

北海道大学工学部 正員 ○船水尚行
北海道大学工学部 正員 堀田和え

1. はじめに 最近の環境問題・資源問題の議論の共通の認識として次の事項があげられる。「人間活動の増大に伴い、物質・エネルギーの流れが増加した。そのため種々の系間の相互作用が現われ、様々の影響が問題とな、ている。」とりわけ衛生工学の取り扱う系が都市の供給・処理施設として存在していることを考えれば、これらの系が物質・エネルギーの流れの中で重要な位置をしめていることが理解される。上述の認識のもとでの系の解析は、系の質変換についての特性の把握のみでなく、物質・エネルギーの流れの中での系の位置を知ることが必要となる。すなわち種々の特性をもった系を統一した概念でとらえ、統一的に表現していくことが必要となる。本報告は系の性質とその表現について考察し、浄水場を例にとり解析を試みたものである。

2. 系の性質について 系の性質を次の2点について整理した。

①系の質変換特性 図-1のように系の境界を通過する物質・エネルギーに注目すると、系の特性を次のように表現できる。系は物質・エネルギーをとり入れ、系内の物質移動・化学反応により目的とする生産をおこなう。そして、その間に生成した廃棄物・廃熱を排出する。

②他の系との相互作用 図-4の質変換系(I)に注目する。系(I)に物質・エネルギーを供給する系(II), Rに影響を与える系(III), Pを消費する系(IV), W, Qを受けとる系(生態系)が存在する。そして各系での質変換の速さの違いによる蓄積や質変換の変化があき、全体としてダイナミックな性格をもつ。

3. 表現方法について 2. で考察した系の性質をもとに、表現方法を(1)境界、(2)状態量、(3)表現形態にわけ考察した。

3-1. 境界 境界を図-4のように生態系をはじめ、多くの系を含めて設定しなければならぬ。しかしすぐに大きなスケールへ拡大することは困難である。そのため、大きなスケールへ境界を拡大することを意識しながら、小さなスケールの解析をおこない、徐々に境界を拡大していくことが必要であらう。境界の拡大の方向を図-1から図-4に示す。

3-2. 状態量 系を記述する量として質量・エネルギー・エントロピーをとりあげた。質量・エネルギーは系の質変換と各系間の相互作用を表現する。エントロピーは次の事項によりとりあげた。

①各系の質変換の速度が系全体の挙動に影響をおよぼすことから、質変換の速度の表現が必要であること。

②物質・エネルギー流の増加が各系の質変換の速度の増加により、速度を大きくすることによる損失の表現が必要で

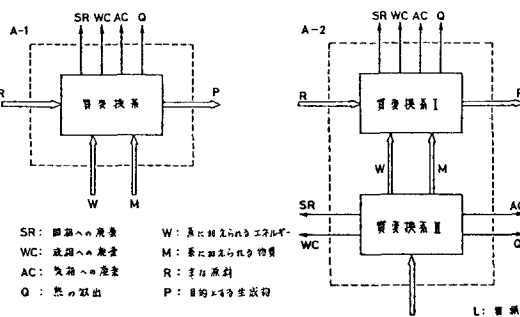


図-1 境界 A-1

図-2 境界 A-2

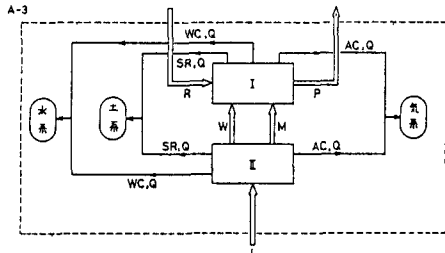


図-3 境界 A-3

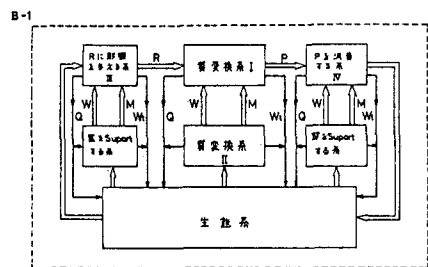


図-4 境界 B-1

W: 系に付与されるエネルギー
M: 系に付与される物質
R: 系に付与される資源
P: 系に付与される生産物

あること。

具体的には、エントロピー生成速度を Sp 、速度を保つことによる単位時間あたりの損失を W_{lost} とすると、次のように表現される。 $Sp = \sum_j J_i X_i$ (1) $W_{lost} = T_{sir} \cdot Sp$ (2)

ここで J_i 、 X_i は互いに共役な流束と力、 T_{sir} は周囲の温度である。

3-3. 表現形態 系の表現に対して次の要請がある。

①系の様々な特性を統一的に表現できること。

②状態量の時間的・空間的分布を表現できること。

以上のことから、表現として非平衡の熱力学における質量、エネルギー・エントロピーの収支式をとりあげた。そして、境界 A-1、A-2、A-3、

(図-1、2、3 参照) に対応してマクロな表現の式を導出した。

境界 A-1 について質量、エネルギー、エントロピーの収支式を示す。

$$\frac{d}{dt} m_{tot} = \sum_i (W_{Ri} + W_{Mi} - W_{Pi} - W_{Wi}) - W^{(m)} \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} (U_{tot} + K_{tot} + \varphi_{tot}) = \sum_i (W_{Ri} \hat{E}_{Ri} + W_{Mi} \hat{E}_{Mi} - W_{Pi} \hat{E}_{Pi} - W_{Wi} \hat{E}_{Wi}) - Q - Q^{(m)} + W \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} S_{tot} = \sum_i (W_{Ri} \hat{S}_{Ri} + W_{Mi} \hat{S}_{Mi} - W_{Pi} \hat{S}_{Pi} - W_{Wi} \hat{S}_{Wi}) - S_{Q} - S^{(m)} + S_p \quad (5)$$

$$\hat{E}_{ji} = \hat{H}_{ji} + \frac{1}{2} \bar{u}_{ji}^2 / \bar{u}_{ji} + \varphi_{ji} \quad (j=R, M, P, W) \quad (6)$$

記号

m : 質量 W : 質量基準流量 U : 内部エネルギー K : 運動エネルギー φ : 位置エネルギー

Q : 放熱量 W : 系に加えられる仕事 S : エントロピー H : エンタルピー

S_Q : 熱によるエントロピー移動力 S_p : 系内のエントロピー生成 u : 流速

添字

tot : 系全体を示す i : 構成成分を示す j : 図-1 の物質の流れを示す (W は廃棄物)

$\hat{}$: 単位質量あたりの部分比量を示す $^{(m)}$: 物質拡散による移動を示す $-$: 断面の平均を示す

4. 浄水場系の解析

と市浄水場 (図-5) について境界

A-1 (図-1) をとった。次に浄水場に薬品、電力を供給する系と、

それらの系に物質を供給する系を調べ、全体として境界 A-2 とし

た。図-6 にこれらの系の相互関係を示す。次に境界 A-3 として、

周囲を均一と考えた場合をとりあげた。図-7 に解析の結果として以下の量の

境界の拡大による変化を示す。物質流の表現として (1) 境界を通過して系に流入する物質

量、また物質の質変換と流れの形成過程において (2) 消費された仕事、

(3) 放熱量、(4) 系に流入する物質と流出する物質のエネルギー差 (質変換

の絶対値)、(5) 質変換と流れの形成に伴う損失 (散逸エネルギー)。境界の

拡大に伴い放熱量、質変換の絶対値、散逸エネルギーの増加が著しいことが

注目される。このことは従来注目されていた物流量や系で消費される仕事のみならず、

質変換や流れの形成に関する散逸エネルギー等、物質とエネルギーの相互作用にも注目すべきことを示していると考えられる。

5. おわりに

大きなスケールの物質・エネルギーの流れの中に存在

する系の解析方法を境界、状態量、表現形態にわけて考察した。図-7 に示した

諸量の絶対値のもつ意味を考察するためにも、基準となるべき周辺状態の

設定や、自然の物質・エネルギーの流れと人為的な流れとの比較が重要であ

らう。そして、さらに実際の系の解析をおこない、境界を拡大していく必要

があろう。最後に資料を提供していただいたみなさまに謝意を表する。

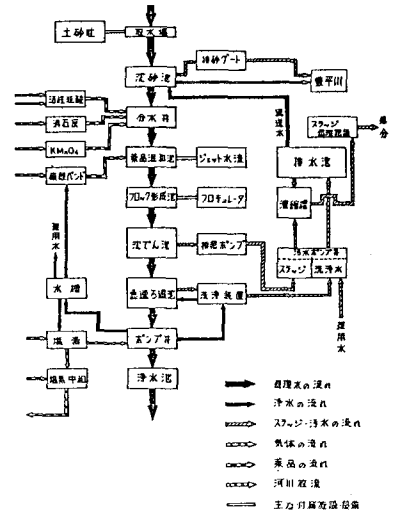


図-5 浄水場系統図

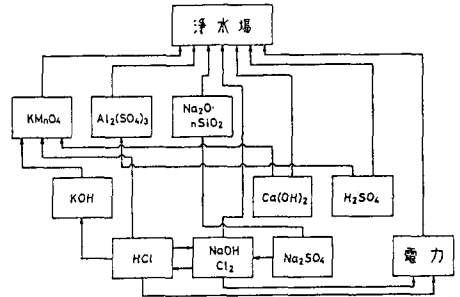


図-6 浄水場と関係する系

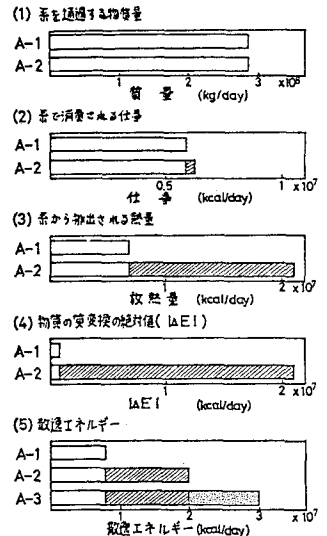


図-7 境界の拡大による変化