

# 紙おむつ廃棄物処理システムのモデリングおよび制御応用

葉 怡 君\*・小 川 雅 俊\*・大 貝 晴 俊\*・森 田 洋\*\*・野 村 美 樹\*\*\*

## Modeling of Waste Disposal System for Disposable Diaper and Control Application

Yichun YE<sup>\*</sup>, Masatoshi OGAWA<sup>\*</sup>, Harutoshi OGAI<sup>\*</sup>, Hiroshi MORITA<sup>\*\*</sup>, Miki NOMURA<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract:** Environmental pollution has been a serious problem in industry with generating of industrial waste. Therefore, various environmental measures are considered. In this paper, a used disposable diaper is set as the object of the waste disposal process, and a waste disposal system using a new disposal technique by microorganisms is proposed. The disposal process of used disposable diapers is modeled. A selective control is used in order to realize an efficient disposable diaper waste disposal system at an optimal process temperature. Some simulations have performed to show the effectiveness of proposed control system including the selective control. Also, the optimal process temperature for disposable diaper is obtained from the simulation results.

**Key words:** waste disposal system, disposable diaper, process model, PI control, selective control

### 1. 緒言

近年、地球環境問題への関心が高まっている中で、廃棄物の最終処分場の不足や不法投棄が大きな社会問題となっている。この問題を受け、国においては関係各法の整備を行い、循環型社会の形成を推進している。しかし、これまで産業廃棄物の排出量は依然として減少傾向が見られず、最終処分場の逼迫や不法投棄、不適正処理などの問題は深刻な状況にある。このような状況から、3R (Reduce, Reuse, Recycle) を踏まえ、様々な適切な環境対策、いわゆる環境負荷を低減する技術が検討され、環境に与える悪影響を考慮した低負荷な廃棄物処理システムの構築が求められている<sup>1)</sup>。

一方、生態系では、植物を生産者、微生物を分解者とするエコシステムが稼働することにより資源の循環と同時に健全な環境の保全が行われている。さらに、微生物には自己消化機能も備わっており、環境負荷の低減に対して有効に働いていることが知られている。この自然原理を廃棄物処理に有効利用することによ

て、廃棄物処理手法による環境負荷の低減が期待できる。そこで、われわれはこれまで廃棄物処理プロセスの廃棄物対象を使用済紙おむつとして、小型処理装置による微生物を用いた低負荷かつ安全性の高い使用済紙おむつ処理手法を提案している。<sup>2), 3)</sup>

本研究では、実験結果から得られた微生物の増殖特性に基づいた、装置内温度による微生物数の増減への影響を表現できる紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルを構築し、さらに紙おむつが短時間で分解されるように、微生物増殖の最適温度条件を考慮した上で、プロセスに影響を与える熱量を選択制御で決定する制御系を設計した。また、設計した制御系の有効性をシミュレーションによって確認した。

本稿の構成について、まず、微生物による新たな廃棄物処理システムについて述べる。つぎに、提案する紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルを説明する。構築した紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルを用いて、温度変化に対する紙おむつの分解処理効率の影響を調査した結果について述べる。さらに、最適な増殖温度で効率的な紙おむつ廃棄物処理システムを実現するために提案した選択制御による制御系について述べる。

### 2. 紙おむつ廃棄物処理プロセスとモデリング

産業における製造プロセスや病院から排出される廃棄物は産業廃棄物と定義され、産業廃棄物の処理方法には、焼却や埋め立て、炭化、リサイクルなど様々な方法が利用されている。使用済紙おむつの処理方法も多数存在し、よく行われているのは焼却処理である。しかしながら、紙おむつの素材に含まれる高分子吸水

\* 早稲田大学大学院情報生産システム研究科 福岡県北九州市若松区ひびきの 2-7

\*\* 北九州市立大学国際環境工学部環境化学プロセス工学科 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1

\*\*\* 株式会社電通社 福岡県北九州市小倉南区徳吉西 1-11-16

\* Graduate School of Information, Production and Systems engineering, Waseda University

\*\* Department of Chemical Processes and Environments, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu

\*\*\* DENTSUSYA Co., Ltd

(Received September 27, 2007)

材が排泄物の水分を維持しているため、焼却過程で必要となる大量のエネルギーおよび不完全焼却の際に発生するダイオキシン類が環境負荷の原因となる。このような焼却場で集中処理する紙おむつの処理手法に対して、病院、老人ホームや乳幼児施設などで使用可能な小型処理装置による新たな処理手法を考える。

一方で、高齢者や乳幼児は腸管出血性大腸菌などの感染症にかかりやすいことから、糞便が付着した紙おむつを安全性の高い手法で処理する必要がある。

そこで、われわれはこれまで小型処理装置による微生物を用いた低負荷かつ安全性の高い使用済紙おむつ処理手法を提案している。<sup>2),3)</sup>

### 2.1 紙おむつ廃棄物処理プロセス

紙おむつは概にセルロースとプラスチックの2種類の素材で構成され、我々が提案した処理手法は、その中のセルロース部分を分解処理対象とする。

提案した紙おむつの新たな処理手法を説明する。暗所で3ヶ月間を経て養成させた熟成スギチップに付着している微生物群を利用した、環境に負荷を加えない紙おむつ分解処理手法である。

その手法の有効性を検証した実験を説明する。まず、三角フラスコを用いて紙おむつの最適分解条件を求めた結果、一枚の紙おむつに対して、1ℓの水分量、300gのスギチップ、1%の酵素、1gの金属イオンおよび20gのアルガ（海藻類）を組み合わせ、35℃で7日間を培養すると、Fig.1に示すように分解対象であるセルロースの93.42%が分解できた。また、紙おむつに吸収された水分は金属イオンである第一硫酸鉄七水和物によって排出させた。なお、同じ分解処理条件の下で、腸管出血性大腸菌の増殖が40以上の高温条件で抑えられることを検証し、安全性を確認した。

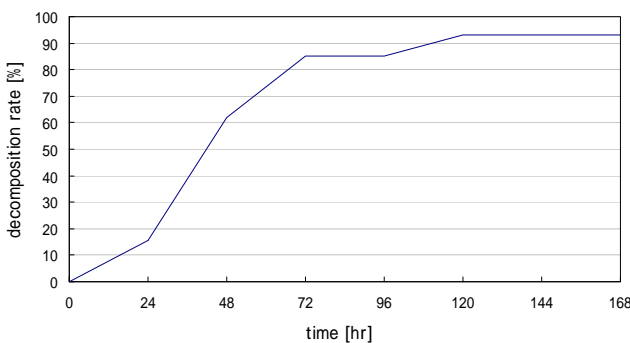


Fig.1 The decomposition rate of cellulose of disposable diaper

さらに、小型の生ゴミ処理装置で紙おむつの分解処理を試みた結果、プラスチック以外の成分の85%以上が、48時間で分解されることが分かった。これらの実験結果から提案した処理手法を用いることによりゴミ減量化が実現できることが示唆された。

実験結果を基にして紙おむつ廃棄物処理プロセスの設計を行った。処理装置内の温度を制御しながら、攪

拌装置により紙おむつの分解を進行させる。紙おむつ廃棄物処理プロセスの処理フローを以下に示す。

- 1) 1枚の使用済紙おむつを処理装置に投入する。
- 2) 破碎装置で紙おむつを小さいサイズに断片化し、スギチップによって分解処理を行なう。
- 3) 最後の残存物（プラスチック）を網で分離し、滅菌して排出した後、一般ゴミとして処分する。

### 2.2 紙おむつ廃棄物処理プロセスのモデル構築

提案した微生物による紙おむつ廃棄物処理プロセスをFig.2に示す。処理装置内では、温度制御を行いながら分解処理を進行させる。ここで、 $Q_2$ は温度を調節するために加える熱量、 $X$ は微生物数、 $S$ は基質（栄養源）量、 $M$ は紙おむつ量、 $T$ は装置内の温度を表す。

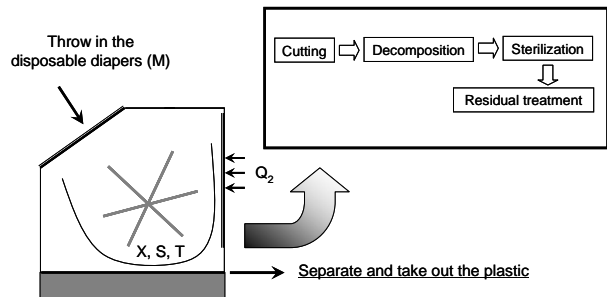


Fig.2 Disposal process of used disposable diapers

微生物には、短時間に廃棄物を分解し、ごみの減容・減量を実現することができる特徴がある。一方、紙おむつの分解効率処理装置内に生存している微生物数に関係しており、また、微生物の増殖は培養条件によって大きく影響を受けると考えられる。

まず、微生物の増殖を表現するために、(1)式のMonodの増殖式（Monod, 1942）を利用する。この式により、紙おむつ廃棄物処理プロセスに使われている微生物群の増殖速度と基質、すなわち微生物増殖に消費されている栄養源の量との関係を表すことができる。

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \quad (1)$$

ここで、 $\mu$ は微生物の比増殖速度、 $\mu_{\max}$ は微生物の最大比増殖速度、 $S$ は基質の濃度、 $K_S$ はMonod係数である。<sup>4)</sup>

また、紙おむつ廃棄物処理プロセスにおいては、可能な限り短時間で紙おむつを分解処理することが望まれる。微生物の数が多きほど、分解効率が高くなるため、微生物の最も最適な増殖速度を確保することが求められる。一方、微生物の増殖速度と温度は密接に関係しており、温度が上昇すると、増殖速度も上がる。したがって、処理装置内の温度を制御することにより、紙おむつの分解を効率化することができると考えられる。そこで、装置内温度による微生物数の増減の影響

を表現できる紙おむつ廃棄物処理プロセスのモデルが必要となる。微生物の増殖速度と装置内温度の関係をアレニウス式

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (2)$$

$k$  : 反応速度定数  
 $A$  : 頻度因子  
 $Ea$  : 活性化エネルギー  
 $R$  : 気体定数  
 $T$  : 温度

によって定義する。本稿では、ある温度範囲内で、反応速度定数  $k$  がアレニウス式に従うと仮定すれば、ある温度における反応速度定数  $k_1$  は基準温度と比較して何倍になるか、いわゆる「温度変換率」を (3) 式によって導くことができると考える。ここで、 $t_1$  を実測値、 $t_0$  を基準温度とし、常温の 25 (298K) に設定する。

$$\frac{k_1}{k} = \frac{Ae^{-Ea/R(273+t_1)}}{Ae^{-Ea/R(273+t_0)}} = e^{\frac{-Ea(t_0-t_1)}{R(273+t_1)(273+t_0)}} \quad (3)$$

この温度変換率 ( $k_1/k$ ) を微生物数 ( $X$ ) の表す状態方程式に導入し、設定温度と基準温度 (本稿では、外気温度とみなす) の比に依存すると仮定する微生物数の変化状況は (4) 式で示され、Fig.3 のような変化となる。

$$\frac{dX}{dt} = \left\{ 1 + \ln\left(\frac{k_1}{k}\right) \right\} \cdot \mu(t) \cdot X(t) \quad (4)$$

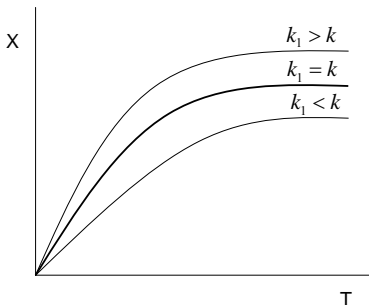


Fig.3 The variations in the amount of microorganisms with difference temperature ratios

一方、装置内の温度モデルは、ニュートンの冷却法則を利用した外気による熱伝達、物質分解による発酵熱  $Q_1$  および外部から加える熱量  $Q_2$  3つのパターンで構成した。

ニュートンの冷却法則の式<sup>5)</sup>は、(5)式で示される。

$$\frac{dT}{dt} = -K \cdot (T - T_{out}) \quad (5)$$

ここで、 $T$  は装置内温度[K]、 $T_{out}$  は外気温度[K]、また、 $K$  は伝熱の大きさを表す定数である。冷却速度  $dT/dt$  は温度差 ( $T - T_{out}$ ) に比例することから、処理プロセスにおける外気による熱伝達の関係式が求められる。

本稿では、紙おむつ廃棄物処理装置を常温の下で放置した場合、48時間後の温度変化量を 30 から 25 に

変化すると仮定することによって(5)式の定数  $K$  を算出する。求めた外気による熱伝達の関係式は(6)式のようになる。

$$\frac{dT}{dt} = -0.014(T - 298) \quad (6)$$

(6)式に物質分解による発酵熱  $Q_1$ 、およびヒータにより装置内に加えた熱量  $Q_2$  を加えて構成した温度モデルは

$$\frac{dT}{dt} = -0.014(T - T_{out}) + \frac{Q_1 + Q_2}{4.184} \quad (7)$$

となる。

発酵熱  $Q_1$  の発生量と紙おむつの処理量  $M$  との関係は(8)式である。

$$Q_1 = \alpha \cdot M(t) \quad (8)$$

ただし、

$$\alpha = \text{分解熱/mol} = 22 \text{ [kJ/mol]}$$

である。

また、紙おむつの分解状態を(9)式で表現し、基質の消費を(10)式で表す。

以上まとめると、紙おむつ処理プロセスを以下のようにモデル化した<sup>6)</sup>。

$$\frac{dX}{dt} = \left\{ 1 + \ln\left(\frac{k_1}{k}\right) \right\} \cdot \mu(t) \cdot X(t) \quad (4)$$

$$\frac{dT}{dt} = -0.014(T - T_{out}) + \frac{Q_1 + Q_2}{4.184} \quad (7)$$

$$Q_1 = 22 \cdot M(t) \quad (8)$$

$$\frac{dM}{dt} = -vX(t) \cdot M(t) \quad (9)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{X(t)}{Y_{X/S}} \cdot \mu(t) \quad (10)$$

$$\mu(t) = \mu_{max} \cdot \frac{S(t)}{K_s + S(t)} \quad (11)$$

ここで、 $T$  は装置内の温度[K]、 $T_{out}$  は外気温度[K]、 $Q_1$  は分解熱、 $Q_2$  はヒータによる加熱量[KJ]、 $M$  はセルロース量[g・L<sup>-1</sup>]、 $v$  は紙おむつの分解率[g・hr<sup>-1</sup>]、 $X$  は微生物量[g・L<sup>-1</sup>]、 $\mu$  は微生物の増殖速度[hr<sup>-1</sup>]、 $S$  は基質量[g・L<sup>-1</sup>]、 $Y_{X/S}$  は菌体収率、 $\mu_{max}$  は最大増殖速度[hr<sup>-1</sup>]、 $K_s$  は Monod 係数である。

初期値を 18g、308K と与え、構築した紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルを用いて得られたプロセス応答を Fig.4 に示す。横軸をシミュレーション時間[hr]、縦軸を紙おむつ処理量[g]および温度[K]とする。

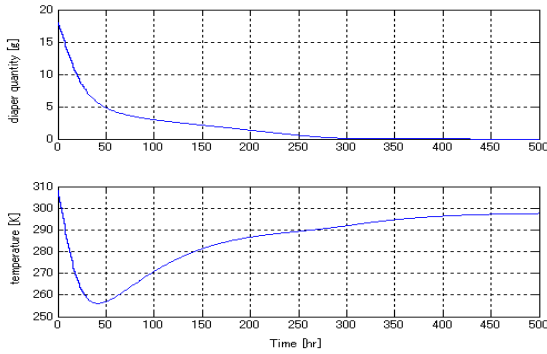


Fig.4 The response of diaper disposal process

### 3. 紙おむつ廃棄物処理システムにおける制御系の構築とそのシミュレーション

微生物にとって、重要な増殖条件の一つは温度である。微生物の生育可能な温度域は種類によって異なると知られており、温度が微生物の生育可能な温度域より高過ぎると、微生物が死滅する。逆に、低く過ぎると、増殖力も活動力も低下し、分解効率が悪化すると考えられる。本研究に使用している微生物群の増殖最適温度域は、文献<sup>3),7)</sup>の実験結果より 308Kから 323Kの範囲であるが、333Kまでは生育(増殖)可能である。分解処理の効率化を目指すため、このような増殖最適温度条件に従った処理装置内の温度制御が求められる。

本処理プロセスを1入力2出力系と考え、操作変数(Manipulated Variable)を「ヒータに加える熱量」とし、制御変数(Controlled Variable)を「紙おむつ量(M)」および「装置内温度(T)」とする。PI制御により設定値からの制御出力の偏差に基づき、制御入力を調整し、LSSの操作条件によって選択制御を行い、最も優先的に制御すべき制御変数を選ぶ。また、選んだ制御入力に温度による制約条件をかけることによって、操作量の補正を行なう。

これらの制御によって構築した紙おむつ廃棄物処理システムの制御系を Fig.5 のように表す。

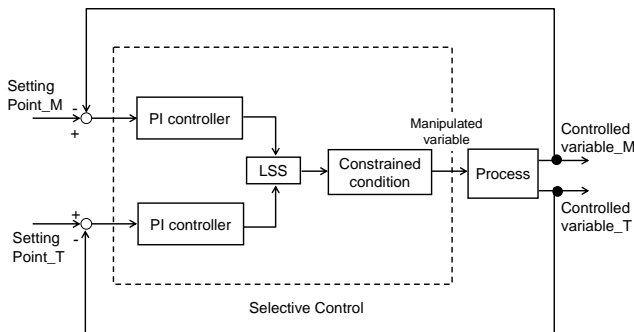


Fig.5 A waste disposal system for diapers

#### 3.1 ヒータに加える熱量の選択制御

本処理プロセスにおいて、すべての制御変数を制御

できるほど操作変数の数が十分ではないため、操作条件に応じて、制御変数の中から最も優先的に制御すべき変数を選び、選択論理にしたがって自動的に行なう選択制御を用いる。選択制御を行なうことによって、制御入力変数を選択し、ヒータに加える熱量の操作を行い、最適処理温度で効率的な紙おむつ廃棄物処理システムを実現することを考える。

選択制御(Selective Control)では、High Selector Switch (HSS)とLow Selector Switch (LSS)と呼ばれる2種類のスイッチが一般的に使われている。前者はプロセスに入ってきた複数の入力信号の中から、最も高い値の信号を選択する。一方、後者はその中の最も低い値の信号を選択するという選択論理である。<sup>8)</sup>

本処理プロセスでは、利用する微生物群の増殖条件に対する最適温度条件を考慮した上で、温度を微生物群の生育可能な温度域内で変動するように、加える熱量に選択制御を用い、紙おむつが最適速度で分解されるように設計する。「紙おむつ量」と「装置内温度」の偏差から制御量を求め、小さいほうの制御入力を選択し、「ヒータに加える熱量」を決定するLSSの選択制御を行なう。さらに、マイナスの制御入力はカットし、かつ装置内温度が微生物の生育可能な温度域の上限である333Kより高くないように制御量を操作するという2つの制約条件を加える。このような制約付き制御フローを Fig.6 に示す。

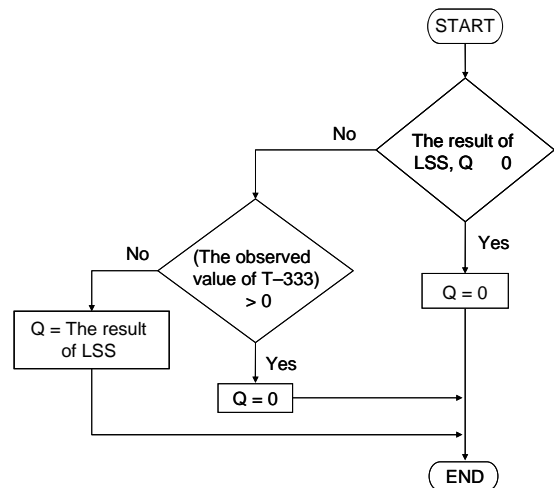


Fig.6 The constrained conditions for manipulated variable

#### 3.2 PI制御による制御入力値の調整

制御変数である「紙おむつ量(M)」および「装置内温度(T)」にPI制御を施し、それぞれの実測値をフィードバックし、目標値との偏差をゼロにするように、制御入力を調整する。そのため、ステップ応答によって得られたプロセス動特性を用いて最適なPI制御パラメータを求める。

PID制御パラメータのチューニングには多くの方法

が提案されている．本稿では，『ステップ応答法』を用いて最適な制御パラメータを算出する<sup>9),11)</sup>．『ステップ応答法』というのは，プロセス動特性を1次遅れとむだ時間で近似し，制御パラメータを求めるものである．そのため，まず，構築した処理プロセスの動特性，すなわちプロセスの操作変数を変化させたときに，制御変数が時間的にどのように変化するかを調査する．

紙おむつ廃棄物処理プロセスを1次遅れ・むだ時間系と考えたときの伝達関数は次式で表される．

$$P(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-Ls} \quad (12)$$

ただし， $K$ が定常ゲイン， $T$ が時定数， $L$ がむだ時間である．<sup>9),10)</sup>

定常状態の紙おむつ廃棄物処理プロセスにヒータによる加熱量のステップ状入力を与えることによって，プロセスの伝達関数を求める．「ヒータによる加熱量」を入力変数に対する「紙おむつ量(M)」と「装置内温度(T)」のステップ応答をFig.7に表す．

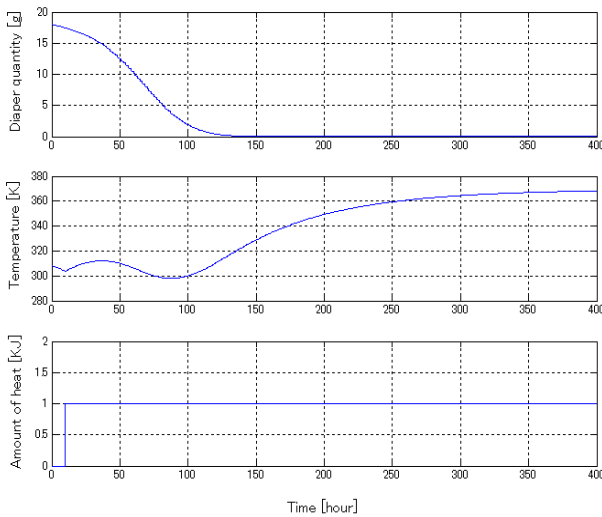


Fig.7 Step response of diaper disposal process

「紙おむつ量(M)」と「装置内温度(T)」のステップ応答から算出したゲイン  $K$ ，時定数  $T$  とむだ時間  $L$  を Table 1 に示す．ただし，それぞれの単位は  $K$  [g/kJ]， $T$  [hr]， $L$  [hr] である．

Table 1 The constants of  $K$ ,  $T$  and  $L$

|   | $K$ | $T$ | $L$ |
|---|-----|-----|-----|
| M | 18  | 60  | 12  |
| T | 60  | 74  | 115 |

装置内温度の近似モデル応答と実モデルの応答を比較し，モデルの有効性を検証した．その結果をFig.8に示す．近似モデルと実モデルの応答が近い傾向を示し，近似モデルの有効性が確認された．

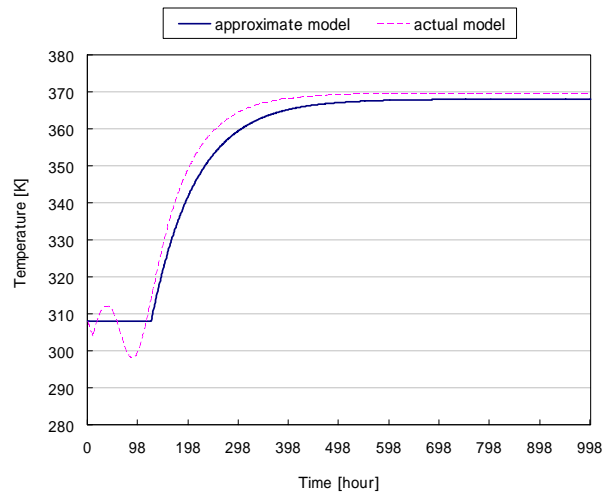


Fig.8 The responses of a control system for diaper disposal process

『ステップ応答法』による「紙おむつ量」と「装置内温度」のPI制御パラメータのチューニングした結果を Table2 に示す．

Table 2 Parameters of PI controllers

|              | $K_p$  | $T_i$ | $T_D$ |
|--------------|--------|-------|-------|
| PI Control_M | 4.5    | 39.6  | 0     |
| PI Control_T | 0.5791 | 379.5 | 0     |

ここで，PI Control\_M は紙おむつ量の偏差を用いた PI 制御を表し，PI Control\_T は装置内温度の偏差を用いた PI 制御を意味する．

チューニングした結果によって得られた最適な PI 制御パラメータを用い，紙おむつ量と装置内温度にそれぞれの目標値を与え，個別にシミュレーションを行った．PI 制御による紙おむつ量に対する出力応答を Fig.9 で表し，PI 制御による装置内温度に対する出力応答を Fig.10 に示す．ただし，Fig.9 において，紙おむつ量の目標値を 0g とし，Fig.10 においては，装置内温度の目標値を 313K に設定した．

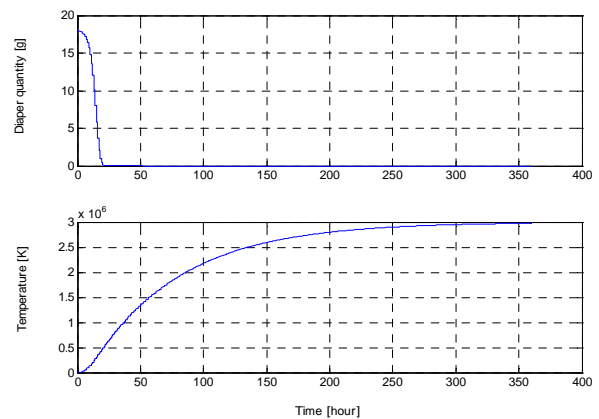
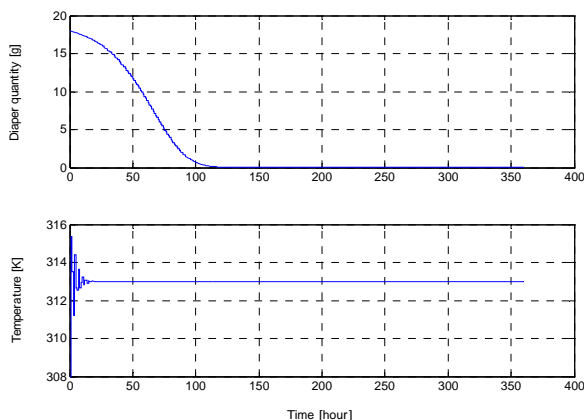


Fig.9 The output responses of a single-diaper quantity-controller PI control system





**Fig10** The output responses of a single-temperature-controller PI control system

Fig.9 より、紙おむつは PI 制御により分解されることと共に、装置内温度が急速に上がっていく。Fig.10 より、装置内温度が PI 制御によって目標値の 313K に近づくように調整されているが、紙おむつの分解量が制御されていない。

そこで、本稿では、効率的かつ円滑な分解プロセスを追求するため、プロセス偏差の修正において、「紙おむつの分解状況」および「装置内温度の変化状況」を同時に評価し、評価結果を用いて選択制御を行い、プロセスの設定条件によって制御入力変数を選択し、プロセス応答を目標値に近づくように修正する。

### 3.3 提案した制御系によるシミュレーション

提案した紙おむつ廃棄物処理システムの制御系に異なる温度条件を与え、シミュレーションを行った。セルロースを完全分解することを目指すため、「紙おむつ量」の目標値を 0 [g]と設定する。一方、「装置内温度」の目標値を微生物の増殖特性に基づいて指定する。利用されている微生物群の増殖至適温度域の最低温度 308K および最高温度 323K をそれぞれ分解処理温度の最低限度と最高限度とした。「装置内温度」の目標値を 308K, 313K, 318K, 323K に設定し、それぞれシミュレーションを行った。

三角フラスコを用いた実験結果 (Fig.1 等) および文献値<sup>12), 13)</sup>をもとに、紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルの初期値およびシミュレーション時間を以下のように設定した。

シミュレーション時間：360 [hr]  
 X : 0.5 [g/L]  
 S : 71 [g/L]  
 M : 18 [g/L]  
 T : 308 [K]  
 Q : 22 [KJ/mol]  
 $\mu_{max}$  : 0.036 [hr<sup>-1</sup>]  
 Ks : 26 [g/L]  
 Y<sub>X/S</sub> : 0.21 [g/L]  
 V : 0.0051 [g/hr]

気体常数 R : 0.008314 [KJ/K·mol]  
 活性エネルギー E<sub>a</sub> : 7390.9406 [KJ/mol]  
 熱容量 : 4.184 [KJ/g·K]

処理温度条件を 308K, 313K, 318K, 323K に設定した場合の紙おむつ量、装置内温度のシミュレーション結果を Fig.11 ~ 14 に示す。

シミュレーション結果により、設定温度が高いほど、紙おむつの分解処理時間が短くなることが分かった。Fig.11 の処理温度を 308K に設定した場合は、18g の紙おむつ量が完全に分解されるまでに 123 時間かかったのに対して、Fig.14 の 323K に設定した場合は、増殖活動が活発となり、分解時間が短縮となり、88 時間で完全に分解された。また、Fig.14 の 323K に設定した場合は、装置内温度の変動は制御量に対する制約条件の実行に伴い、変動する温度が生育可能な温度域を超えないように制御できた。

## 4. 結言

本論文では、使用済紙おむつを廃棄物処理プロセスの廃棄物対象として、実験結果による微生物の増殖特性に基づいた、装置内温度による微生物数の増減への影響を表現できる紙おむつ廃棄物処理プロセスモデルを構築した。さらに最適な増殖温度で効率的な紙おむつ廃棄物処理システムを実現するため、選択制御による制御系を設計した。また、設計した制御系の有効性をシミュレーションによって確認した。

微生物の増殖特性に基づいて構築したモデルでは、温度と微生物の増殖速度の関係を表すために、アレニウス式を利用した。また、ニュートンの冷却法則を用い、外気による熱伝達、物質分解による発酵熱、外部から加える熱量の 3 つの要素を反映させた温度モデルを構築した。

紙おむつが短時間で分解されるように、微生物増殖の最適温度条件を考慮した上で、「ヒータに加える熱量」を選択制御で決定する制御系を設計した。プロセスの制御変数である「紙おむつ量」および「装置内温度」を PI 制御によって調整を行い、補正した値を LSS の選択基準によって評価し、制御変数の中から最も優先的に制御すべき変数を選択し、熱量としてプロセスに入力した。なお、温度を微生物群の増殖至適温度域に維持するために制約条件を付けた。このような廃棄物処理システムの制御系を用いて使用済紙おむつの分解処理シミュレーションを行った。

シミュレーション結果により、紙おむつ廃棄物処理プロセスの温度設定が微生物の増殖至適温度域の最高温度に近づくほど、処理時間が短くなることが分かった。18g の処理量に対し、308K で処理する場合は、従来 1 週間程度かかる分解処理時間は、提案した処理システムの制御系によって短縮でき、増殖温度の最適条件によって分解処理はさらに効率化した。

このように、微生物の増殖特性に基づく温度制御によって、効率的な処理能力を備えた廃棄物処理システムが実現できる。

【参考文献】

- 1) 環境省：官庁情報 環境省 「日本の廃棄物処理」(平成16年度版)について，日本環境整備教育センター，通号 **369** 44/53 (2007)
- 2) Mochammad Chaerul, Masaru tanaka : A system dynamics approach for hospital waste management, Waste Management, (2007)
- 3) 葉怡君, 大貝晴俊, 森田洋, 高林幸則：微生物による紙おむつ処理システムの構築，防菌防黴，**34**, 12 777/783 (2006)
- 4) 土戸哲明, 松岡英明, 高麗寛紀, 小泉淳一：微生物制御 - 科学と工学，講談社 (2002)
- 5) 藤井敏：“4-4 実験してみよう:ニュートンの冷却法則と微分方程式”，日本数学教育学会誌・臨時増刊，総会特集号，**75**，435 (1993)
- 6) Yichun YEH, Masatoshi OGAWA, Harutoshi OGAI, Kazuo SAKIYAMA : Development of Simulator about Disposable Diaper Disposal Process, SICE-ICASE International Joint Conference 2006 ,CD-ROM, 4457/4460 (2006)
- 7) 森田洋, 宮野麻紀子, 馬見塚香織, 牛島健介, 高林幸則：木材由来微生物による牛糞の分解，防菌防黴，**32**，5/11 (2004)
- 8) 大嶋正裕：プロセス制御システム，コロナ社 (2003)
- 9) 加納 学：Matlab を利用した制御系設計 - 基礎編，<http://tech.chase-dream.com/control/book.html>
- 10) 岡野靖彦, 定木淳：資源処理プロセス制御，資源と素材，**117** 473/478 (2001)
- 11) 橋本伊織, 長谷部伸治, 加納学：プロセス制御工学，朝倉書店 (2002)
- 12) 朴明玉, 青山勲, 田中勝：医療（感染性）廃棄物の中間処理の滅菌効果および安全性の評価，廃棄物学会論文誌，**16**(4)，318/324 (2005)
- 13) D.Mazouni ,M.Ignatova ,J.Harmand : A Multi-Model approach for the monitoring of carbon and nitrogen concentrations during the aerobic phase of a biological sequencing batch reactor , 16th IFAC World Congress, Prague (2005)

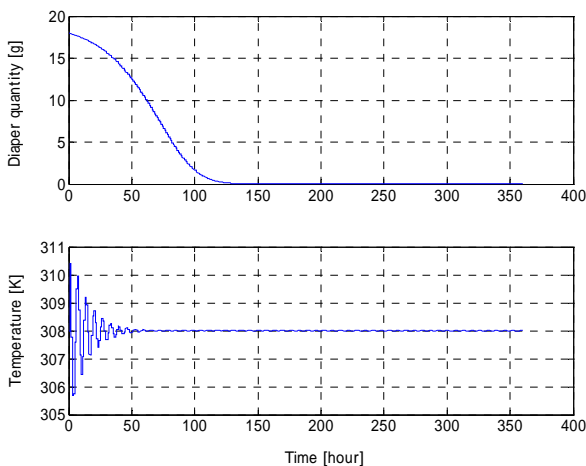


Fig.11 The results of simulation for diaper quantity and temperature at 308K

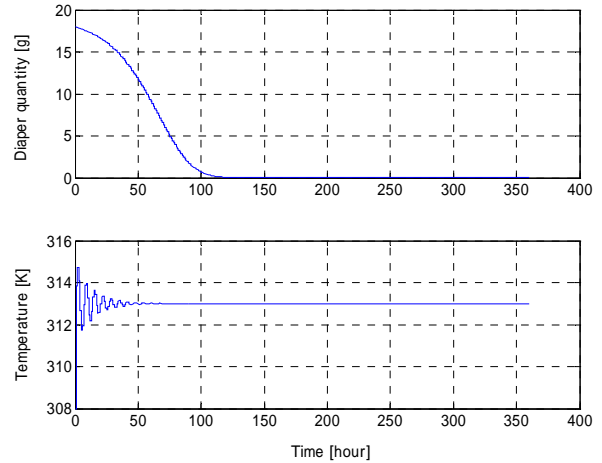


Fig.12 The results of simulation for diaper quantity and temperature at 313K

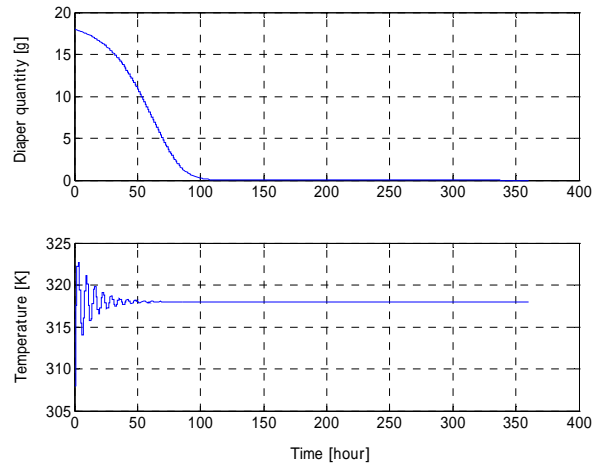


Fig.13 The results of simulation for diaper quantity and temperature at 318K

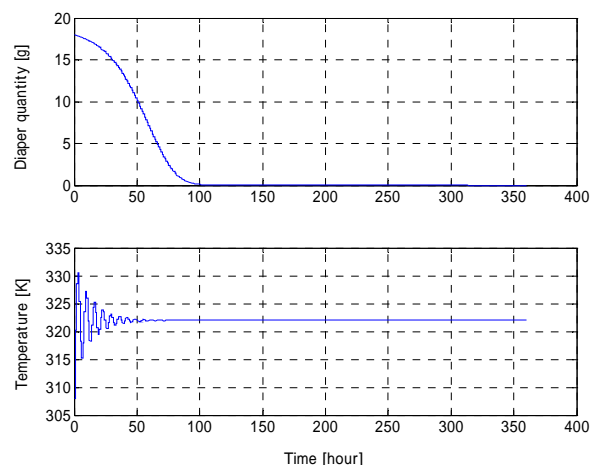


Fig.14 The results of simulation for diaper quantity and temperature at 323K

## [ 著 者 紹 介 ]

### 葉 怡 君 (学生会員)



2005年早稲田大学大学院情報生産システム研究科情報生産システム工学専攻修士課程修了。同年、同 情報生産システム工学専攻博士(後期)課程入学,現在に至る。廃棄物処理プロセスのモデリングとシミュレーション技術の研究に従事。電気学会,防菌防黴の学生会員。

### 小 川 雅 俊 (学生会員)



2005年早稲田大学大学院情報生産システム研究科情報生産システム工学専攻修士課程修了。同年、同 情報生産システム工学専攻博士(後期)課程入学,2007年4月より早稲田大学助手,現在に至る。高炉プロセスのモデリングとシミュレーション技術の研究に従事。電気学会,制御情報システム学会,設備管理学会の学生会員。

### 大 貝 晴 俊 (正会員)



1974年早稲田大学工学部電気工学科卒業。1976年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年,新日本製鐵(株)入社。鉄鋼プロセス制御の開発に従事。2003年より早稲田大学大学院情報生産システム研究科教授。博士(工学),プロセス制御,プロセスモデリング,シミュレーション技術等の研究に従事。人工知能学会,日本鉄鋼協会等の会員。

### 森 田 洋



1999年九州大学大学院農学研究科博士課程修了,博士(農学)学位を取得。八代工業高等専門学校生物工学科助手(1999年~),北九州市立大学国際環境工学部講師(2001年~)を経て,2006年4月より北九州市立大学准教授,現在に至る。い草の機能性,バイオレメディエーション,新規微生物制御法に関する研究に従事。日本農芸化学会,日本生物工学会,日本防菌防黴学会,日本工業技術協会,日本食品工学会の会員。

### 野 村 美 樹



株式会社電通社代表取締役,有限会社電通社ブランドゥ代表取締役。