

B-47 アジア地域における廃棄物機械生物処理 (MBT) 最適化のための評価要素の抽出

○落合 知^{1*}・石垣 智基¹・山田 正人¹

¹独立行政法人 国立環境研究所 (〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

* E-mail: ochiai.satoru@nies.go.jp

1. 研究背景

東南アジアにおいて、生活廃棄物の処理方法は中間処理を経ない直接埋立が主流である。埋め立てられる廃棄物には有機物が多く含まれ、汚濁した浸出水、可燃性ガスおよび臭気が発生する。これらを防ぐためには、埋め立てる前に有機物等の生分解性廃棄物と非生分解性廃棄物を選別し、生分解性廃棄物を削減する必要がある。機械生物処理 (mechanical biological treatment: MBT) は、機械による選別と、有機系廃棄物に対する生物分解処理を組み合わせた混合廃棄物の処理方法である。これにより廃棄物中からプラスチック等の保有熱量が高いものを燃料素材 (Refuse derived fuel: RDFなど) として、生分解性廃棄物は堆肥化処理により資源として再利用等することで、焼却処理等と比較して低いコストで最終処分量を削減することを目的としたものである。よって東南アジアの混合排出される廃棄物の処理方法としてMBTの導入は有効であると考えられる。これまで欧州で技術開発・実用化されてきたMBTシステムが東南アジア等に導入されてきたが、含水率が高い廃棄物や多雨など地域に特有の条件が処理効率を低下させている。MBTをアジアの地域特性に応じて最適化するため、本研究では技術導入の最適化評価手法の基本概念を提案する。

2. 方法

(1) MBT施設運転のモデルケースの設定

タイ国ピサヌローク市とサラブリー市のMBT施設の現地調査¹⁾及び既往研究²⁾に基づき、モデルMBTオペレーションを設定した (図1)。このモデルでは生活廃棄物は1次破碎および選別後、乾燥工程 (パイオドライ) を経て、再度破碎・選別される。エネルギーの高いものは燃料素材として、有機質は追加的な堆肥化処理、それ以外は残渣として埋立処理される。なお、堆肥化処理 (選別を含む) において発生する残渣も埋立処理される。本研究では最終生産物である燃料素材、コンポスト、残

渣に注目し、それぞれの生産に関わる「燃料素材生産ポテンシャル」、「コンポスト生産ポテンシャル」および「残渣埋立処理面積」の3項目をMBT施設最適化の評価要素とした。

表1に示す4つのMBTシナリオについて評価を行った。P-1はピサヌローク市、S-1はサラブリー市の現状のMBT施設を模し、2次破碎・選別後、燃料素材以外は全て残渣とするシナリオである。P-2およびS-2は両MBT施設の2次破碎・選別後に追加的に堆肥化処理を導入したシナリオとした。

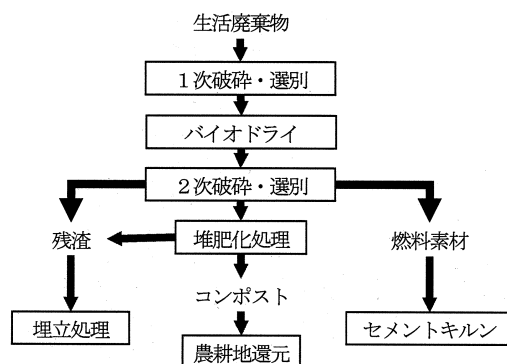


図1 モデルMBTオペレーション

(2) 評価方法の提案

a) 燃料素材生産ポテンシャル

MBT副産物として得られる燃料素材の生産ポテンシャル (Fuelizing potential: 以下FP) の評価式を式1に示す。

$$(FP) = \frac{Q_{fuel}}{Q_{req}} \times \frac{Bt_{fuel}}{Ct_{fuel}} \quad (1)$$

要求熱量を Q_{req} 、燃料素材の保有熱量を Q_{fuel} とする。燃料素材生産のために必要な破碎・選別・パイオドライ工程の効率を考慮するため、それに係る費用 Ct_{fuel} と便益 Bt_{fuel} の項を設けた (式1)。 t は供用年数とする。 Bt_{fuel} は、生産された燃料素材をセメント用燃料として

表1 MBT 評価のシナリオと各シナリオで想定した工程

シナリオ		P-1	P-2	S-1	S-2
燃料素材生産 ポテンシャル	1次破碎・選別	シュレッダー, トロンメル 振動スクリーン		シュレッダー, 手選別	
	バイオドライ	野積み式 (屋外)		スクリュウ攪拌 (建屋内)	
	2次破碎・選別	シュレッダー, トロンメル, 振動スクリーン		シュレッダー, トロンメル, 振動スクリーン	
コンポスト生産ポテンシャル		—	切返し, 強制通気	—	切返し, 強制通気
残渣埋立処理面積		直接埋立		直接埋立	

用いることで、現在の石炭燃料費を代替できる費用（代替可能燃料費）を便益 (\$) とし、式 (1a) を用いて算出した。

$$Bt_{fuel} = \sum_{i=0}^t \frac{Bi_{fuel}}{(1+r)^i} \quad (1a)$$

各処理工程での費用、すなわち破碎費 (C_{shred})、選別費 (C_{sort})、乾燥費 (C_{biodry}) および初期建設・用地費 ($C_{construct}$) の合計を燃料素材作製に係る費用を Ct_{fuel} (\$) と定義し、式 (1b) を用いて算出した。

$$Ct_{fuel} = \sum_{i=0}^t \frac{Ci_{fuel}}{(1+r)^i} \quad (1b)$$

なお、費用及び便益の算出には、社会的割引率 $r=4.0\%$ /年とした。

b) コンポスト生産ポテンシャル

堆肥化処理に係る費用と便益の比をコンポスト生産ポテンシャル (Composting potential : 以下 CP) とした (式 2)。

$$(CP) = \frac{B_{cmp}}{C_{cmp}} \quad (2)$$

なお、ピサスロック市とサラブリ市にある MBT 施設にはコンポスト処理施設を備えていないため、同国にある別の MBT 施設の処理プロセスを参考にし、物質収支の推定を行った²⁾。コンポスト売却によって得られる収益を便益 Bt_{cmp} とした。費用 Ct_{cmp} (\$) はコンポスト生産にかかる費用、すなわち初期建設・用地費と維持費の合計とした。なお、 Bt_{cmp} については式 (1a)、 Ct_{cmp} については式 (1b) と同様の方法で算出した。費用及び便益の算出には、社会的割引率 $r=4.0\%$ /年とした。

c) 残渣埋立面積

ピサスロック市とサラブリ市にある MBT 施設では処理後に発生する残渣は埋立処理されている。そこで残渣を直接埋立てた場合の埋立必要面積を算出した (式 3)。

$$(Landfill\ area) = \frac{V_{residue}}{H_{landfill}} \times t \quad (3)$$

ここで、残渣量発生速度を $V_{residue}$ (m^3 /年)、埋立高さを $H_{landfill}$ (m)、埋立地供用期間を t (年) とする。

3. 結果及び考察

(1) パラメータの調査

モデル MBT 中の各工程に係る維持費用を算出するためのパラメータを表 2 に示す。破碎工程 (C_{shred}) では 1 次、2 次破碎とも、シュレッダーによる破碎とした。選別工程 (C_{sort}) ではトロンメルによる機械選別、振動スクリーンによる機械選別、ベルトコンベアを用いた手選別の 3 つの処理方法を設定した。バイオドライ (C_{biodry}) では、野積み式による自然乾燥、スクリュウ攪拌による乾燥 (屋根付き施設内) の 2 つの処理方法を設定した。初期費用については、現地調査及び文献調査から推計を行った。シナリオ P-1 ではバイオドライ用地として \$4.2 million^{1,4)}、シナリオ S-1 ではバイオドライ用地 \$0.0055 million^{1,4)}、施設建設費 \$1.3 million^{1,5)} であった。またシナリオ P-2 では堆肥化用地 \$0.14 million⁶⁾、堆肥化施設建設費 \$0.23 million⁶⁾、シナリオ S-2 では堆肥化用地 \$0.061 million⁶⁾、堆肥化施設建設費 \$0.11 million⁶⁾ と推計された。

表2 評価に用いた維持費用算出のためのパラメータ

工程	細工程	処理費用 (\$/t)
破碎 (1 次, 2 次) (C_{shred})	破碎機 (自走式木材破碎機, 出力 130~150kW) ^{1,3,4)}	2.32
選別 (1 次・2 次) (C_{sort})	トロンメル (自走式トロンメル, 1.5×3.6m, 出力 48kW) ^{1,3,4)}	1.62
	振動スクリーン (自走式振動スクリーン, 1.5×4.9m, 出力 81kW) ^{1,3,4)}	3.60
	手選別・ベルトコンベア使用 (7m, 350mm, 出力 1.1kW) ^{1,3,4)}	3.18
バイオドライ (C_{biodry})	スクリュウ攪拌 ⁵⁾	219
堆肥化	通気	
	処理量 2.5t/日 0.9kw 高圧ブローア ^{3,6)}	7.54
	処理量 7.5t/日 3.3kw 高圧ブローア ^{3,6)}	2.70
	切返し	
	処理量 2.5t/日 バケット容量 0.9m ³ ^{3,6)}	42.91
	処理量 7.5t/日 バケット容量 1.5m ³ ^{3,6)}	23.07

(2) 燃料素材生産ポテンシャル(FP)

ピサヌローク市(シナリオP-1, P-2)およびサラブリー市(シナリオS-1, S-2)の各シナリオでのFPを算出した(図2)。なお両MBT施設で生産される燃料素材の保有熱量を要求熱量と同じ16800 MJ/tと仮定した。シナリオP-1およびP-2では、生活廃棄物18000t/年が処理され、燃料素材が5076t/年生産されると推定された¹⁾。FPは供用期間9年の時1.06、供用期間20年の時で1.92と試算され、燃料素材の生産が維持可能であることが示された。一方、シナリオS-1およびS-2では、生活廃棄物4680t/年が処理され、燃料素材が1728t/年生産されると推定された¹⁾。FPは供用期間16年の時1.02、供用期間20年の時1.13と試算され、燃料素材生産が維持可能であることが示された。ピサヌローク市のMBT施設(シナリオP-1, P-2)ではバイオドライに必要な面積確保のため、サラブリー市のMBT施設に比べ初期費用($C_{construct}$)が約3.2倍程度であったが、燃料素材生産量が高く(ピサヌローク市MBT: 5000t/年、サラブリー市MBT: 1600t/年)と維持費用(C_{biody})が低かった。2市のMBT施設では、維持費用の低減と燃料素材生産量の増加が、FPの向上の要因であった。

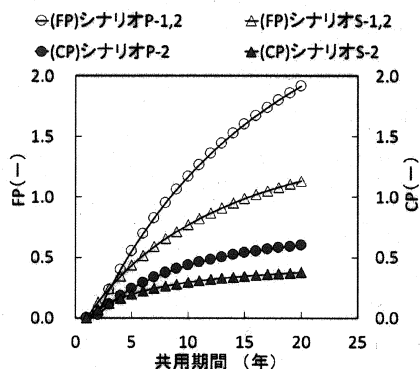


図2 供用期間におけるFPとCPの推計

(3) コンポスト生産ポテンシャル(CP)

シナリオP-2およびシナリオS-2におけるCPを図2に示す。シナリオP-2では、2次選別後1344t/年を堆肥化処理した場合、764.7t/年に減量され、579.3t/年がコンポスト製品化、185.5t/年が残渣として発生することが推定された。CPは供用期間20年で0.60と試算された。一方シナリオS-2では、2次選別後432t/年を堆肥化処理した場合、245.8t/年に減量され、そのうち186.2t/年がコンポスト製品化、59.6t/年が残渣として発生すると推定された。CPは供用期間20年で0.38と試算された。費用と便益のバランスを考慮するとCP>1である必要があるが、両シナリオとも供用20年では1を越えなかった。したがって、両MBTにおいて追加的な堆肥化処理を導入した場合、こ

れを維持することが困難であることが示された。

(4) 残渣埋立処理面積

埋立地供用期間 $t=20$ 年、 $H_{landfill}=2.5$ mとしたときの、残渣埋立処理必要面積は、現状のMBT施設であるシナリオP-1では170,000 m^2 /20年、シナリオS-1では55,000 m^2 /20年であるのに対し、堆肥化処理を追加したシナリオP-2では24,000 m^2 /20年、シナリオS-2では7,700 m^2 /20年と試算された。埋立面積の増加は堆肥化処理を追加することにより、埋立必要面積を15%程度まで削減できることが示された。

4. 結論

本研究では、アジアにおけるMBTの地域適応性を評価する要素として「燃料素材生産ポテンシャル(FP)」「コンポスト生産ポテンシャル(CP)」「残渣埋立処理面積」の3点を提案し、タイにある2つの実施施設の運転条件について適用を試みた。FPより、現状のシナリオにおいて燃料素材の生産が維持可能であると評価された。CPより、両MBT施設において追加的な堆肥化処理を維持することが困難であることが示された。堆肥化処理により残渣埋立処理面積を削減できることが示された。今後、評価に用いたパラメータに関する現地情報を収集することを、地域特性を反映した評価精度の向上が期待できると考えている。

5. 参考文献

- (1) Ochiai S, Ishigaki T, Kongsilp W, and Yamada M.: Adaptability of Mechanical Biological Treatment in Tropical Asia: A case study in Thailand, The 25th Annual Conference of Japan Society of Material Cycle and Waste Management, Abstracts, pp 625-626, 2014
- (2) N Jidapa N, Chuli P, Karthikeyan, C, Visvanathan: Reject management from a Mechanical Biological Treatment plant in Bangkok, Thailand, Resources, Conservation and Recycling 55, pp 417-422, 2011.
- (3) (社)日本建設機械化協会: 平成26年度版建設機械損耗表, 2014.
- (4) 日本貿易振興機構: 第24回アジア・オセアニア主要都市・地域の投資関連コスト比較, 2014.
- (5) Yano K.: Biomass Town-Case3: Utilization of Various Biomass by Composting, Mtogi Town, Journal of the Japan Institute of Energy, 89, 118-121, 2010.
- (6) (独)農業・食品産業技術総合研究機構: 強制通気式堆肥舎の処理量設計仕様(<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2002/konarc02-30.html>)