

下水処理システムへの各種リン回収技術の仮想的適用および評価
Hypothetical Application and Evaluation of Phosphorus Recovery Technologies to Sewage Treatment System

加藤文隆(Fumitaka Kato)

論文要旨：下水および下水汚泥は発生量が年々増加傾向にあり、その有効利用率の向上が求められている。またリンは重要な枯渇資源であることから、本研究では下水処理システム内におけるリン回収技術の適用性を評価した。第1にMAP法や晶析法などの各種リン回収技術について、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の除去率やリンの回収率を文献および実験的手法によって定式化した。第2に下水処理場でのリン回収の物質収支やコストを計算可能なオブジェクト指向分析型プログラムを作成し、繰り返し計算によってエネルギー消費量、 CO_2 発生量などの環境負荷に関する諸項目、リン回収量を指標として、リン回収の最適ポイントと回収技術を抽出した。大井処理場では、リンの最適な回収ポイントは脱水ろ液であり、回収技術はMAP法であった。さらに約20万通りの下水処理システムから抽出された最適システムは、脱水ろ液にMAP法を適用したもの、混合汚泥に酸抽出を適用したものであり、それぞれに最適なシステムが抽出された。

キーワード：リン、物質収支、下水、回収、コスト、環境負荷、

Abstract : The discharge of sewage and sewage sludge are increasing, therefore more effective utilization ways are required. Also having in mind that phosphorous is an important exhaustible resource, in this research we studied the applicability of various Phosphorous Recovery technologies in a Sewage Treatment System. First, the $\text{PO}_4\text{-P}$ removal and phosphorous recovery rates of various phosphorous recovery technologies as MAP, Crystallization were formulated from bibliography and experimental data. Second, Using an Object Oriented Analysis program it was calculated the Mass Balance and Energy Consumption, CO_2 Emission of Phosphorous Recovery from Sewage Treatment System. In Ooi Sewage Treatment Plant, the best point of recovery is the filtrate effluent using MAP. From simulation of 200,000 sewage treatments systems, it was selected the MAP applied to filtrate effluent or Acid Extraction applied to mixing sludge with each optimum system depending on index of optimization.

Key Words: phosphorous, mass balance, sewage, recovery, cost, environmental load

1. 研究背景と目的

わが国では下水道人口普及率が年々増加するに伴って、処理すべき下水量および下水汚泥量も増加し、最終処分場の残余年数の問題から、循環型社会形成に資する処理水・汚泥の利用技術の開発が望まれているが、汚泥の有効利用率は未だ十分ではない。一方、リンは食料供給の面でも重要な枯渇性資源であり、特にその供給を海外輸入に依存しているわが国では、国内でのリン循環の構築が求められている。これらの観点から本研究では、下水処理システムからのリンの回収に着目し、従来の複数のリン回収技術を対象として、それらの下水処理プロセス内における最適な配置を探るとともに、それぞれのケースにおける環境負荷を様々な観点から評価を行った。具体的には、まず大阪府内の一下水処理場をとりあげて処理プロセスにおけるの物質収支を算出した。続いて、リンの回収対象を下水、下水汚泥、下水汚泥焼却灰とし、それぞれにMAP法、晶析法、酸・アルカリ、超音波などを用いた抽出および回収方法の適用可能性とリン回収特性を実験的に明らかにした。最後に、各リン回収技術を下水処理プロセスの各部分に仮想的に適用し、それぞれのケースにおいて処理水質、コスト、 CO_2 発生量、エネルギー消費量などの多方面からの評価を行って、リンの回収個所とその方法について最適な条件を探った。

2. 日本国内のリン収支

下水処理システムからのリン回収技術の位置付けを把握するため、はじめに世界のリン生産量、埋蔵量等について調査を行った。次にリン鉱石全てを輸入に依存している日本国内でのリンの挙動を把握するため、リンが含まれる物質についてリン含有量および他の物質への移行量を算出し、リン物質循環図を作成した。その結果、輸入リン肥料量の約 1/3 が下水中に存在することがわかった。

3. 下水処理場の物質収支

各処理プロセスにおいて発生する処理水や汚泥のサンプリングを行い、TS、SS、T-P、S-T-Pなどの項目について分析を行い、全体の処理量に換算して物質収支を計算した。

4. リン回収技術の定式化

リン回収技術として、MAP法、晶析法、焼却灰からの回収、汚泥からの回収について定式化を行った。MAP法では、関連する文献からMAP装置におけるPO₄-P、SSの収支をまとめ、除去率の近似曲線を得た。晶析法については、MAP法と同様に文献によってデータを取得したが、SS濃度が比較的高い範囲においては実験的にデータを追加して除去率の近似曲線を求めた。下水汚泥および下水汚泥焼却灰の場合は、酸・アルカリを用いた抽出実験と回収実験を、薬品量やpHなどの複数の条件下で行い、それぞれの回収率をそれぞれ求めて、後のシミュレーションでの代入値とした。

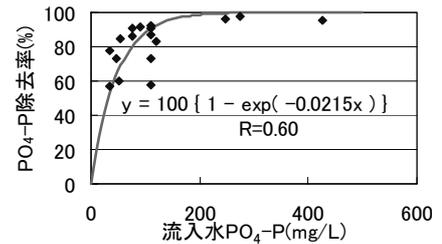


図1 MAP法の定式化

5. 下水処理システムへのリン回収技術の仮想的適用

任意の下水処理システムにおいてリン回収に関する物質収支、コスト、環境負荷などが計算可能なプログラムをオブジェクト指向分析型プログラムによって作成した。各プロセスにおけるTSやSS、T-Pなどの物質の除去率や回収率を設定しておき、すべてのプロセスで発生した返流水が最初沈殿池前に戻るとして収束計算を行い、実際の処理場における物質収支を十分に再現できることを確認した。

6. 最適なリン回収技術および最適システムの抽出、評価

リン回収技術を大井処理場の各処理プロセスに組み込んだ様々なシステムを対象に、処理水質、CO₂発生量、エネルギー消費量、所要面積、リン回収量、ランニングコスト、建設コストを指標として処理場内システムのリンの最適回収ポイントおよびそのリン回収技術を抽出した。大井処理場の現状では、リンの最適な回収ポイントは脱水ろ液であり、回収技術はMAP法であった。さらに、様々な組み合わせで表現される約

リン回収システム 約20万パターン	20万
処理水SS濃度	0.45mg/L 5562
処理水T-P濃度	0.35mg/L 5559
処理水T-N濃度	12mg/L 3804
流量あたりにランニングコスト	26.5円/m ³ 327
所要面積	27600m ² 86
建設コスト	1,500百万円 45
エネルギー消費量	9.1 × 10 ⁶ MJ/y 14
CO ₂ 発生量	5.4 × 10 ⁶ kg-CO ₂ /y 13
リン回収量	0.01t/d 1
最適リン回収技術	1/パターン 1

図2 最適化抽出結果

20万通りの下水処理システムから、上記の7つの指標によ

って最適なシステムを抽出したところ、脱水ろ液にMAP法、または混合汚泥に酸抽出をそれぞれの最適システムに適用したものが抽出された。

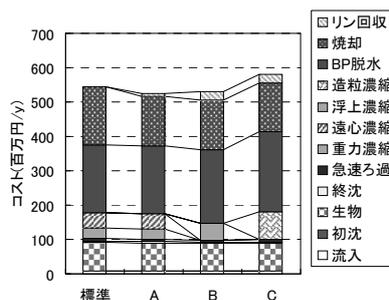


図3 最適システムのコスト評価

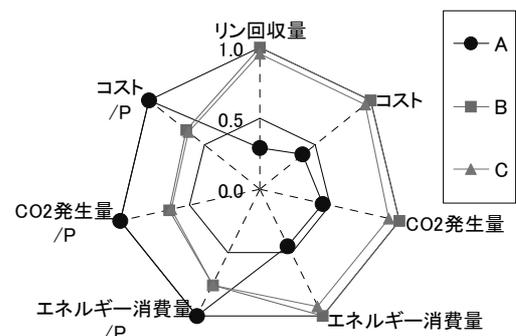


図4 リン重量あたりの評価(相対値)