

2011 年度末での日本国内の下水道普及率は75.8%に達し、これに伴い発生する下水汚泥量は固形物換算で年間220万トンにも達している。下水汚泥は、固形分の約80%が有機物であり、国内の有機系廃棄物の約30%を占めることから、質・量ともに安定したバイオマスエネルギー資源である。しかし、分解されにくいことから、バイオガスや汚泥燃料としてのエネルギー利用率は13.7%と低く、約70%は焼却処分されている。また、下水中には窒素、リンが多く含まれ、閉鎖性水域の富栄養化対策として下水の高度処理対策が必要となっていると同時に、下水や下水汚泥からのリン回収や資源化も重要な検討課題である。このような状況下、バイオガスを回収できる嫌気性消化プロセスは、減容化だけでなくエネルギー回収という観点から見直されている。しかし、嫌気性消化は長時間の処理時間を要するだけでなく、固形物の分解率も50%以下と低いために、効率の悪い処理法とされている。本研究では、嫌気性消化プロセスの分解率とガス回収率を向上させるために、前処理として汚泥の可溶化について検討した。さらに、窒素除去およびリン回収の検討を行い、エネルギーだけでなく資源回収可能な新規下水処理プロセスを構築した。

本論文は6章より構成されている。第1章では、下水処理に関する既往研究を整理し、バイオガスを回収できる嫌気性消化プロセス、さらに富栄養化対策のため窒素処理、資源回収としてのリン回収の重要性を整理し、本研究の目的と意義を述べた。第2章では、嫌気性消化効率の向上を目的とした余剰汚泥の前処理に関して検討した。アルカリ処理、加熱処理、低圧湿式酸化処理、フェントン酸化処理、オゾン酸化処理を前処理として、各条件を変化させVSS分解率を評価したところ、加熱処理、低圧湿式酸化処理のVSS分解率が高く、処理温度を高くすれば64%まで向上した。前処理した汚泥の回分法による高温嫌気性消化試験を行った結果、酸素添加量40%（有機物分解に必要な理論酸素量に対して）の条件で低圧湿式酸化することにより、ガス発生量が他条件に比べて約2倍に向上した。第3章では、下水処理場には消化槽が設置されているので、嫌気性消化槽から排出される消化できない汚泥残渣（未消化汚泥と呼ぶ。）を前処理の対象として検討した。未消化汚泥の前処理方法として、低圧湿式酸化、フェントン酸化、アルカリ処理、オゾン酸化、機械破碎および酵素処理に関して検討した。VSS分解率が高かった低圧湿式酸化、フェントン酸化およびアルカリ処理した汚泥の高温嫌気性消化処理に関して検討した結果、低圧湿式酸化処理した汚泥の分解率が最も高く、前処理も含めたVSS分解率は83%となり、余剰汚泥を前処理した場合（第2章）よりもさらに高い分解率を達成することができた。第4章では、資源回収および富栄養化防止を目的として、前処理した未消化汚泥からのリン回収および窒素除去を検討した。まず、未消化汚泥を固液分離した後、上澄液および固形物からのリン回収を検討した。上澄液中のリンはMAP法により98%回収できた。また、固液分離沈殿液についてはpH 1.7の条件で脱灰処理を行い、その後pHを7にすることにより汚泥中のリンをほぼ回収できた。前処理汚泥の上澄液には有機酸やアンモニウムイオンが含まれているので、リンをMAPで回収した後、有機酸を脱窒の水素供与体として利用した循環式生物学的硝化脱窒法で窒素を除去した。活性汚泥系の処理では汚泥滞留時間が短くなり性能が不安定になる可能性があるため、脱窒菌をポリエチレングリコール系のゲルで包括固定化した担体を使用し、汚泥滞留時間をできるだけ長くする脱窒処理に関して検討した。その結果、最大脱窒速度3.6 kg/m³・dを確認し、約3.0 kg/m³・dの高い脱窒速度が得られた。第5章では、これまで検討した結果から汚泥の減容化および富栄養化を防止する新規下水処理システムを検討した。未消化汚泥を低圧湿式酸化処理した後、リンを回収した残渣のVSSは、未消化汚泥の約40%に減容化されていたので、脱灰した残渣の全量を嫌気性消化槽に返送し混合汚泥と一緒に嫌気性消化処理した。消化槽内の汚泥のSSは12.5 g/L、VSSは8.0 g/Lで安定しており、TOCおよびVFAの蓄積も見られなかった。以上、既設の下水処理場に未消化汚泥処理プロセスを付設することにより、汚泥および窒素を排出しないで、しかもリンを回収できる新規な下水処理プロセスを開発することができた。第6章では以上の結果を総括した。

以上、前処理法を工夫することによって分解率とガス回収率の向上に成功し、汚泥および窒

素を排出せずにリンを回収できる新規な下水処理プロセスを開発したことは、学術面および実用化面から高く評価できる。したがって、本論文は博士論文として学位授与に値するものと判定した。

最終試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対して、本論文の内容および専門分野についての口頭試験を行った結果、論文提出者は当該研究分野について十分な知識、理解力および研究遂行能力があるものと認めた。本研究内容は、査読付き国際誌論文1編および査読付き国内誌論文1編に掲載され、査読付き国際誌論文1編の掲載が決定している。これらの業績は、産業創造工学専攻物質生命化学講座の学位授与基準を満たしている。また、多くの登録特許を取得するなど、その成果は高い評価を得ている。以上により試験は合格とした。

審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座担当准教授	森村 茂
審査委員	産業創造工学専攻物質生命化学講座担当教授	國武 雅司
審査委員	産業創造工学専攻物質生命化学講座担当教授	栗原 清二
審査委員	熊本大学特任教授	木田 建次