

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 小野寺 利仁

地球温暖化やマイクロプラスチックの地球環境問題は、人類の持続的発展には資源循環を組み込んだ科学技術の進歩が重要であることを突きつけていると言える。環境分野においても資源循環の理念を組み込んだ廃水浄化技術の発展がより重要となると考えられる。本論文は、廃水処理と資源回収を両立させた2つの新しいプロセスを未来思考の水処理プロセスとして提案し、実廃水を用いたベンチスケール実験によって、廃水浄化と資源回収について有用性を検証している。ひとつは、下水からのリン回収法に関するものであり、もうひとつは、畜産廃水からの窒素・リン回収と高度水処理の両立を目指したものである。

本論文は以下の5章から構成される。

第1章は「序論」である。地球温暖化やマイクロプラスチックの問題を例に、資源循環の理念が抜け落ちた技術発展が現在の地球環境問題を引き起こしたと推察している。その上で、水処理技術分野でも、資源循環を意識した水処理技術の発展が必要と論じている。水保全と資源循環を両立させた新たなプロセスとして、下水からのリン回収を取り上げた。下水には我が国のリン輸入量より多いリンが含まれる。回収できれば、海域や湖沼の富栄養化を抑制できると同時に、100%輸入に依存するリンを下水から得ることができる。実用化されれば社会への寄与は大きいと述べている。また、畜産廃水からの窒素・リン回収と水処理性能の向上の両立を目指した研究では、畜産排水は高濃度の窒素・リンを含むため、水処理を難しくしているため、これらを回収し、肥料として農場内で循環利用しつつ、水処理の負担も軽減し、高度処理の実現を目指す発展の方向性が望ましいと論じている。章末にこれらの着想に基づき研究目的がまとめられている。

第2章は「分析方法」である。本論文で用いられた水質分析等に関する各種JIS法などについて記述されている。

第3章は「非晶質ケイ酸カルシウムによる下水からのリン回収法への磁気分離の応用」についてまとめられている。緒言では、国内の潜在的なリン資源量について考察するとともに、下水処理スキームへのリン回収プロセスの導入場所などについて議論している。また、既往の各種リン回収法と本回収法が比較され、磁気分離の応用による固液分離時のアドバンスが説明されている。実験方法では磁気分離できる非晶質ケイ酸カルシウム(m-CSH)の調製法、リン回収の実験方法が記述されている。結果と考察では、リン回収率に関する、m-CSHに含まれるマグネタイト添加比の最適条件、m-CSHを構成するカルシウムとケイ酸のモル比の最適条件が検討された。この結果をもとに、実際のメタン発酵消化液からの連続式磁気分離によるリン回収試験が行なわれ、リン回収後のm-CSHの肥料規格への適合性や経済性を検討し有用性が認められたと結論づけている。本研究成果は申請者の所属企業と宇都宮大学の共同特許として出願され公開されている。

第4章は「畜産廃水の浄化と窒素，リン成分の回収・肥料化の検討」についてまとめられている。緒言では，畜産廃水が窒素・リン成分を多く含むため，排水基準の緩和措置(移行措置)の特例が適用されていることなどが述べられている。一方で，窒素，リンは肥料成分であるため，農場内で資源循環が望ましいと論じている。そこで，活性汚泥法の前段に，水酸化カルシウムによる凝集／アンモニアストリッピング法を行ない，リン成分をリン酸カルシウム，窒素成分をアンモニアガスとして揮散後，硫酸で回収することとした。また，窒素やリン成分が不足しても安定した水処理が維持できる磁化活性汚泥法を活性汚泥法に代えて組み合わせることで，資源循環と廃水浄化の両立を目指すこととした。ベンチスケール実験装置により，附属農場の実廃水処理を行ない，本プロセスの有用性を実験的に検討した。実験方法では，実験装置の仕様や運転方法，農場廃水の成分などがまとめられている。結果と考察では，凝集／アンモニアストリッピング法によるリン，窒素成分の回収率が調べられ，附属農場の廃水量を4 m<sup>3</sup>/dとすると，年間約5,500 kgの硫酸と20 kgのリンが回収できると試算された。処理水もBODは一般排水基準レベル，懸濁物質は基準値の約1/2まで，窒素成分は基準値の約1/4まで，リンは約1/10まで浄化できた。次段の磁化活性汚泥法では，更にBODが基準値の約1/2まで浄化され，全ての水質指標で一般排水基準を十分に達成できた。これらの結果をもとに，実用規模で利用した場合の経済性などについて考察した。本章の研究成果はProgress in Superconductivity and Cryogenics誌で2021年11月に掲載された。

第5章「総括」では，磁気分離を応用した，廃水浄化と廃水からの資源回収を両立させた新たな水処理プロセスの有用性について，3章，4章の研究成果が総括されている。