検討した。実験期間中、システムに磁気-フェライト処理法を適用している間は活性汚泥濃度が減少し、適用していない間は活性汚泥による排水中に含まれる有機物の酸化分解が行われたため増加していた。そして実験期間終了時、プラント内に含まれる活性汚泥濃度はプラント運転前とほぼ変わらず、磁気-フェライト処理法による活性汚泥の減少量と有機物の酸化分解による活性汚泥の増加量が均衡していた事が確認された。これは余剰活性汚泥の発生が抑制されている事を示唆し、ラボ・スケールにおける磁気-フェライト処理法による余剰活性汚泥の減容化に向けて一歩近づく事が出来た。

更に微生物細胞の破碎・可溶化が明らかになった事から、溶液中に細胞のタンパク質が溶融し、タンパク質濃度が増加している可能性が考えられた。こうした事から新たな試みとして、磁気-フェライト処理法をタンパク質抽出のための機械的細胞破碎法として運用が出来ないか検討した。タンパク質の機能解明のためのタンパク質抽出手法として、現在は超音波による細胞破碎処理や、ホモジナイザーを用いた減圧処理などが用いられているが、いずれの処理においても必要な装置が高価であり、より簡便で安価な処理方法が求められている。磁気-フェライト処理は前述したように初期投資費を抑えられる特徴があり、タンパク質抽出のための新たな手法の選択肢の一つになる事が期待される。そこで、磁気-フェライト処理法を適用し微生物細胞を可溶化処理した後、処理後溶液に対し NanoDrop による分光光度計を用いた解析を行った。その結果、NanoDrop による計測において磁気-フェライト処理前後の溶液中でタンパク質の増加が確認され、本処理によりタンパク質が抽出された事が示唆された。以上の結果から、磁気-フェライト処理法によるタンパク質抽出が可能である事が確認できた。

しかし、この解析を行う過程で熱の発生が新たに問題となった。温度は細胞破碎により発生するプロテアーゼ等の分解酵素の働きを活発化させる恐れがあり、タンパク質の活性を阻害するため、タンパク質抽出の際は低温化での処理が推奨されている。そこで、小型電磁石による処理装置を新たに開発し、低温下における磁気-フェライト処理を行った。この結果、処理中の処理溶液温度は低温を維持でき、処理前のタンパク質濃度と比較するとタンパク質濃度は増加していたことから、低温下におけるタンパク質の抽出が確認された。以上の研究によって、磁気-フェライト処理法は余剰活性汚泥の減容化のみならず、タンパク質抽出のための細胞破碎法として利用できる可能性がある事が示唆された。微粒子の磁性体を動かす手法である磁気-フェライト処理法は、廃棄物ゼロを目指すゼロ・エミッション排水処理のシステムへの利用や、他の分解・破碎方法として期待できる。

論文審査結果の要旨

本論文は、交流磁場およびフェライト微粒子を用いた余剰活性汚泥の減容化技術を確立することを目的としており、持続可能な社会の実現に資するものである。本論文の内容は以下の通りである。

第1章は序論である。排水処理システムにおける余剰活性の発生状況およびその背景、そして研究の目的を述べている。

第2章では余剰汚泥の可溶化技術に関する既存の研究報告を述べ、磁気フェライト・モーションコントロール手法による可溶化技術の概要を説明している。また、研究に必要な計測方法について説明している。

第3章では余剰活性汚泥の減容化を目的に可溶化実験について検討がなされている。連続運転しているラボ・スケールの排水処理プラントシステムの返送汚泥ラインに、磁気-フェライト処理法を組み込む事で、一定の活性汚泥濃度を維持させ続ける事が可能であるかを検討した。電気磁気学の知見を応用し、交流磁場とフェライト粒子のモーションの関係を理論的に見出し、それらの知見を応用した可溶化試験が行われた。プラントシステムに磁気-フェライト処理法を適用している間は活性汚泥濃度が減少し、適用していない間は活性汚泥による排水中に含まれる有機物の酸化分解が進行したため、活性汚泥濃度は増加した。試験終了時、磁気-フェライト処理法を組み込むことで、プラント内に含まれる活性汚泥濃度は試験前とほぼ変わらなかったから、磁気-フェライト処理法による活性汚泥の減少量と有機物の酸化分解による活性汚泥の増加量が均衡していた事が確認された。余剰活性汚泥の発生が抑制されたことから、余剰活性汚泥の減容化につながる結果が得られた。

第4章では、余剰活性汚泥のバイオ資源化のための可溶化技術について検討がなされた。タンパク質の機能解明のためのタンパク質抽出手法として、現在は超音波による細胞破碎処理やホモジナイザーを用いた減圧処理などがあるが、より簡便で安価な処理方法が必要である。そこで、磁気-フェライト処理法を適用し微生物細胞を可溶化処理した後、処理後溶液に対し分光光度計を用いた解析が行われ、磁気-フェライト処理前後の溶液中でタンパク質の増加が確認された。すなわち、本処理によるタンパク質の抽出が示唆された。さらに、低温環境化でのタンパク質抽出も試みた結果、その抽出が実証された。

第5章は、得られた研究成果のまとめ、結論を述べている。

なお、本論文で得られた成果はすでに3編の原著論文として査読付きの学術論文誌に掲載されている。

本論文は、磁気-フェライト処理法が余剰活性汚泥を減容化できること、また、それがタンパク質抽出のための細胞破碎法として利用できる事を明らかにした。微粒子状の磁性体を動かす磁気-フェライト処理法は、ゼロ・エミッション排水処理システムへの応用や、物質の分解・破碎方法の一つとして産業上有望であり、将来性が高いと思われる。

以上より、本論文は、博士（工学）の学位論文として合格と認める。