

生ごみのコンポスト化条件の最適化

Research on Optimization of Composting Condition for Garbage Processing

橋本理恵*, ○市川新太郎**, 坂野進**

Rie Hashimoto, ○Shintarou Ichikawa, Susumu Sakano

* (株) 柏屋, ** 日本大学

* Kashiwaya Co., ** Nihon University

キーワード: 生ごみ処理 (Garbage Processing), 条件の最適化 (Optimization of Processing Conditions),
小型/低価格化 (Small Size and Low-Cost), コンポスト条件 (Composting Conditions)

連絡先: 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1
日本大学工学部機械工学科メカトロニクス研究室
市川新太郎: Tel (024) 956-8774, Fax: (024) 956-8860
E-mail: sakano@mech.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒 論

我々の生活環境の中にごみが溢れている。特に、食品関連事業者および一般家庭からの生ごみの量が増加傾向にある。このために、生ごみの排出を抑制し、資源の再生利用を促進するための法律「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」が施行されている。生ごみの処理装置はいろいろのメーカーから多数発売されている。それらの装置における処理方法は大きく2つに大別できる。微生物分解処理方式と乾燥処理方式である。また、装置の大小、処理能力の高低により家庭用と事業所用に分かれている。これらの装置に係わる処理方式の原理に関する研究は多々行われているが、処理条件の検討については試行錯誤的に行われており、必ずしも処理条件が最適化されているとは言えない。

本研究においては、一般家庭で簡易に生ごみ処理が行え、低コストで置き場所にも困らないような生ごみ処理装置の実現を目指し、その最初のステップとして処理時間の短縮化を図る。生ごみ処理方式として乾

燥処理方式を取り上げ、処理に係わる各種の条件の最適化を目指す。品質工学における直交表を用いた実験とSN比を用いた評価により最適条件を見出す。

2. 実験方法

2.1 実験装置

品質工学では、試験片や試験管を使ってパラメータの最適化を図り、実用化を進めて行くことを推奨している。本研究においては、デシケータ内を温室用の温度コントローラで温度制御し、フードプロセッサを用いて生ごみと媒体を混合、攪拌する実験により乾燥処理方式パラメータの最適化を図る。実験装置を図1に示す。本実験で用いた乾燥処理方式に係わるパラメータを表1に示す。温度の制御には、温度センサで温度を検出し、ニクロム線型温風器の電流のオン・オフにより行なっている。フードプロセッサの回転速度制御はスライダックスにより行なう。生ごみとしては、適当に水分が含まれ、家庭で比較的多く使われているキャベツを使用した。乾燥剤として消石灰を用い、生ご

みに混合して乾燥効果を高めた。また、後に肥料として使用するためにも消石灰を用いた。媒体としては鹿沼土、ウッドチップ、砂、落ち葉（粉末）、および α を用いた予備実験を行い、ウッドチップ、落ち葉（粉末）および α を媒体として選定した。媒体 α は日頃、廃棄されているもので、比較的簡単に手に入るものである。ここでは、ノウハウの流出防止のために α とした。なお、水分の測定には赤外線水分計を用いた。

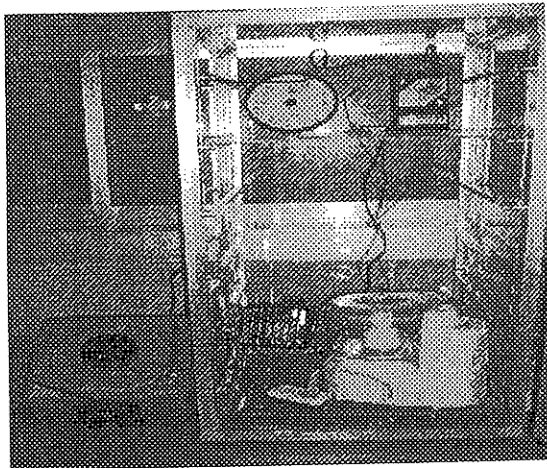


Fig. 1 Outlook of Experimental Device

Table. 1 Parameters using Experiment

	パラメータ	内 容
A	フラッシュ	処理前に生ごみと媒体を攪拌・混合する
B	処理温度	15℃ ~ 35℃
C	回転速度	低 (40rpm) ~ 高 (60rpm)
D	消石灰混合量	媒体に対して10%~30%混合する
E	処理媒体	ウッドチップ、落ち葉の粉末、 α

2. 2 実験方法

L_{18} の直交表にパラメータを割付て実験を行った。 L_{18} であるので18回の実験で、最適パラメータの選択を行う。パラメータと水準を表2に示す。

3. SN比による評価

3. 1 直線性とばらつき

乾燥方式の生ごみ処理における生ごみと媒体との混合した状態の水分量と処理時間の理想関係を次式のようにおく。

$$y = \beta \cdot M \quad (1)$$

ここに、 y は（媒体+生ごみ）の水分量、 M は処理時間、 β は定数であるが、感度係数といわれているものである。

Table. 2 Experimental Conditions

パラメータ	水 準		
	1	2	3
A フラッシュ	有り	なし	—
B 処理温度	15℃	25℃	35℃
C 回転速度	40(低)	50(中)	60(高)
D 消石灰量	10%	20%	30%
E 処理媒体	ウッドチップ	落ち葉粉末	α

パラメータの選定によりこの理想関係に近づける。その評価として用いられるのがSN比である。SN比を用いることにより直線性とばらつきを同時に評価できる。すなわち、SN比を用いることにより、式(1)で示される直線性（感度係数 β ）とばらつきの大きさ（誤差分散の推定）を同時に解析できる。

3. 2 SN比

直交表を用いた実験で、直交表のあるNo.の実験データが表3に示すように得られたとする。

Table. 3 Example of Experimental Data

	M_1	M_2	M_3	M_1	M_5	
N_1	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	L_1
N_2	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	L_2

表2における N_1, N_2 は誤差因子で、本実験では生ごみの量の違いを用いている。具体的には媒体に混合するキヤンバツの量の違いである。また、 L_1, L_2 は N_1, N_2 の条件の下での比例定数の大きさを示すもので、線形式を次式で求める。

$$L_1 = M_1 y_1 + M_2 y_2 + M_3 y_3 + M_4 y_4 + M_5 y_5 \quad (2)$$

$$L_2 = M_6 y_6 + M_7 y_7 + M_8 y_8 + M_9 y_9 + M_{10} y_{10} \quad (3)$$

感度係数 β の変動は次式で求める。

4. 実験結果

$$S\beta = \frac{(L_1 + L_2)^2}{2r} \quad (4)$$

ここに、 r は次式で示される有効除数と呼称するもので、入力信号の大きさである。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + M_4^2 + M_5^2 \quad (5)$$

N_1, N_2 での比例定数の差による変動は次式となる。

$$S_{N \times \beta} = \frac{(L_1 - L_2)^2}{2r} \quad (6)$$

全変動と誤差変動は次式で求まる。

$$S_T = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 + y_{10}^2 \quad (7)$$

$$S_e = S_T - S_{\beta} - S_{N \times \beta} \quad (8)$$

SN比 η と感度 S は次式で求められる。

$$\eta = 10 \log \frac{(S_{\beta} - V_e)}{2r V_N} \quad (9)$$

$$S = 10 \log \frac{(S_{\beta} - V_e)}{2r} \quad (10)$$

ここに、

$$V_e = S_e / 8 \quad (11)$$

$$V_N = \frac{S_{N \times \beta} + S_e}{9} \quad (12)$$

である。SN比および感度の単位はdB (デシベル) である。SN比が大きいものは直線性がよく、ばらばらの少ないデータである。SN比によりパラメータを選定し、感度により直線の傾きを調整する。すなわち、直線の傾きを感度 β^2 で目標値に合わせる。

4.1 実験結果よりSN比を求める

表2に示したパラメータの水準を L_{18} の直交表に割付け実験を行った。直交表に割付けた状況を表4に示す。各実験No. ごとに式(2)から式(12)を用いてSN比と感度を求めた。実験データの一部を表5に示す。水分量の測定は10分毎に30分まで、その後、60分経過後に行っている。実験結果を基にSN比および感度を求めたものを表6に示す。これを基にパラメータの水準ごとに平均値を求めた結果を表7に示す。また、この結果を図示したものを図2に示す。

Table 4 Orthogonal Array Experiment.

No	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	2	1	1	2
5	1	2	2	2	3
6	1	2	3	3	1
7	1	3	1	2	1
8	1	3	2	3	2
9	1	3	3	1	3
10	2	1	1	3	3
11	2	1	2	1	1
12	2	1	3	2	2
13	2	2	1	2	3
14	2	2	2	3	1
15	2	2	3	1	2
16	2	3	1	3	2
17	2	3	2	1	3
18	2	3	3	2	1

ABCDE は表2に示されるパラメータを示す。
123はパラメータの水準を示す。

Table 5 Experimental Data (For Example)

番号	生ごみ	単位 : %				
		0分	10分	20分	30分	60分
No.1	100g	0	5.3	7.6	8.5	166
	200g	0	0.5	1.4	3.4	7.5

A1, B3, C3, D3, E3 がパラメータの最適な水準の選択である。中でも、B の処理温度と E の媒体の量の影響が大きい。処理温度を高くして、ある種の媒体を用いおぼ生ごみの処理時間を短縮できる。当初、消石灰の影響が大きいのではと想定していたが、消石灰の混入量に

よる処理時間への影響性が小さい。

4. 2 確認実験

品質工学では求められたパラメータの最良な水準に対して推定される SN 比、感度と実際の実験で得られるものが一致するかどうか確認実験を行うことを推奨している。それは、パラメータ間に交互作用があった場合に得られた結果が必ずしも最良の組合せと等らないことがあるからである。確認実験として、最良の組合せの場合と、最悪の組合せの場合にそれぞれの実験を行い、推定される SN 比、感度と実験で得られるものとの比較する。一般には、現状の条件の場合と最良の条件の場合との比較を行うが、本研究においては、既存の組合せが存在しないので、上記の組合せの比較を行う。結果を表 8 に示す。

Table 6 SN ratio and Sensitivity in each Experiments

Unit: dB

No.	SN ratio	Sensitivity
1	-23.700	-13.857
2	-21.363	-9.633
3	-23.749	-5.497
4	-20.476	-14.717
5	-22.113	-7.174
6	-22.221	-3.497
7	-20.144	-5.357
8	-23.657	-7.279
9	-22.327	-13.100
10	-23.101	-4.327
11	-21.488	-13.799
12	-20.941	-5.111
13	-22.760	-7.172
14	-21.780	-5.125
15	-21.575	-9.907
16	-19.704	-2.270
17	-23.117	-11.140
18	-19.875	-5.835

表 9 に示すように水準の選定で行った実験結果から得られる推定値の差と確認実験で得られた値の差は 2.92 dB でよく一致しているといえる。品質工学では、経験的にこの差が 5 dB 以内であれば、パラメータ間に交互作用がなく、得られた結果は信頼性がある。

Table 7 Average SN ratio and Sensitivity

Unit: dB

項目	水準	1	2	3
A	SN	-21.00	-21.59	
	S	-7.19	-8.91	
B	SN	-22.41	-21.82	-19.80
	S	-8.71	-7.93	-7.50
C	SN	-21.78	-21.03	-20.59
	S	-7.95	-7.77	-7.16
D	SN	-22.13	-21.20	-20.70
	S	-12.75	-6.73	-4.67
E	SN	-22.83	-21.55	-19.62
	S	-8.16	-8.07	-7.92

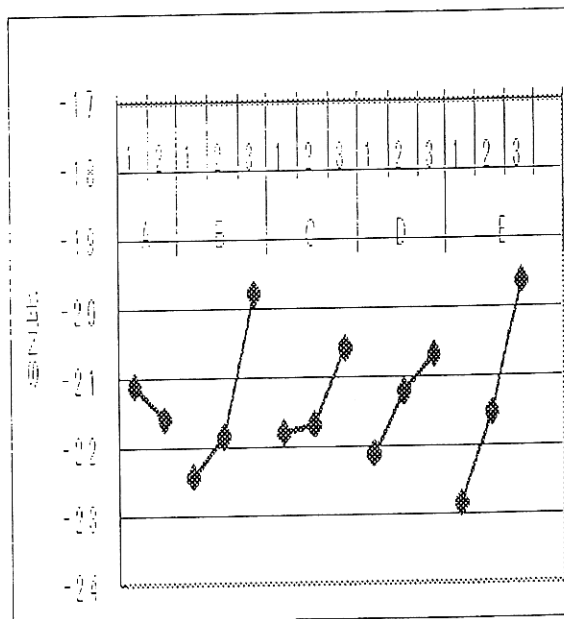


Fig. 2 Comparison of SN ratio

Table 8 Comparison of SN ratio and Sensitivity

		推定値	確認実験値
最良	SN比	-19.71	-19.68
	感度	-7.70	-12.65
最悪	SN比	-22.63	-24.89
	感度	-8.44	-14.86

Table 9 Comparison of Estimated Value and Verification Experiment value

	推定値の差	実験値の差
SN比	2.29 dB	5.21 dB
感度	0.74 dB	2.21 dB

5. 考 察

5. 1 処理における水分量の推移

式(10)の感度の式を基にして、感度係数 β を求め、式(1)より処理時間と水分量の関係を求める。最良のSN比の場合と最悪の場合における β を求め、示したものを図3に示す。例えば、60分の処理時間で、7%前後の水分量の差がある。この水分量と処理時間の関係の調整には、感度の高いパラメータを用いて行う。

5. 2 感度による処理時間の調整

実験結果から、消石灰のSN比は高くなく、感度が高いので消石灰の混合量で処理時間を調整することとなる。図4に処理時間あたりの消石灰の混入量と水分量の関係を示す。この関係を基に、実際の生ごみ処理装置の設計を進めることとなる。

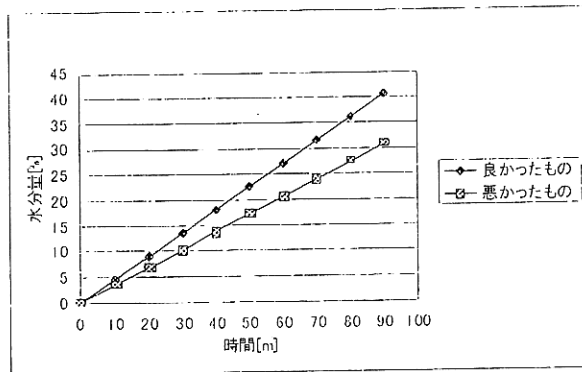


Fig. 3 Relation between Amount of Water and Processing Time

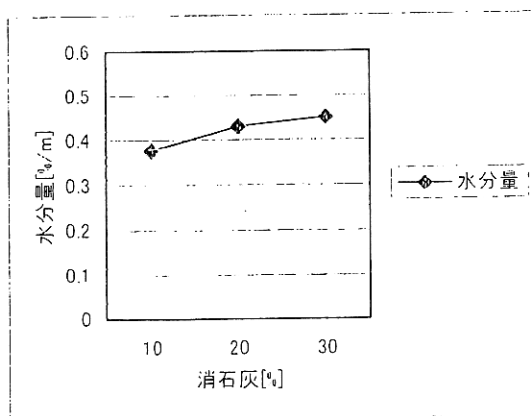


Fig. 4 Change of Water Amount by Slacked Limes

6. 結 言

乾燥処理方式の生ごみ処理におけるパラメータの水準の選択を行った品質工学における直交表を用いた実験とSN比および感度による評価によりパラメータの水準の組合せの最良化を図ることが出来た。水準の最適化にはさらに水準を細分化した同様の実験を繰り返すことにより可能である。本研究で得られた要因の最良な組合せは次表の通りである。この中でも、生ごみと媒体を混合して攪拌するときの温度と媒体の種類がこの生ごみ処理速度に大きな影響を与えることを明らかにした。なお、当初、SN比に影響を与えるであろうと予測していた消石灰の混合量については影響は小さく、その代わりに感度が高いので、処理装置設計時における目標処理時間の設定に有効であることが解った。

Table 10 Conclusion of Experiments

パラメータ	最良水準	SN比への影響
フラッシュ	あり	小
処理温度	35℃	大
回転速度	60rpm	小
消石灰混合量	30%	小
処理媒体	α	大

本研究においては、生ごみの処理装置として市販のフードプロセッサを用いたモデル実験を行った。得られた結果は装置を設計、制作し、世の中に実用化された場合に十分なロバスト性を有するものである。誤差条件を取り込んだ直交表による実験とSN比による評価がこのことを保証している。これまでに品質工学の手法をいろいろの分野の問題に適用してきた実績から言えることである。

なお、生ごみ処理後の肥料としての農業利用に際しては少々問題が残っている。内容成分の明確化、成分的バランス、さらに微生物処理(堆肥化処理)が必要である。乾燥方式の処理では、PIIが低いことが問題となっている。今後、堆肥化処理を含めた処理条件の検討が必要である。

参 考 文 献

- (1) 神奈川県農業総合研究所、生ごみ処理装置とその処理物の成分特性について、農業環境部

(<http://www.agn.affrc.kanagawa.jp/NO80KJEN/KANKYO/>)

- (2) 農林水産省、食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律、平成12年6月
- (3) 金子栄廣、有機廃棄物の堆肥化技術、都市清掃、52-231、(1990)、pp. 327-330.
- (4) 河村清史、他3名、ドイツにおける生物作用を用いたバイオ廃棄物の処理、廃棄物学会誌、10-4、(1999)、pp. 317-325.
- (5) 森忠洋、生ごみの処理、(1997)、パワー社.
- (6) 鈴木隆之、他2名、直交表を利用した使用者によるコピー機の機能評価、品質工学、9-1、(2001)、pp.31-36.