

畜産系堆肥化施設のLCAによる評価について

Evaluation by LCA of a stockbreeding system composting institution

泉澤 啓 佐藤 好克 斎藤 善則
高橋 正弘

Kei IZUMISAWA, Yoshikatsu SATO, Yoshinori SAITO
Masahiro TAKAHASHI

キーワード：廃棄物，LCA，畜産，堆肥

Key Words : Waste , LCA , Stockbreeding , Compost

仙北地区のA町にある環境配慮型畜産系堆肥化施設を対象として、LCA手法を用いて「収集」「堆肥製造」「流通・販売」「排ガス処理」の各工程についてのインベントリー分析及び環境影響評価項目の設定と評価を行った。インベントリー分析の結果、堆肥製造1t当たりのエネルギーの消費は、電力96kW、水50kg、軽油456kgであり、CO₂22.5kg、SO_x0.021kg、NO_x0.026kg、窒素4.5kgが発生していることが解った。また、堆肥製造経費では1tあたり1,023円で全製品の70%以上が販売されなければ利益が見込めないため販路の確保が重要な課題であること、環境影響評価では本モデル施設では密閉構造で脱臭装置を備えていること、排水がクローズであることから環境に対する負荷が少ないが、冬期間の土壌脱臭装置の機能低下や一部開放したままの作業による臭気の漏出が懸念される等の問題点があきらかとなった。

1 目 的

平成12年度の調査の結果、畜産系施設はいわゆる野積みから高度処理である強制発酵施設まで処理方法に差があり、悪臭や汚水等の環境問題を引き起こしている施設も多く種々の問題があることが分かった。

今回、平成10年11月からA町で環境配慮型として稼働した堆肥化施設をモデル施設として原料・製造・製品等の各段階における環境負荷等を中心としたインベントリー分析を行い、LCAの手法を用いて環境影響評価を行った。

2 検討対象施設

仙北地区のA町にある畜産系堆肥化施設を対象施設とした。なお、この施設はA町が国及び県の補助を受け設置したもので、その諸元は表-1のとおりである。

表-1

処 理 方 式	スクープ式連続発酵処理	
処 理 能 力	原 料	10 t/日
	製 品	5 t/日 1,400 t/年
	製 造 期 間	24 日
脱 臭 施 設	土壌脱臭 (50 m ³ /min)	
ふ ん 尿 収 集 地 域	A町全域	
対象地区別頭羽数	牛	1,375 頭
	豚	49 頭
	採 卵 鶏	30 羽
	ブロイラー	28,000 羽
従 業 員 数	1.8 人	

3 堆肥製造に関するインベントリー分析対象範囲の検討

3.1 項目の決定

堆肥の製造に係る環境負荷項目として、エネルギー消費、水消費、排ガスを対象にした。また、排水、廃棄物の発生は対象外とした。

3.2 機能と機能単位

堆肥の機能は 扱いやすく汚物感を除く、有害生物の除去と雑草の種子の死滅、植物への栄養補給、土壌の物理性改善であり、肥料・土壌改良材として使用される。

対象施設の製品である堆肥の販売は、1t単位の直販ばら売りが主で、年間1,400tを生産しているが、90%以上が主に量り売りで農家に直接販売される。また、袋詰め(15kg/袋)での販売は年間120t(8,000袋)で8.6%程度である。よって直販ばら売りの1tを機能単位とした。

3.3 対象製品の仕様

表-2

区分	全窒素	リン酸	カリウム	炭素率	含水率
成分値 (%)	2.0	3.0	3.2	14	41

3.4 システム境界

堆肥製造プロセスは図-1のとおりである。

なお、プロセスの区分は次のとおりとした。

堆肥のライフサイクルに関するプロセス

堆肥のライフサイクルで使用される飼料・包装資材の製造に関するプロセス

堆肥のライフサイクルの各ステージで必要となるユーティリティ（発電，水供給，廃水処理等）に関するプロセス

堆肥のライフサイクルの各ステージで使用される資本財（包装資材等の製造工場，堆肥製造設備等）の建設とその維持・管理に関するプロセス

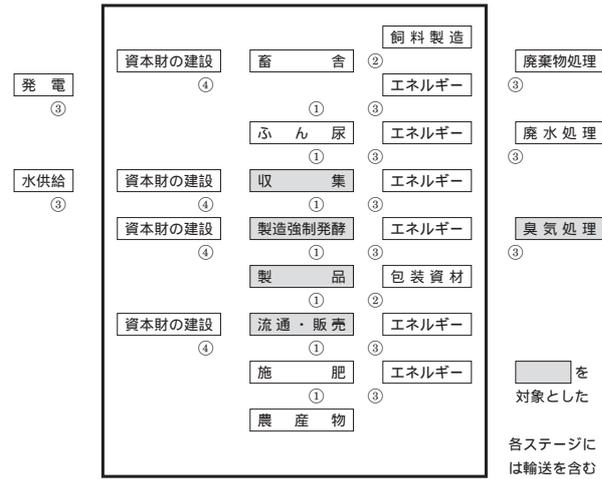


図-1

今回は，対象ステージを「収集」「強制発酵」「流通・販売」「臭気処理」とした。また，ユーティリティに関するプロセスの検討を主とし，資本財に関するプロセスを検討から除いた。

4 堆肥製造のインベントリー分析

インベントリー分析対象プロセスから「ふん尿収集フロー」「強制発酵施設の堆肥製造フロー」「販売」「脱臭（排ガス）処理フロー」を作成し各フローから調査項目を設定した。

4.1 各フローの設定

4.1.1 ふん尿収集フロー

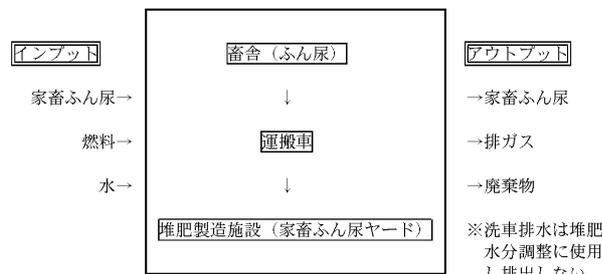


図-2

4.1.2 強制発酵施設の堆肥製造フロー

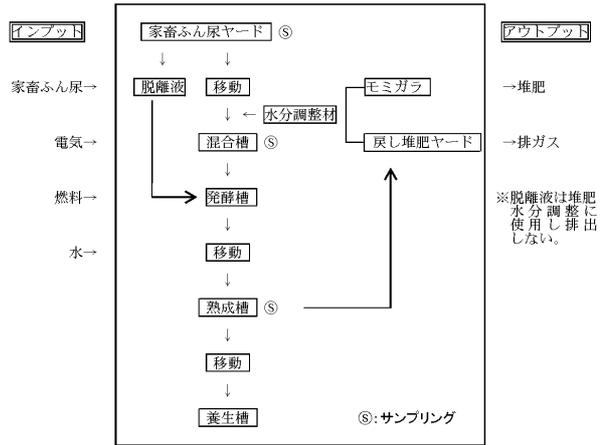


図-3

4.1.3 流通・販売フロー

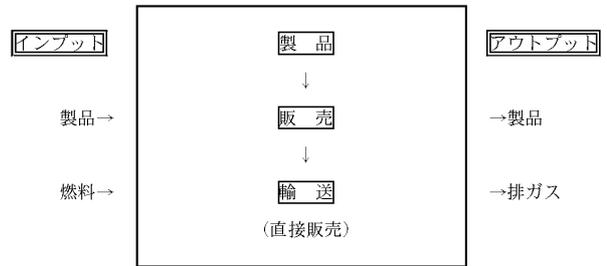


図-4

4.1.4 排ガス（脱臭）処理フロー

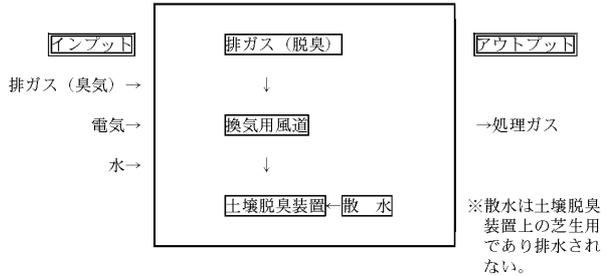


図-5

4.2 データの収集

4.2.1 聞き取り調査および文献等からデータ収集した項目

- (イ) インプット：エネルギー消費（電気・ガソリン・軽油），水消費（洗浄水）
- (ロ) アウトプット：製品（堆肥），排ガス

4.2.2 測定によるデータ収集

- (イ) 測定目的
発生している悪臭物質等の確認と，窒素負荷量及び脱臭設備の機能確認を行うため，堆肥発酵中に発生する二酸化炭素，アンモニア等について実測した。
- (ロ) 試料採取場所 図-3に示す。

(ハ) 発生ガスの確認

- ① 測定年月日 平成14年1月15日から4月26日（6日間）
- ② 測定項目：二酸化炭素，アンモニア，メチルメルカプタン，トリメチルアミン，硫化水素
- ③ 測定法：検知管
- ④ 測定結果：表-3のとおりであった。
 - ・二酸化炭素の濃度は，原料のふん尿を投入するふん尿ヤードで最も高い値を示した。
 - ・アンモニア及びトリメチルアミンは，混合槽で高い値を示した。アンモニア濃度2,000ppmは文献値と一致した。
 - ・硫化水素の発生は確認できなかった。

表-3 単位：ppm

測定場所	ふん尿ヤード	混合槽入口	熟成槽
二酸化炭素	20,000	300	600
アンモニア	24	2,000	13
メチルメルカプタン	4	0.5	0.5
トリメチルアミン	80	7,600	3.0
硫化水素	<0.1	<0.1	<0.1

(ニ) 発生ガス中の窒素量

- ① 堆肥の発酵に伴い，窒素濃度は低下する。堆肥化工程では排水が出ないので，原料中の窒素はアンモニア等のガスとして放出される。ふん尿・発酵槽・堆肥中の窒素量から負荷量を求めた。
- ② 測定法：N-（1-ナフチル）エチレンジアミン吸光光度法
- ③ 測定結果：表-4のとおりであった。

堆肥の発酵に伴い，窒素濃度は低下する傾向が見られ，最終製品（完熟堆肥）では原料に比べ47%にまで減少したのに対して，燐濃度は殆ど変わらなかった。

表-4 g/kg乾

	窒素	燐	水分含量(%)
ふん尿	8.6	3.5	64
発酵槽	5.2	5.0	50
堆肥	4.1	3.6	45

- ④ 堆肥1tあたりの窒素負荷量

ふん尿1tを堆肥化するにあたって窒素が4.5kg/t乾減少している。これは，アンモニア，トリメチルアミン等のガス状窒素化合物としての放出が考えられ，環境に対する窒素負荷量は4.5kg/t乾である。

(ホ) 脱臭装置の処理

処理前，処理後の排ガス濃度の測定結果は表-5のとおりで，アンモニアが12ppmから2.0ppm以下，トリメチルアミンが78ppmから1.0ppm以下と二酸化炭素以外の物質の土壤脱臭装置の効果が確認された。

表-5 単位：ppm

	処理前	処理後
二酸化炭素	480	490
アンモニア	12	<2.0
メチルメルカプタン	<0.5	<0.5
トリメチルアミン	78	<1.0
硫化水素	<0.5	<0.5

4.2.3 堆肥製造のインベントリー分析結果
インベントリー分析結果を表-6に示す。

表-6 単位：1t当たり

		収集	堆肥製造	流通・販売	排ガス処理
物質フロー(t)		10	5	5	
資源消費	ふん尿(t)	10	5	5	
電力	使用電力量(kWh)		16		80
水消費(kg)		30	10		10
排ガス	CO ₂ (kg)		5.7		
	窒素(kg)		4.5		
排水	洗車排水	-	-		
	洗浄排水		-		
輸送 (場内移動を含む)	輸送手段	トラック(軽油)	トラック(軽油) 撒布車(軽油) バキューム車(軽油)	トラック(軽油)	
	積載量(t/台)	2t×5台	2t×2台 1t×1台 0.5t×1台	2t×5台	
	輸送距離(km)	20		25	
	燃料消費(kg)	136	48	171	
	CO ₂ 排出量(kg)	6.5	2.3	8.1	
	SO _x 排出量(kg)	0.008	0.003	0.010	
	NO _x 排出量(kg)	0.010	0.004	0.013	

堆肥1t当たりの製造から販売までのエネルギー消費は，電力96kW，水50kg，軽油456kgであり，排ガスはCO₂22.5kg，SO_x0.021kg，NO_x0.026kg，アンモニア等に含まれる窒素分として4.5kgが発生した。

5 環境影響評価項目の設定

5.1 評価項目の検討

堆肥化施設についてはLCA手法を適用した例は少なく，定量的な評価の他に定性的な評価を付け加える必要があることから，インベントリー分析のほかに，環境汚染の有無・大小等を評価の基本とした環境影響評価項目について設定した。評価項目及び評価のポイントは表-7のとおりである。

表-7

評価項目	評価のポイント		
収	①ふん尿収集車両	・運搬中ふん尿が漏れ出ない構造の車両を使用しているか。	
		密閉式運搬車を使用している。	+1
		一般トラックをシート等で脱離液等がこぼれないように措置し使用している。	0
		一般トラックを使用している。	-1
集	②水分含量	・ふん尿の水分が多い場合は、発酵の促進が不十分で有害物質の分解が不十分だったり、臭気発生の原因となることがあるため、受け入れ、出荷時の水分確認を行っているか。	
		受け入れ・出荷時に水分確認を行っている。	+1
		出荷時のみ水分確認を行っている。	0
		水分確認は行っていない。	-1
堆肥	③ふん尿保管設備	・ふん尿が雨水等で洗い出されることがなく、脱離液等が周囲を汚染することがない構造であるか。	
		保管場所は屋根があり、床面は不透液製材料で構築され、尿・脱離液等の保管設備も適切である。	+1
		保管場所等は適切であるが、周囲が脱離液等で汚染されている。	0
		雨水等に対する処置がない。	-1
堆肥	④堆肥製造設備	・堆肥製造中に雨水等で洗い出されることがなく、脱離液等が周囲を汚染することがない構造であるか。悪臭対策のために密閉された構造か。	
		堆肥製造中に雨水等で洗い出されることがなく、脱離液等が周囲を汚染することがない構造であるか。悪臭対策のために施設は開放されていない。	+1
		堆肥盤等があり、周囲を汚染しない措置がされている。	0
		保管設備に屋根も床もなく、尿だめは素堀である。	-1
製	⑤切り替えし	・発酵促進のため切り返しを行う必要があるが、切り返しにより堆肥化の迅速化を行うことができるため、処理量が多くなり放置されるふん尿の減少につながる。	
		切り返しを定期的に行っている。	+1
		適宜切り返しを行っている。	0
		切り返しを行っていない。	-1
通	⑥製品保管設備	・製品は雨水等で洗い出されることがなく染み出ない構造か。	
		製品は雨水等で洗い出されることがない恒久的な構造である。	+1
		製品は雨水等で洗い出されないよう措置してある。	0
		製品は雨水等で洗い出される構造である。	-1
販	⑦包装資材	・包装資材はリサイクル・分解性等の環境配慮製品であるか。	
		リサイクル・分解性等の環境配慮製品である。	+1
		リサイクル化が計画された素材である。	0
		リサイクル・分解性等の環境配慮製品でない。	-1
売	⑧製品の販売	・製品（堆肥）の販路が確保されているか。販路が確保されていないと製品が滞り、製造がストップしてしまう事が懸念される。	
		販路が確保されている。	+1
		販路が確保されているが十分でない。	0
		販路が確保されていない。	-1
公	⑨排ガス（悪臭）処理	・堆肥は分解過程で多量の二酸化炭素、悪臭物質（アンモニア、メルカプタン、硫化水素等）を発生するので、悪臭物質の除外設備をもうけているか。この場合処理方式により環境負荷に違いがでることを考慮する。	
		生物処理設備がある。	+1
		処理設備あり。	0
		処理設備はない。	-1
害	⑩施設の構造	・施設は密閉され、排ガス等が施設外に漏出していないか。	
		施設は密閉構造である。	+1
		施設は密閉構造であるが、開放して作業を行っている。	0
		施設は密閉構造でない。	-1
防	⑪排水処理	・水処理を行っているか。水質検査の結果は良好か。	
		発生する汚水あるいは処理水は水分調整に使用すること等により処理し、環境中に排水を出さないようにしているか。	
		排水は出ない。	+1
		水処理を行っている。	0
止	⑫廃棄物処理	・廃棄物の発生はあるか。堆肥製造工程からの廃棄物の発生はほとんどないが普通である。	
		廃棄物が出ない。	+1
		廃棄物を適切に処理。	0
		廃棄物が多く放置されている。	-1
周	⑬周辺の住民	・施設周辺に民家があるか。施設周辺に民家がある場合に、公害苦情の発生が懸念される。	
		周辺に民家がない。	+1
		周辺に民家があるが苦情は発生しない。	0
		周辺に民家が多く苦情が発生する。	-1
境	⑭施設の植栽	・施設周辺に植栽が施され、周辺の環境に配慮されているか。	
		植栽が施され、周辺の環境に配慮している。	+1
		植栽が施されているが、周辺の環境に配慮されていない。	0
		植栽が施されていない。	-1

5.2 堆肥製造経費について

堆肥1t製造する場合のユーティリティー経費について試算したところ表-8のとおりであった。

表-8

項目	収入	支出	差し引き
金額	5,165円	4,142円	1,023円
		内訳	
		電気代	1,240円
		労働費	2,880円
		軽油代	22円

5.3 評価項目及び堆肥製造経費の評価結果

5.3.1 評価項目の評価結果

モデル施設を堆肥製造評価表により評価検討したところ次のとおりであった。

- ① ふん尿収集車両については、搬入は農家が一般トラックを使用しており覆いをしていないため、ふん尿の飛散流出するおそれがある（-1）。
- ② 受け入れ・出荷時に水分確認を行っている（+1）。
- ③ ふん尿保管設備は、屋根があり床面は不透液製材料で構築されている（+1）。
- ④ 堆肥製造設備は壁及び屋根等で密閉されている（+1）。
- ⑤ 切り返しは、タイマーにより自動的に実施している（+1）。
- ⑥ 製品保管設備は建て屋内にあるため、雨水等による流出はない（+1）。
- ⑦ 製品の包装資材は、リサイクル・分解性等の環境配慮製品である（0）。
- ⑧ 販売は農家等への小分け販売が主であり、袋詰め製品の販路が不十分である（-1）。
- ⑨ 堆肥の発酵過程において、窒素、アンモニア、二酸化炭素等のガス等が発生するが、二酸化炭素を除くガスは土壤脱臭処理される。ただし、冬期間の積雪による土壤脱臭装置の能力低下が考えられる。（0）。
- ⑩ 施設は密閉された施設ではあるが、シャッター等が故障しており一部開放状態で作業を行っている（0）。
- ⑪ 排水はクロードシステムになっており、場内や車両の洗浄排水も含めて地下貯留槽に一時的に溜め混合槽において水分調整時に使用している（+1）。
- ⑫ 廃棄物となる残さ等はすべて戻し堆肥として利用している（+1）。
- ⑬ 周辺に民家はあるが少数であり苦情は発生しない（0）。
- ⑭ 自然の地形を利用した植栽が施され、周辺の環境に配慮している（+1）。

5.3.2 堆肥製造経費

堆肥生産1tあたり1,023円の収入となる。ただし、平成13年の販売実績は全量の70%であり61円の赤字であった。

6 結果及び考察

堆肥製造工程のうち、「収集」「堆肥製造」「流通・販売」「排ガス処理」工程についてインベントリー分析を行い、評価表を作成し評価項目を決定し、これによりモデル施設について評価を行った。

今回のモデル施設は臭気等が屋外に漏出ししない密閉構造とし脱臭装置も備えている。この脱臭装置は大気中に排出される窒素分の環境負荷低減に効果的である。また排水はクローズドで環境に配慮された施設であった。また、水分含量による受け入れ時搬入制限やタイマーによる繰り返し作業から安定した製品の供給が可能となっている。ただし、冬期間の土壌脱臭装置の機能低下や一部開放したままの作業による臭気の漏出が懸念される。インベントリーの分析結果では、堆肥製造時に堆肥1t当たり電力96kW、水50kg、軽油456kgが消費され、排ガスはCO₂22.5kg、SO_x0.021kg、NO_x0.026kg、窒素4.5kgが発生することがわかった。特に排ガス処理工程では80kWと使用している電力全体の83%が消費されている。

堆肥製造経費では1tあたり1,023円の収入となるが、全製品の70%以上が販売されなければ利益が見込めないため、販路の確保が重要な課題となっている。

LCA手法は、製品開発や企業における環境負荷を削減するためには大変有効な手法である。しかし、LCAの対象は同一機能を有する製品であり、そのために異なる材料や製品について比較をすることはきわめて難しいと言われている。特に畜産業では家畜の種類が多種であり、餌、ふん尿成分が異なるため強制発酵施設ごとに同一の機能単位等を設定しインベントリーデータについて考慮する必要がある。

また、現在環境負荷全体を総合的に評価する指標が確立されておらず、特にLCAを実際に行うためには収集し

たデータの質を担保する必要がある、それには膨大な量のデータを収集しなくてはならない。そして、そのデータは透明性が確保されるとともに公平である必要があり、作成されたデータベースは定期的に更新される必要がある。

今回、畜産における資源循環についてLCA手法を用いたの評価を行ったが、現在LCIについてのデータ等は多くなく、取り扱うふん尿の種類や堆肥の成分が施設ごとに異なるため、より多くのデータを収集し積み上げていく事が今後の課題となる。

参考文献

- 1) 環境庁企画調整局環境研究技術課：ライフサイクルインベントリー分析の手引き
- 2) 社団法人中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル
- 3) 財団法人畜産環境整備機構：家畜ふん尿処理・利用の手引き

(参考) 堆肥製造工程

