

京都大学工学部 正員 平岡 正勝
同 学生員 山本 攻

1. はじめに

近年の水質汚染問題の深刻化に伴い、廃水の高度処理が要求されて来っており、従来の処理プロセスの改良や新しい水処理装置の開発が進められている。廃水処理プロセスは、様々な特性を持った装置の組み合わせであり、これらの装置を目的に応じて、どのように選ぶ、どのように組み合わせるか、という問題が生じる。本研究は、昨年度の本学会で発表した研究を整理すると共に、問題点を改良したものである。

2. プラント設計へのシステム工学的アプローチ

1に述べたように、従来の処理システムに高次処理装置が組み込まれることによって、廃水処理プラントは、より大きなシステムへと拡大され、その設計は、システム全体を総合的に評価しながら行なわなければならない。このためには、プロセス・システム工学の手法を応用することが考えられる。プロセス・システム工学とは、機能の異なる幾つかの単位プロセスから構成されるシステムを対象として、システムの特性を解析したり、逆に、与えられた目的を達成する最適なシステムを合成・運用するための手法であると考えられ、このシステム合成を、プラント設計に応用する。システム合成は、表-1の左の欄のような段階を経て行なわれる。これを廃水処理に適用したのが右の欄である。前年度の報告では、最適構成問題と最適設計問題が一緒に考えられており、報告した問題解決の手法は、最適設計問題について適用できるものである。現在の段階では、最適構成問題を一挙に解く手法は開発されていないので、システムの構造については仮定して、あらゆる実現可能なシステムでの最適設計問題を解き、得られた解の中から最適なものを最適構成問題の解とする手順を考えている。本報告では、最適設計問題についてその問題定式化の方法と計算結果について述べる。

表-1 システム合成の段階

システムの目的の設定	処理水質が基準値以下のプラントを作る
システムの評価	COSTを最小にする
プロセス方式の決定 システム構造の決定	最適構成問題に対応
単位プロセスの設計	最適設計問題に対応

3. 問題の定式化

まず、プラントを構成する各単位装置のプロセス・モデルを決定する。このため、次の2つの仮定をおいた。

1. 流れモデルとしては、ピストン流れモデルとする。 2. 反応は、一次反応形とする。

状態変数は、水質指標をベクトルで、

$$X = {}^t(x_1, \dots, x_n) \quad x_i: \text{水質指標} \quad (1)$$

と表わす。今 x_1, x_2 の2つの状態変数について考えた時、プロセス・モデルは、仮定より次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_1}{\partial t} &= -u \frac{\partial x_1}{\partial y} - k_1 x_1 + \alpha k_2' x_2 \\ \frac{\partial x_2}{\partial t} &= -u \frac{\partial x_2}{\partial y} - k_2 x_2 - k_2' x_2 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 y は装置の流れ方向の座標、 u は流速、 k_1, k_2 は廃水からの除去速度係数、 k_2' は x_2 から x_1 へ変化する反応速度係数、 α は化学量論係数であり、 x_1, x_2 間の反応は、非可逆であるとする。(2)式を1次元に拡張すると

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -U \frac{\partial X}{\partial y} - K X$$

と書ける。ここで、 K は $n \times n$ の行列である。プラントを設計する際には
 静特性を考えると、 $\partial X / \partial t = 0$ より、

$$U \frac{\partial X}{\partial y} = -K X$$

となる。これを $y = [0, L]$ の区間で解くと

$$X^{out} = e^{-K \frac{L}{U}} X^{in} = e^{-K \tau} X^{in} = R(\tau) X^{in} \quad (5)$$

となる。 τ は槽長であり、 τ は滞留時間となる。この $R(\tau) = e^{-K \tau}$ とおいたものが、前年度発表した水質変換マトリックスになる。この $R(\tau)$ は、次の性質がある。物理的处理の場合、装置内で水質指標間に反応は起らないから対角行列、生物的处理・化学的处理を含む場合、反応が生じるので非対角行列となる。

次に、問題の定式化をする。対称とするシステムは、図-1 のように単位装置を直列に並べたものとする。
 i 番目の装置を考えた時、入口、出口の水質関係は(5)式より、次のようになる。

$$X^{in} = R^i X^i$$

よって、システム全体では、

$$X^{in} = R^n \cdot R^{n-1} \cdots R^1 X^1 \quad (7)$$

となる。束縛条件として、放流水は放流基準を満たしていなければならないから

$$X^{out} \geq X^{crit} \quad (8)$$

となる。目的関数は、Initial cost と
 Operating Cost とする。これらは一般に

$$J = \sum_{i=1}^n (C_i V_i + C_{oi} V_{oi}) \quad (9)$$

と表わされる。よって最適設計問題は
 次のようになる。『(7)(8)式のもとで、

(9)式を最小にするような $\{x_i\}$ の組を求めよ』

4. 最適化計算 3で定式化した最適化問題は、一般に非線形になるため、これを解くことは、線形の場合に比べて困難である。現在行なわれている方法としては、①線形化して L.P. を用いる方法、②そのまま、非線形問題として解く方法、等がある。本研究では、離散形 D.P. の応用と等感度法を用いた。

計算例として、図-2 のようなシステムを用い、状態変数としては、表-2 の3つを用いた。プロセスモデルは、凝集沈殿と例にあげると、次のようになる。

$$X^{out} = \begin{pmatrix} e^{-0.379\tau} & e^{-0.379\tau}(1 - e^{-0.176\tau}) & 2e^{-0.379\tau}(1 - e^{-0.489\tau}) \\ 0 & e^{-0.176\tau} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-0.489\tau} \end{pmatrix} \cdot X^{in}$$

D.P. の応用として、各装置で主として除きされる水質を状態変数として decision inversion を行なって解く、近似解法を用いた。流入水質、放流基準、 $\{x_i\}$ の最適値、およびその時の各装置の出口の水質を表-2 に示す。

5. まとめ 本研究は、昨年度最適された装置内の反応が考慮されていない点を解決すると共に、最適化問題について整理したものである。4で述べた最適化計算については、問題点が多く残っているが、3の問題の定式化の方法は、確立できたと考えている。

1) 28回土木学会概要集 II-228 2) 等感度法による熱交換システムの最適設計法 西谷、橋本、高松 化学工学協会 39 年会講演要旨集 3) 廃水処理システムの最適化に関する基礎的研究 山本、京大修論。

$$(3) \quad X^1 \xrightarrow{R^1} X^2 \cdots \xrightarrow{R^n} X^{n+1} \leq X^{crit}$$

X^1 : 流入水水質
 X^{n+1} : 各プラントの流出水水質
 X^{crit} : 放流水水質
 X^{crit} : 放流水基準

図-1 対象とするシステム

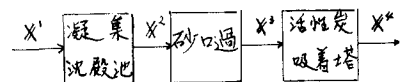


図-2 処理プラントの例

表-2 計算結果

	流入水水質	凝集沈殿池	砂沈降池	活性炭吸着塔	放流基準
Residence Time [hr]	—	9.25	0.11	0.0	—
SS [ppm]	100	4.6	1.0	1.0	1.0
COD [ppm]	40	7.9	5.3	5.3	10.0
P [ppm]	10	0.1	0.1	0.1	0.1