

1. 体積要素の大きさに基づく数学的モデルの種類

分散媒体内の物質、熱収支を記述する工学的モデルは、モデル化の対象となる単位要素の大きさによって、a)分子、b)ミクロ、c)マクロ、d)メガの4レベルに分けられる¹⁾ (Fig.1)。ここでは、コンポスト化プロセスを対象に工学的によく使われているマクロ、メガレベルモデルを組み立てた。

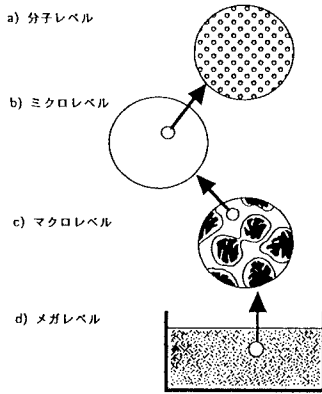


Fig.1 工学的モデルの種類

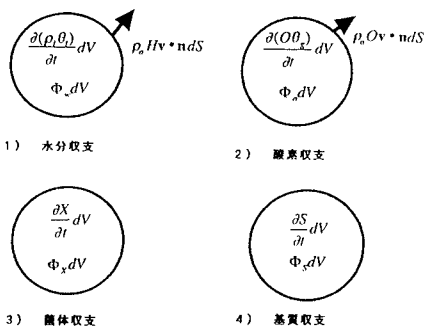


Fig.2 要素内物質収支（マクロレベルモデル）

(1) マクロレベルモデル

土壌内の熱、物質移動現象のモデル化と同様の手法によって導かれるものである。対象とする微

小要素内の物質収支は拡散による物質移動流束が対流によるものに比べて小さいとして無視すると、Fig.2.のように表される。これに基づき物質収支式は

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho_a H v) + \left\{ \frac{Y_{w/s}}{Y} \mu - Y_{w/s} (\mu - \lambda) \right\} X$$

$$\frac{\partial (\theta_g O)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho_a O v) + \left\{ \frac{Y_{o/s}}{Y} \mu - Y_{o/s} (\mu - \lambda) \right\} X$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = (\mu - \lambda) X$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{1}{Y} \mu X$$

一方、微小要素内の熱収支は Fig.3 のように表され、熱収支式は

$$\frac{\partial \{C_p \rho (T - T_0)\}}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho_a v) + \nabla \cdot (K \nabla T) - \left\{ \frac{\Delta h_s}{Y} \mu + \Delta h_b (\mu - \lambda) \right\} X$$

以上の基礎式は適当な境界条件、初期条件の下で数値的に解ける。

このモデルは、野積みあるいは資材層がほとんど攪拌されずに発酵槽内に投入されたままの状態に保たれる場合などに適している。

(2) メガレベルモデル

発酵槽に投入された有機質資材を一まとめに考え、資材層全体についての収支をモデル化したものである。この場合、物質収支は Fig.4 のように表され、これに基づいて物質収支式は次のように書かれる。

$$\frac{d(WV)}{dt} = -\rho_o u (H - H_0) + \left\{ \frac{Y_{w/s}}{Y} \mu - Y_{w/s} (\mu - \lambda) \right\} XV$$

$$\frac{d(\theta_g OV)}{dt} = -u (O - O_0) - \left\{ \frac{Y_{o/s}}{Y} \mu - Y_{o/s} (\mu - \lambda) \right\} XV$$

$$\frac{d(XV)}{dt} = (\mu - \lambda)XV$$

$$\frac{d(SV)}{dt} = -\frac{1}{Y}\mu XV$$

熱収支は Fig.5 のように表され、これを式で書くと次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{d\{C_p M(T - T_0)\}}{dt} &= -\rho_a u(i - i_0) - UA(T - T_0) \\ &- \left\{ \frac{\Delta h_s}{Y} \mu + \Delta h_b(\mu - \lambda) \right\} XV \end{aligned}$$

このモデルは状態変数の場所的変化を考慮していないので、適当な初期条件を設定しさえすれば数値シミュレーションは容易である。計算結果の信頼性は必ずしも高くないが、実際のコンポストプラントでは状態変数の場所的分布がとらえにくく、マクロレベルモデルでさえ適用の意味を失う場合が多いので、この程度のおおざっぱな取り扱いでも平均的な情報が得られれば十分という立場からメガレベルモデルが用いられることが多い。

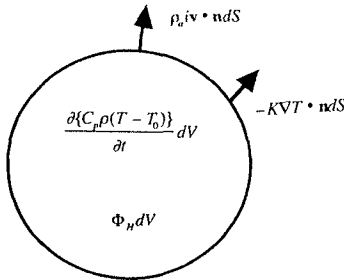


Fig. 3 熱収支（マクロレベルモデル）

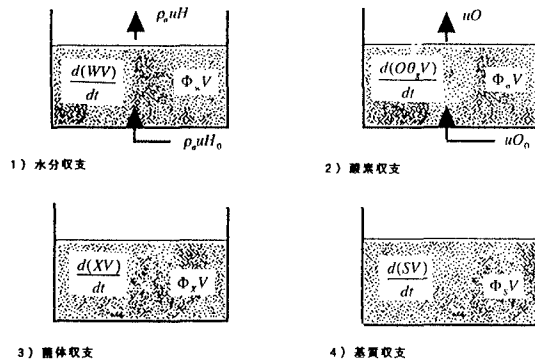


Fig. 4 物質収支（メガレベルモデル）

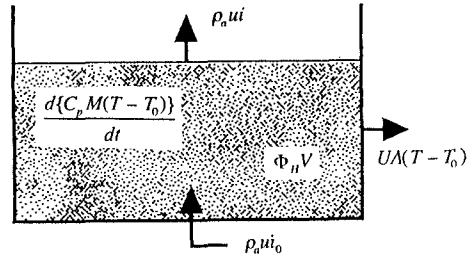


Fig. 5 熱収支（メガレベルモデル）

2. 感度解析

コンポスト化が順調に進行するかどうかは色々な設計、操作条件の下で数値シミュレーションを行い調べることができる。この種のシミュレーション（感度解析）の主な目的は、プロセスの進行に影響を与える重要な因子（含水率、基質量、通気量）が、所定の製品条件を満足できる標準的な設計・操作条件からずれたとき、製品の特性〔製品含水率、到達最高温度、基質消費量〕がどのような傾向でどの程度変化するかを知り、制御方式検討に際しての道標を得ることである。

メガレベルモデルを用いて感度解析を行った結果、原料含水率の上限は 66~72%、下限は 50~55%の範囲にあること、初期菌体量は易分解有機物の 9%以上必要であるが、それ以上あってもその後の反応に及ぼす効果はほとんど変わらないこと、反応が起こるには基質量は約 45kg/m³ 以上必要であるが、逆に多すぎると反応速度が小さくなること、菌体量、基質量、含水率、通気量の 4 つの因子の中で、コンポスト化速度に最も敏感に影響を与える因子は通気量であることなどが分かった。

引用文献

- 1) Bear, J. and Bachmat, Y., 1991: Introduction to Modeling of Transport Phenomena in Porous Media, Kluwer Academic Publishers, 1-553.
- 2) 藤田賢二, 1993: コンポスト化技術, 技報堂, 1-190.
- 3) Haug, R.T., 1993: The practical handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, 1-717.