

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00631

研究課題名(和文) 食品工業汚泥を利用した高肥料成分バランス調整型堆肥の創出と肥料供給モデルの導出

研究課題名(英文) Development of quality regulated compost using sludge from food industry and analysis of fertilizer supply model

研究代表者

宮竹 史仁 (Miyatake, Fumihito)

帯広畜産大学・畜産学部・准教授

研究者番号：70450319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：堆肥の利便性を高めるために、実際の堆肥化施設において食品工業汚泥を利用した成分調整型堆肥の製造方法と施用効果を検討した。さらに成分調整型堆肥の普及性を調査するために、堆肥の製造から作物栽培までの環境影響評価と経済試算が検証された。その結果、成分調整型堆肥は、食品工業汚泥と牛ふんを融合することによって製造することが可能であり、その堆肥は化学肥料と同等の施用効果を示した。また、成分調整型堆肥の製造と利用は、化学肥料や牛ふん堆肥を製造利用よりも温室効果ガス排出量や生産コストが最も少ないことが示された。それ故、成分調整型堆肥は国内の農畜産業の持続的発展に寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the convenience of compost, we examined the production method and application effect of quality regulated compost utilizing food industrial sludge with a real composting facilities. Furthermore, to investigate the spread potential of quality regulated compost, life cycle assessment and management analysis from compost manufacturing to crop cultivation were verified. As a result, the quality regulated compost could be produced by fusing food industrial sludge and cattle manure, indicating the same application effect as chemical fertilizer. In addition, it was shown that the production and use of quality regulated compost has the least amount of greenhouse gas emissions and production cost than using chemical fertilizer and cattle manure compost. Therefore, it is expected that quality regulated compost will contribute to sustainable development of domestic agriculture and livestock industry.

研究分野：生物資源循環工学

キーワード：バイオマス利用 肥料成分調整型堆肥

1. 研究開始当初の背景

食料生産に必要な化学肥料は海外からの輸入に頼っており、その価格は高騰または高止まりの状況が続いている。これは世界人口の急増に伴い、食料増産のための化学肥料の需要増加が主な原因である。この海外リスクを回避するためには、国内の肥料資源を確保し、過度な化学肥料依存の農業から肥料自給型の農業へ転換していく必要がある。その解決方法の1つは、家畜ふん尿等で製造される堆肥を最大限利用することである。国内で排出される家畜ふん尿の肥料成分は、単純計算するとリン酸を除き、国内で施用される化学肥料の全量にも匹敵する(押田ら、畜産環境保全論, 1999)。

しかしながら、堆肥は、主に家畜ふん尿などを好気性微生物により分解・安定化させる堆肥化によって製造されが、その過程でアンモニア(NH<sub>3</sub>)や亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)等が発生する。これらは窒素(N)を含む肥料成分であり、これがガスとして揮散することで窒素成分の一部が失われてしまう。さらに堆肥中のリンやカリウム等の無機成分との肥料成分バランスにも偏りが生じる。それ故、堆肥は化学肥料と比べて肥料バランスが悪く、その上、成分濃度も低いことから、農家にとっては非常に使い勝手が悪い肥料となっている現状がある。

そのため堆肥の利便性を向上させるためには、堆肥の肥料成分を調整する研究が重要となる。さらに国内には他にも食品工業汚泥などの堆肥原料となる未利用の資源が多く、これらを生かすことで化学肥料の代替となる肥料資源の確保と肥料の自給向上による安定的な食料生産に繋がると思われる。

2. 研究の目的

日本農業は食料生産のための化学肥料をほぼ全量海外に依存している。この過度な化学肥料依存から脱却し、肥料自給型農業による持続的食料生産への転換が必要である。この為には堆肥や未利用の資源を活用し、化学肥料の完全代替となる堆肥の開発と利用が重要な要素となる。そこで本研究では、これまでの研究で得られた成果(食品工業汚泥と牛ふんを融合させることで施用効果の高い堆肥ができる)を基盤に、以下2点の研究目的を設定した。

- (1) 高肥料成分バランス調整型堆肥を開発し、その施用による作物の栽培効果を明らかにすること。
- (2) この新たな堆肥の製造・利用過程における環境影響評価や総合的な経済試算を実施し、国内利用での堆肥供給能力とその実施可能性を明らかにすること。

以上、これらの研究を実施することで、食品

工業汚泥と牛ふん尿を主原料として製造される新たな高肥料成分バランス型調整堆肥の創出とこの堆肥利用による持続的農業の肥料供給モデルの導出が図られる。

3. 研究の方法

研究の方法は、2点の研究目的に応じて計画され、具体的には以下の項目で実施された。

(1) 成分調整型堆肥の開発と施用効果の検証

① 成分調整型堆肥の実証製造試験

実証規模で成分調整型堆肥を開発するために、材料として食品工業汚泥(乳製品工場から排出された乳業汚泥)、それを乾燥させた乾燥乳業汚泥、牛ふん、スラリー、廃棄海藻(水洗いしたもの)、廃糖液(食品工場由来)、戻し堆肥(一度生産した堆肥)として乳業汚泥堆肥、加えて堆肥の悪臭から回収したアンモニア水が使用された。さらに堆肥化中に、肥料成分を増強させるため、上記の種類の材料が添加、切り返しされた。なお、堆肥化の初期含水率は51.7%であり、堆肥化開始時の材料組成と堆肥化期間中の材料添加量は表1に示した。堆肥化は民間企業の堆肥化施設の発酵槽(150 m<sup>3</sup>)を使用し253日間行われた。試験中は温度、含水率、pH、EC、塩分濃度等が測定され、0、50、92、162、253日目には肥料成分分析が行われた。

表1 堆肥化の初期材料と添加材料

(A) 開始材料		乳業汚泥	乾燥汚泥	牛ふん	廃棄海藻	廃糖液	戻し堆肥
含水率, %		85.5	10.0	59.2	84.2	-	42.1
体積, m <sup>3</sup>		5.6	6.0	20.0	6.0	3.0	20.0
(B) 添加材料		牛ふん, m <sup>3</sup>	スラリー, m <sup>3</sup>	乾燥汚泥, m <sup>3</sup>	廃糖液, m <sup>3</sup>	堆肥化日数, day	アンモニア水, m <sup>3</sup>
堆肥化日数, day		-	-	-	3.0	219	0.1
7		-	-	-	-	220	0.05
28		6.0	-	-	-	221	0.05
36		-	7.0	4.0	-	225	0.5
57		-	7.0	4.0	-	232	0.5
78		-	7.0	6.0	5.0	239	0.8
92		-	-	-	-	248	0.2
106		-	7.0	4.0	-	-	-
134		-	5.0	4.0	-	-	-
141		-	5.0	2.0	-	-	-
148		-	5.0	-	-	-	-
162		-	5.0	-	-	-	-
204		-	-	3.0	-	-	-

② 栽培試験方法

栽培試験は帯広畜産大学においてノウハウポット(人工気象器)とプランタ(屋外)および北海道別海町にある民間企業のビニルハウス内で栽培試験が実施された。供試肥料として、本研究で開発された成分調整型堆肥、化学肥料および牛ふん堆肥(表2)を使用し、それらの肥料でコマツナ、(ミニ)トマト、ナス、ピーマン、ニンジン栽培し、施用効果が比較された。なお、栽培試験中は草丈、葉緑素値(SPAD値)を、収穫後は収量が計測された。

表2 供試肥料の施肥量および三大肥料成分

	成分調整型堆肥 (1000 kg/ha)				牛ふん堆肥 (1000 kg/ha)				化学肥料 (1000 kg/ha)			
	N	P	K	有機質	N	P	K	有機質	N	P	K	有機質
施肥量 (kg/ha)	3.00	7.01	1.25	2.50	456.00	456.00	55.00	2.730	2730.00	152.00	152.00	152.00
含水率 (%)	45.0	-	-	-	37.80	50.20	-	5.00	47.00	-	-	-
窒素 (g/dm)	5.19	-	8.00	-	5.60	6.70	8.00	5.19	1.70	8.00	-	-
リン酸 (g/dm)	7.84	-	8.00	-	7.60	3.60	8.00	7.84	3.60	8.00	-	-
カリウム (g/dm)	9.11	-	8.00	-	2.70	2.50	8.00	3.11	2.50	8.00	-	-

(2) 成分調整型堆肥の製造・利用における環境性および経済性の評価と国内供給への実現可能性の検証

① 成分調整型堆肥の製造利用における LCI (Life Cycle Inventory: ライフサイクルインベントリ) 分析

成分調整型堆肥 (以下、成分調整型) の製造過程における温室効果ガス (GHGs; Greenhouse gases) 排出量 (CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>) を調査するために、乳牛ふん、鶏ふん等の一般的な堆肥の製造と施用の場合を比較検討し、環境への影響を評価した。

初期材料には、食品工業汚泥である乳業汚泥、牛ふん、乳業汚泥で製造した戻し堆肥、廃棄海藻を使用した。加えて、堆肥化途中で牛ふんスラリー、乳業汚泥、食品工場から排出された廃糖液、麦粒殻焼却灰、堆肥化で発生した悪臭を回収した NH<sub>3</sub> 水溶液を切り返し時に添加し、肥料成分の増強を図った。また、成分調整型堆肥と比較するために、乳牛ふん+稲わら (乳牛ふん)、乳業汚泥+乳業汚泥戻し堆肥+おが粉 (乳業汚泥)、生ごみ+おが粉+乳業汚泥戻し堆肥 (生ごみ)、鶏ふん+おが粉 (鶏ふん) を準備した (表3)。

堆肥化は小型堆肥化試験装置を使用した。10 L の反応槽に堆肥材料を充填し、反応槽底部から通気を行った。反応槽から排出された排出ガスは、ガス分析装置 (INNOVA 1425) で 10 分毎に N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> 濃度が測定された。堆肥温度は T 型熱電対で 10 分毎に記録され、1 週間毎に切り返しを行いつつ堆肥化を行った。

表3 温室効果ガス排出量調査のための堆肥化条件

	乳牛ふん	乳業汚泥	生ごみ	鶏ふん	成分調整型
初期材料	乳牛ふん、稲わら	乳業汚泥、戻し堆肥、おが粉	生ごみ、おが粉、戻し堆肥	鶏ふん、おが粉	乳業汚泥、牛ふん、戻し堆肥、廃棄海藻
混合割合 (乾物割合)	1.0:1.4	1.0:1.3:1.3	1.0:3.0:1.9	1.0:1.4	0.5:1.4:1.0:0.1
含水率、%w.b.	74.5	65.9	58.6	70.6	52.8
堆肥質量、kg	3.0	3.6	2.9	4.7	3.6
pH	7.40	8.48	5.05	8.91	7.13
EC、S/m	0.133	0.092	0.157	0.487	0.307
透過量、L/min/kg-dm	0.19~0.79	0.10~0.49	0.11~0.50	0.12~0.43	0.05~0.35
堆肥化期間、日	35	35	35	35	84
堆肥化中の追加材料	-	-	-	-	牛ふん (スラリー)、乳業汚泥、廃棄海藻、麦粒殻焼却灰、悪臭回収液 (NH <sub>3</sub> 水溶液)

また、土壌施用後の温室効果ガス排出量を調査するために、(2)①で作製した堆肥を土壌へ施用し調査した。試験条件として、長年肥料が投入されていない黒ボク土に原物比 5:1 でパーミキュライトを混合した土壌に、(2)①で堆肥化して製造された乳牛ふん、乳業汚泥、生ごみ、鶏ふん、成分調整型の堆肥を乾物当たり 1.2 t/10a (原物 2~3 t/10a) 換算でそれぞれ施用され、良く混合されたものが試験に使用された (表4)。それぞれ混合された土壌は 7 L の反応槽に深さ 15 cm になるように各々充填され、30°C で 105 日間静置された。反応槽内部では、大気が土壌表面を通過する構造となっており、反応槽のヘッドスペースから 10 分毎に自動で大気が採取され、ガス分析装置 (INNOVA 1425) で N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> 濃度が測定され、ガスフラックスが計算された。

表4 堆肥の肥料成分および土壌施用条件

製造した堆肥の肥料成分					
	乳牛ふん	乳業汚泥	生ごみ	鶏ふん	成分調整型
含水率、%w.b.	68.0	53.7	42.4	52.3	47.0
全窒素 (N)、%乾物	1.95	3.66	1.49	3.27	4.58
リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )、%乾物	1.43	4.22	1.54	5.13	7.35
カリウム (K <sub>2</sub> O)、%乾物	3.73	1.41	1.08	2.23	4.08
カルシウム (CaO)、%乾物	1.25	1.93	1.19	18.82	3.85
マグネシウム (MgO)、%乾物	0.60	0.46	0.23	1.06	1.53
全炭素 (C)、%乾物	40.6	38.8	47.1	31.0	34.3
C/N比	20.9	10.6	31.5	9.5	7.5
pH	8.39	6.45	6.11	7.21	6.38
EC、S/m	0.872	0.560	0.324	0.765	0.977

堆肥を土壌へ施用した後の土壌中の窒素、炭素量					
	乳牛ふん	乳業汚泥	生ごみ	鶏ふん	成分調整型
全窒素 (N)、mg/100g	153	156	147	182	169
硝酸態窒素、mg/100g	0.64	10.05	6.42	13.46	12.60
アンモニア態窒素、mg/100g	0.41	0.52	0.57	6.93	0.86
全炭素 (C)、mg/100g	1,600	1,697	1,702	1,803	1,603
腐食含量、mg/100g	2,697	2,904	2,903	3,097	2,801

※ 土壌へ投入した堆肥量は乾物当たり同等量を施肥

② 成分調整型堆肥の国内生産ポテンシャルと堆肥の製造から作物栽培に至るまでの LCA (Life Cycle Assessment: ライフサイクルアセスメント) 分析と経済的試算

成分調整型堆肥の国内での生産性および供給可能量を調査するために、国内のバイオマス発生量から牛ふん堆肥および成分調整型堆肥 (食品工業汚泥+牛ふんの融合)、さらには下水汚泥と食品工業汚泥ならびに牛ふんを融合させた成分調整型堆肥の生産可能量や肥料成分量が各種文献を用いて計算された。それらの値を国内で使用されている化学肥料の肥料成分供給量と比較することで国内での供給可能性を検討した。

加えて、成分調整型堆肥の製造・施用から作物栽培に至るまでの一連の環境負荷と経済性を評価するために、デントコーン (飼料用トウモロコシ) 10 a 栽培をモデルとして環境影響評価と経済性評価が以下 3 つのシナリオで比較検討された。シナリオ 1 は慣行農業の代表として化学肥料のみを用いてデントコーンの生産を行う場合【化学肥料区】、シナリオ 2 は一般的な堆肥の代表である牛ふん堆肥を用いてデントコーンの生産を行う場合【牛ふん堆肥区】、シナリオ 3 は本研究の主題である食品工業汚泥と牛ふんを原料として製造した成分調整型堆肥を用いたデントコーン生産の場合【成分調整型堆肥区】である。なお、これらの LCA で用いた原単位には、当研究室で得られた実験値や文献値および統計値が使用された (表5)。

表5 環境影響評価および経済性評価で用いた原単位

品名	単位	原単位	原単位
乳牛ふん	kg	1.4	1.4
乳業汚泥	kg	1.3	1.3
生ごみ	kg	3.0	3.0
鶏ふん	kg	1.4	1.4
成分調整型	kg	0.5	0.5
稲わら	kg	1.0	1.0
おが粉	kg	1.3	1.3
廃糖液	kg	0.1	0.1
麦粒殻焼却灰	kg	0.1	0.1
NH <sub>3</sub> 水溶液	kg	0.1	0.1
牛ふん (スラリー)	kg	0.1	0.1
乳業汚泥	kg	0.1	0.1
廃棄海藻	kg	0.1	0.1
麦粒殻焼却灰	kg	0.1	0.1
悪臭回収液 (NH <sub>3</sub> 水溶液)	kg	0.1	0.1

#### 4. 研究成果

##### (1) 食品工業汚泥と牛ふんを主原料とした成分調整型堆肥の開発と施用効果の検討

###### ① 成分調整型堆肥の実証製造試験

成分調整型堆肥を実規模堆肥舎にて製造するために、堆肥材料を約 150m<sup>3</sup>の発酵槽に堆積させ堆肥化を行った。堆肥温度は試験開始後すぐに上昇し（図 1）、切り返し後も毎回温度の上昇が見られたことから順調な堆肥化であったと判断できた。肥料成分を補強する資材の投入後も昇温したことから、それらが発酵阻害を引き起こす危険性は無かった。また、219 日目以降には悪臭から回収したアンモニア水の掛け戻しを開始した。これは堆肥熟成期にアンモニア水を添加することで硝化反応を促進させ硝酸態窒素の上昇を図る目的で行った。一方、肥料成分は堆肥化開始から窒素、リン酸、カリウム濃度が増加し（表 6）、253 日目には N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O が 5.2-7.8-3.1%まで増加した。以上から、堆肥化過程において効率的に資材を添加することで、5.2-7.8-3.1%（乾物%）の成分調整型堆肥を製造することが可能であった。

また、上記試験とは別に、堆肥製造期間の短縮を目的として本学の実験用堆肥化施設を用いて成分調整型堆肥の実証製造試験を行った結果、75 日間での製造でき、実際の堆肥プラントにおいても商業ベースでの製造が可能であることが示された。

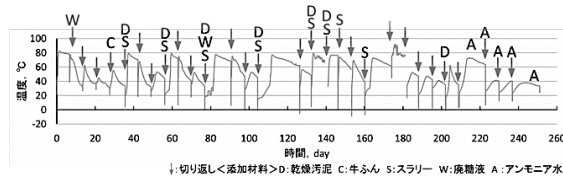


図 1 実証製造試験における堆肥温度の経時変化

表 6 成分調整型堆肥の製造過程での肥料成分の変化

		堆肥化日数, 日目				
		0	50	92	162	253
全窒素	%-dm	5.04	4.11	4.97	5.6	5.19
リン酸	%-dm	5.12	5.88	6.92	7.6	7.84
カリウム	%-dm	1.42	2.31	2.59	2.7	3.11

###### ② 成分調整型堆肥による栽培試験

表 7 と図 2 に各栽培試験の収量結果とビニルハウス内で栽培したナスの生育状況の一例を示した。ノウバウエルポットによる栽培試験では、成分調整型堆肥と化成肥料で差は確認されず同等の生育効果を示した。プラントおよびビニルハウス栽培では牛ふん堆肥で生育が著しく劣り収量も低かったが、成分調整型堆肥と化成肥料では収量に顕著な差は見られなかった。なお、草丈や葉緑素（SPAD 値）の結果も同様に牛ふん堆肥で低

い値を示した。これらの結果から、成分調整型堆肥と一般的な堆肥である牛ふん堆肥を比較すると成分調整型堆肥で著しく高い施用効果を有していると判断できた。この理由の一因として、成分調整型堆肥は無機態窒素や水溶性・ク溶性リン酸の含有量多く、堆肥中の全リン酸の 70%以上がク溶性リン酸であり、それらが影響していると考えられた。一方、成分調整型堆肥は化成肥料より肥料成分濃度が低い、草丈・葉緑素（SPAD 値）および収量や生育状況は良好であった。これは三大肥料成分の効果も影響しているが、堆肥中の微量元素や微生物の存在が植物の生育促進に関与しているかも知れない。以上の結果から、成分調整型堆肥は、牛ふん堆肥といった一般的な堆肥よりも著しく高い施用効果を示した。また、成分調整型堆肥の施用は、化成肥料による施用と比べても同等程度の作物に対する生育効果が確認された。

表 7 各栽培試験における収量結果

		コブナ		ミニトマト		ナス		ピーマン		ニンジン	
		N:100 mg/pot		N:200 mg/pot		N:100 mg/pot		N:100 mg/pot		N:100 mg/pot	
		収量, g	指数	収量, g	指数	収量, g	指数	収量, g	指数	収量, g	指数
成分調整型堆肥	ポット	15.6	0.8	23	1.51	-	-	-	-	-	-
	プラント	-	-	1.15	1.68	1.35	0.99	2.28	1.39	1.67	1.02
	ビニルハウス	-	-	2.27	0.93	6.72	1.24	3.73	1.26	-	-
牛ふん堆肥	ポット	-	-	-	-	0.379	0.55	0.503	0.37	0.317	0.19
	プラント	-	-	-	-	1.31	0.54	3.01	0.56	1.98	0.67
	ビニルハウス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
化成肥料	ポット	19.5	1.00	15.2	1.00	-	-	-	-	-	-
	プラント	-	-	0.688	1.00	1.35	1.00	1.64	1.00	1.64	1.00
	ビニルハウス	-	-	2.44	1.00	5.41	1.00	2.95	1.00	-	-

※指数は化成肥料の収量を1.00とした時の比値



図 2 ビニルハウス栽培試験によるナスの生育状況

##### (2) 成分調整型堆肥の製造・利用における環境性および経済性の検討と国内供給への実現可能性の検証

###### ① 成分調整型堆肥の製造と土壌への施用が温室効果ガス排出量に及ぼす影響

成分調整型堆肥の製造過程および土壌施用後における温室効果ガス排出量（CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>）を調査するために、乳牛ふん、鶏ふん等の一般的な堆肥の製造と施用の場合を比較検討し、環境への影響を評価した。それぞれの堆肥化での温度は、病原菌や雑草種子の死滅・不活性化の基準である 55°C 3 日間以上（米国 EPA）を最初の 1 週間内で達成しており、いずれも順調な堆肥化を示した（図 3）。特に、成分調整型の堆肥化では、切り返し毎に高温まで昇温する傾向を示した。これは、肥料成分濃度の増加を図るために、切り返し時に新たに各種材料の投入（表 3）が行われたことで、微生物による活発な有機物分解が起こったためである。なお、成分調整型堆肥の製造において、材料投入による発酵阻害は全く観測されなかった。一方、生ごみの堆肥化では、1 週目に温度上昇の遅延が見られ、最高温度も 60°C には達しなかった。これは、生ごみ堆肥の初期 pH が 5.0 と低かったことが原因と考えられる。しかし、切り返し後は 65°C まで昇温し、その後は良好な堆肥化を示

した。これらの結果から、全試験区は順調な堆肥化反応を示したと考えられる。

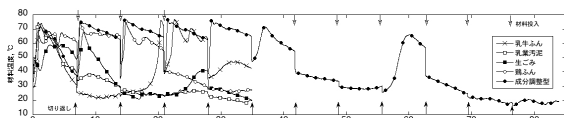


図3 温室効果ガス排出量調査における堆肥温度の変化

図4に堆肥化過程で排出されたGHGsの排出量(CO<sub>2</sub>換算)を示した。なお、堆肥化で発生するCO<sub>2</sub>はカーボンニュートラルのためN<sub>2</sub>OとCH<sub>4</sub>を対象とした。GHGs排出量が最も多かったのは成分調整型の堆肥化であり、次いで生ごみ、乳業汚泥の順であった。また、鶏ふんの堆肥化以外はCH<sub>4</sub>よりもN<sub>2</sub>O排出の割合が大きく、とりわけ生ごみと成分調整型ではN<sub>2</sub>O排出量が増加した。当初、成分調整型の堆肥化では材料投入により活発な堆肥化反応を促したことや堆肥化期間が長かったことから、GHGs排出の極めて顕著な増加が危惧された。しかしながら、本結果の成分調整型の堆肥化によるGHGs排出量は生ごみの堆肥化と比べて若干多い程度であった。以上から、成分調整型による肥料成分補強の為の材料投入や堆肥化の長期化は、GHGs排出量の劇的な増加を引き起こさないということが示された。

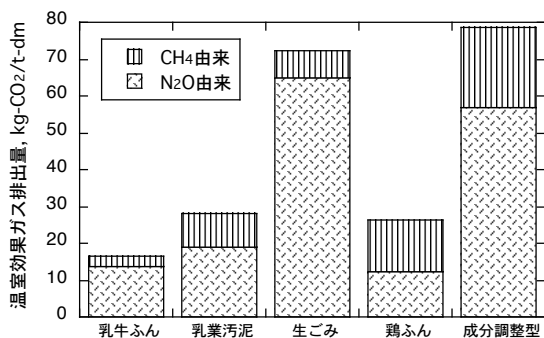


図4 堆肥製造時の温室効果ガス排出量

図5に堆肥化時から土壌施用後までのGHGsの総排出量を示した。GHGs排出量は、試験区によって大きく異なり、いずれも堆肥化よりも土壌施用後が多くなることから明らかとなった。堆肥化で発生するGHGsは全排出量の2.9~25.8%程度であり、その内訳はN<sub>2</sub>O排出量で2.3~18.2%、CH<sub>4</sub>排出量では0.5~5.3%の割合であった。一方、土壌施用後のN<sub>2</sub>O排出量の総排出量に対する割合は14.9~43.7%、CH<sub>4</sub>排出量は-2.9~6.3%、CO<sub>2</sub>排出量に関しては54.9~83.8%とCO<sub>2</sub>が最もその割合が大きかった。成分調整型のGHGs排出量を他試験区と比較すると、鶏ふん、乳業汚泥、生ごみ堆肥区よりは1.2~1.3倍の増加となったが、乳牛ふん比べると37.8%の減少を示した。以上から、堆肥製造から土壌施用に至るまでのGHGs排出量は、堆肥材料に影響されることが明らかとなり、堆肥化よりも土壌施用後が多く、それはCO<sub>2</sub>排出量の増減によって決定づけられることが示唆された。加え

て、成分調整堆肥の製造・利用におけるGHGs排出量は、窒素などの肥料成分濃度が高くても顕著なGHGs排出量を引き起こさないことが示された。

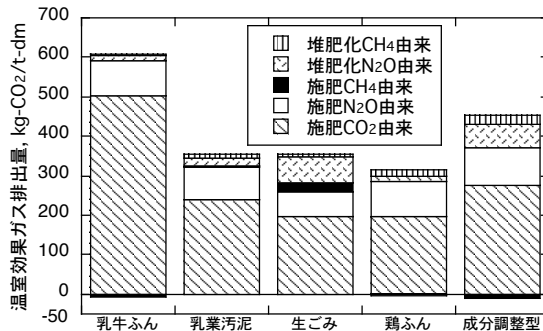


図5 堆肥の製造および土壌施用後の温室効果ガス排出量

## ② 成分調整型堆肥の国内生産ポテンシャルと堆肥の製造から作物栽培に至るまでのLCA分析と経済的試算

成分調整型堆肥の普及性を評価するために、成分調整型堆肥の肥料供給性を検討した結果、下水汚泥と食品工業汚泥ならびに牛ふんを融合した成分調整型堆肥とすることで、国内で使用する化学肥料を補えることが明らかとなった(図6)。食品工業汚泥と牛ふん堆肥のみで成分調整型堆肥を製造する場合には、食品工業汚泥の賦存量が制限因子となり、化学肥料の代替率は、窒素が20%、リン酸が70%、カリウムが46%と化学肥料区の全量代替には達しなかった。しかしながら、食品工業汚泥で極めて似た肥料成分を有する下水汚泥も使用した場合の成分調整型堆肥の肥料供給試算では、化学肥料区と比べて窒素は、1.1倍、リン酸は約4倍、カリウムは約2.6倍という結果が得られ、国内で使用する化学肥料を全て代替できる試算値が示され、海外から肥料を輸入せずとも肥料成分を補える可能性が十分あることが明らかとなった。

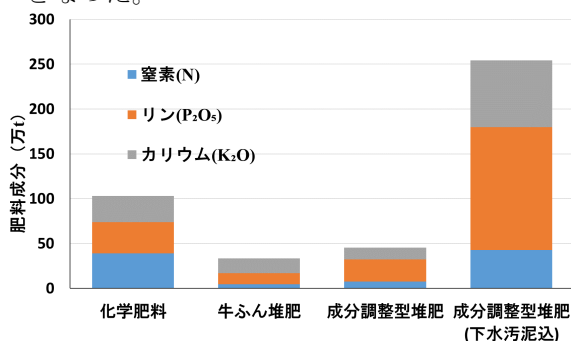


図6 国内の肥料供給試算

加えて、10a当たりのデントコーン栽培をモデルとして成分調整型堆肥の製造から施用、作物栽培に至る環境影響評価と経済試算を分析した結果、成分調整型堆肥が化学肥料や牛ふん堆肥の製造、利用よりも環境性および経済性がともに優れていることが明らかとなった(図7)。環境性の面においては、

化学肥料区は 232 kgCO<sub>2</sub>eq、牛ふん堆肥区は 149 kgCO<sub>2</sub>eq、成分調整型堆肥区は 141 kgCO<sub>2</sub>eq となり、成分調整型堆肥区が最も低い GHGs 排出量であった。特に、化学肥料区における土壌施用後の GHGs 排出量は堆肥を使用した場合に比べて 2.6~3.6 倍の増加となり、堆肥の施肥による環境性の改善を示した。また、牛ふん堆肥区と成分調整型堆肥区を比較すると、成分調整型堆肥では堆肥化から直接排出される GHGs 量は牛ふん堆肥区よりも多かったが、堆肥発酵を促すために使用される送風機の消費電力量が低減されたことから、総合的に成分調整型堆肥の製造の方が GHGs 排出量を抑制させることを示した。

また、経済性の面では、化学肥料区で 5,806 円、牛ふん堆肥区は 5,607 円、成分調整型堆肥区は 4,633 円となり、成分調整型堆肥が最も低いコストを示した。これは、化学肥料区と堆肥区では堆肥の製造コストの方が化学肥料を製造するよりも安価であることに起因した。加えて、牛ふん堆肥区と成分調整型堆肥区を比較した場合、送風機の電気使用料金が成分調整型堆肥において約 72% 低減されたことで、よりコストの低減に繋がった。

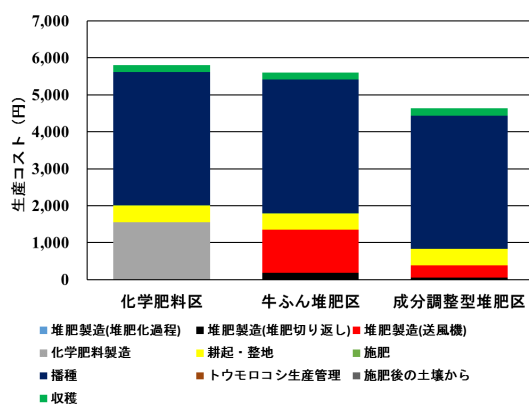


図7 デントコーン栽培体系の生産コスト

以上の結果から、成分調整型堆肥は国内の化学肥料の全量を代替するだけの肥料成分を有する可能性があり、且つ、肥料製造から作物栽培に至るまでの LCA 分析による環境影響評価や経済的試算においても化学肥料や牛ふん堆肥の利用よりも環境性が高い上、コストも最も安価であることから、化学肥料に変わる肥料として極めて有望である。成分調整型堆肥の製造・利用による普及は、国内肥料資源を最大限有効活用した肥料自給型農業を導出し、国内の農畜産業の持続的発展に多大に寄与するものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

① 宮竹史仁、竹内絵美里、沢木恵理香、異

なる材料による堆肥の製造と土壌への施用が温室効果ガス排出量に及ぼす影響 - 成分調整型堆肥の製造と利用によるインベントリ分析 -、第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2017 年 9 月 8 日、東京工業大学 (東京都目黒区)

② 宮竹史仁、小林夏実、小林雅之、西郷正明、藤本達也、食品工業汚泥と牛ふんを主原料とした成分調整型堆肥の開発と施用効果、第 27 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2016 年 9 月 27 日、和歌山大学 (和歌山県和歌山市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

③ 宮竹史仁、平成 28 年度北海道科学技術奨励賞 受賞、高品質堆肥の製造方法及び環境型堆肥化システムの研究開発と普及、2017 年 2 月 23 日、センチュリーロイヤルホテル (札幌市)

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮竹 史仁 (MIYATAKE, Fumihito)

帯広畜産大学・畜産学部・准教授

研究者番号：70450319

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

なし ( )