

国立公害研究所 正員 〇田井 慎吾
 内藤 敦子
 正員 合田 健

1. はじめに

エネルギー問題、資源問題が先進工業国における大きな関心事となっている。一方では、エネルギー資源からエネルギーを、あるいは資源から製品を得る過程で廃熱、廃棄物が生成し、環境へ排出されて環境問題を惹起する。環境問題はエネルギー、資源問題と深くかかわっており、水処理においても処理水質あるいは除去率という面のみならず、省エネルギー、省資源という面からも評価されなくてはならない。すなわち、水処理は水質変換と省エネルギーを同時に評価されなければならない。

本研究はエントロピー理論によって水処理の効率を表わし、これによって水質とエネルギーの変換の両面から水処理を評価することを目的とする。

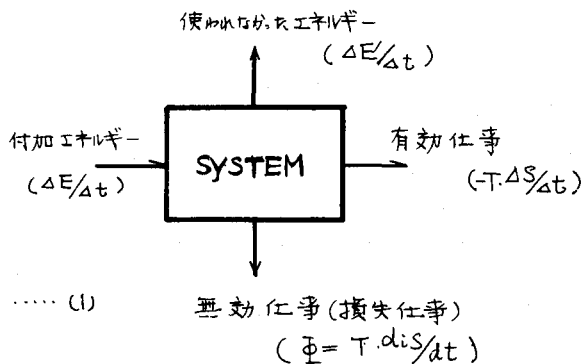
2. 水処理の効率

連続の水処理システムにおいては温度、圧力、化学ポテンシャルなどの分布がシステム内では不均一で、しかも非平衡状態にあるが、その時間的変化は一定で、定常状態が連続的に起っていると考えることができる。したがって、非平衡熱力学理論によって水処理システムの効率を求めることができる。

図-1のように、水処理システムにエネルギー

図-1 水処理システムにおけるエネルギーの変換

が加えられると、そのエネルギーは有効仕事 (available work) に使われるほか、一部はシステムの不可逆性によって散逸 (dissipation function), さらに一部は、使われずに系をシステムを出る。一般に、工学装置の効率は加えられるエネルギーがどれほど有効仕事を生じたかによって表わされる。すなわち、効率は



$$\eta = \frac{\text{有効仕事}}{\text{加えられたエネルギー}} \times 100 \quad (\%) \quad \cdots \cdots (1)$$

で表わされる。

ところで、一般にいわれる省エネルギーはシステムで使われなかったエネルギーをどのように減少させるかという観点からアプローチされるが、システムの機能を評価するという観点からは、この使われなかったエネルギーは除いて考える必要がある。すなわち、省エネルギーとは過剰に加えられるエネルギーをいかに減少させ、あるいは再利用するといった点と、そのシステムの本来の機能に立ち入って、不可逆性をいかに減少させるかという二つの観点から検討されなければならない。したがって、使われなかったエネルギーを除いて考えると、水処理システムにおける有効仕事は厚水のエントロピーを減少させることとあり、無効仕事は散逸関数であるから、効率は

$$\eta = \frac{-T\Delta S/\Delta t}{-T\Delta S/\Delta t + T\cdot\text{dis}/\Delta t} = \frac{-\Delta S/\Delta t}{-\Delta S/\Delta t + \text{dis}/\Delta t} \quad \cdots \cdots (2)$$

で表わすことができる。

有効仕事は分離操作(逆浸透膜法)を例に示す(1)

$$T \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{T}{18} \cdot \Delta S \cdot Q_f \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $\Delta S/\Delta t$; 単位流量当りの海水のエントロピー変化(減少)

$\Delta \bar{S}$; 海水1モル当りのエントロピー変化(減少)

$$\Delta \bar{S} = A \bar{S}_2 + (1-A) \bar{S}_3 - \bar{S}_1, \quad \bar{S} = \sum X_i s_i - R \sum X_i \ln X_i$$

Q_f ; 海水の流量

T ; システムの温度

表-1,

逆浸透膜法による脱塩処理の効率

原 水	モジュール	η (%)
廃水処理水	スパイラル	1.8
海 水	スパイラル	41.1
	フローアバー	34.3
	チューブラー	43.2

であり、散逸関数は

$$\Phi = T \cdot \frac{diS}{dt} = \sum J_i X_i \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 Φ ; 散逸関数

diS/dt ; 内部エントロピー生成速度

J_i ; 流れ, X_i ; カ

で表わされる。逆浸透膜法における効率を求め表-1に示したが、廃水処理水の脱塩の場合は非常に効率が低いことがわかる。

3. 熱生成速度と散逸関数

効率を求める場合に問題となるのは散逸関数である。カと流れを測定可能な形で表現しなくてはならない。有効仕事と1と失われるエネルギーは熱の形で失われる。図-2に逆浸透膜法における散逸関数と温度測定から求めた熱生成速度との関係を示したが、両者の間には

$$\frac{dQ}{dt} = \gamma \cdot \Phi \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 γ ; 比例定数

の関係がある⁽²⁾。したがって、たとえば活性炭吸着あるいは生物処理、中和などの反応操作において、熱測定を行うことにより、あらかじめの活性炭の吸着速度と熱生成速度との関係、生物の増殖速度と熱生成速度との関係を求めることが可能である。あるいは熱測定の結果から散逸関数を求め、活性炭の効率を評価することが可能となる。たとえば、活性炭の吸着速度は、 Q を時刻 t における吸着量とすると

$$\frac{dQ}{dt} = K_s a_p (Q^* - Q) = K_f a_p (C - C^*) \quad \dots (6)$$

で表わされる。吸着の駆動力は飽和吸着量(Q^*)と時刻 t における吸着量との差と考えることができるから、熱生成速度と散逸関数とから、

$$\frac{dQ}{dt} = \gamma \frac{dQ}{dt} \cdot (Q^* - Q) = \gamma K_s a_p (Q^* - Q)^2 = \gamma K_f a_p (C - C^*)^2 \quad \dots \dots (7)$$

の関係が得られる。また γ によって活性炭の吸着特性を評価することも可能である。

(参考文献)

- (1)、田井, 内藤, 合田 "水処理技術への不可逆過程熱力学の応用", 土木学会 33周年講義要旨(第2部), P177
- (2)、I. Lamprecht, B. Schaarschmidt "Application of Calorimetry in Life Sciences" WPG (1977) P 139

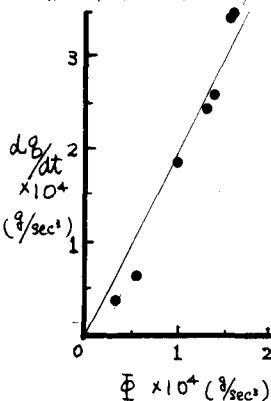


図-2.

逆浸透膜法における熱生成速度と散逸関数の関係