

農業機械と廃棄サイレージを利用した堆肥化技術

佐藤義人

Composting Technology of Livestock Manure Using
an Agricultural Machine and Waste Silage

Yosihito SATOU

要 約

無通気型堆肥舎における切り返し作業の省力化を狙い、ホイールローダでの切り返しに替えてマニユアスプレッダでの切り返し及びスラリタンカでの瞬間送気の効果について検討するとともに、廃棄サイレージの堆肥化副資材としての利用を試みた。

その結果、作業頻度をホイールローダでの切り返しの半分としたマニユアスプレッダでの切り返しは堆肥化期間はやや長くなるものの作業時間の短縮が図られることが明らかとなった。一方、マニユアスプレッダでの切り返しは、放熱によりその後の発酵温度を低下させる可能性が示唆された。また、スラリタンカでの瞬間送気には若干の発酵促進効果が認められたものの切り返しに替わるほどの効果は認められなかった。

廃棄サイレージは堆肥化副資材として利用可能であり、副資材費節減の効果も推算された。しかしながら、堆肥の塊が多く生じ流通適性に欠けた。マニユアスプレッダで切り返した堆肥はきめが細かく、流通促進が期待された。

目 的

本県の大家畜経営では家畜排せつ物法の施行に伴い、比較的 low コストな無通気型堆肥舎を導入する経営体が多くみられた。しかし、切り返し作業と副資材の混合が必須である堆肥化処理において、作業労働力不足や必要とする副資材が確保できないことなどから、計画した家畜糞量を処理できない事例が見られる。

近年、ホイールローダでの切り返しに替わる技術として、改造を加えたマニユアスプレッダによる切り返しで堆肥化促進を図る技術（宮浦ら，2003）や圧縮空気で堆肥原料を膨軟化させる技術（阿部ら，2009）のほか、新たな副資材として乾燥食品残さや果樹剪定枝の利用（榊原ら，2004；水野ら，2011）などが報告されている。

本試験では、家畜糞の省力・低コスト堆肥化技術を確立するため、県内酪農家が持ちうるであろうスラリタンカ及びマニユアスプレッダをホイールローダに替わる機械として、また、日々発生する廃棄

サイレージを副資材として用いた堆肥化処理について、発酵促進効果及び作業効率等を明らかにする。

試験方法

1 調査期間

調査は2か年にわたって行った。1年目は2008年2月19日～4月15日の8週間、2年目は2008年12月25日～翌年3月9日の10週間とした。

2 供試材料

表1に供試材料の乾物率（以下「TS」とする）及び乾物中有機物（以下「VS」とする）含有率並びに供試重量を示した。1年目は新鮮肉牛糞と副資材としてオガクズを、2年目は堆肥舎に2ヶ月程度堆積した肉牛糞と乳牛糞の混合物、副資材としてオガクズと若干の乾草を混合して供試した。また、2年目には牧草サイレージ（以下「GS」とする）のみを副資材とする区を設けた。GSはカラスによる食害や調製の失敗により腐敗したオーチャードグラス及びチモシー再生草のロールペ

表1 供試材料

年度	家畜排泄物			副資材			堆肥化原料		供試重量 (t/区)
	種類	TS	VS/TS	種類	TS	VS/TS	TS	VS/TS	
1年目	新鮮肉牛糞	18.2%	85.3%	オガクズ	64.2%	99.0%	24.4%	91.1%	9.8
2年目	腐熟肉・乳牛糞	23.0%	77.8%	オガクズ・乾草	70.5%	94.4%	26.6%	84.2%	5.2
				GS	54.5%	89.4%	30.3%	86.0%	5.2

ールラップサイレージであり、TS30～64%のものを4ロール供試した。牛糞との混合に際しては、トラクタフロントローダに装着したマニユアフォークをロールに挿し、上下に振って適度にほぐした物をホイルローダを用いて混合した。

3 供試機械

堆肥化のために供試した農業機械は以下のとおり。

① マニユアスプレッダ：ニューホランド社製NH513（積載重量約3t）

② スラリータンカ：タカキタ社製S-4200（タンク容量4,200L）

③ ホイルローダ：小松メック社製W001（バケット容量約1.5m³）

4 マニユアスプレッダとスラリタンカによる堆肥化方法

マニユアスプレッダ：スキッドステアローダまたはトラクタフロントローダのバケットで堆肥化原料のマニユアスプレッダへの積載を行い、堆肥舎内でマニユアスプレッダを稼働することにより切り返しを行った。供試機はコンベアチェーンによる移送方式であり、マニユアスプレッダへの積載と切り返しとを同時に行った。

スラリタンカ：タンクが空の状態吸入・吐出両弁を閉じたままブローポンプで加圧し、当該機種の規定散布圧力である0.08MPaに達した時点で吐出弁を開き、圧縮空気を一気に吐出した（これを本文では「瞬間送気」とする）。瞬間送気は、1年目はサクションホース（呼径100mm）の吐出口上に処理対象物を堆積した状態で、2年目はスラリタンカを牽引するトラクタのフロントローダにサクションホースを接続した鉄管を固定し、これを堆積物に射し込んで行った。鉄管の先端は斜めに切除し堆積物への挿入を容易にした（写真1～5）。作業1回当たりの送気回数は、1年目は1回、2年目は挿入位置

変えながら3回とした。

5 試験区の構成

表2に試験区の構成を示した。1年目はMS区、ST区、WL1区の3処理、2年目は組合せ区、GS区、WL2区を加え6処理とし、いずれも反復は行わなかった。2年目はいずれの区とも第1週は作業を行わず第2週からとした。ST区の作業1回当たりの送気回数は、1年目は1回、2年目は挿入位置を変えながら3回とした。両年全区とも高さ1.5m程度に堆積して供試した。

6 調査項目

堆積物の発酵温度は温度データロガーにより1時間ごとに記録した。温度センサの設置位置は、床から1m程度の高さ、堆積物表層から30cmの深さとし、各区2カ所を測定した。また2年目ST区では、深部30cm部位2か所その他、第3週からは堆積物表層から60cm、90cmの深さ各1か所の測定も行った。

各区とも、ホイルローダまたはマニユアスプレッダでの切り返しを行うごとに試料を採取し、TS及びVSを測定した。

2年目MS区については、ローダ作業を行うオペレータとマニユアスプレッダを操作するオペレータによる二人組作業体系と、一人で両機を操作する一人作業体系を行い、WL1区とともに作業時間を調査した。マニユアスプレッダ一人作業は1回、マニユアスプレッダ二人組作業は2回、ホイルローダ作業は3回計測した。複数回計測した作業はオペレータ変えて調査した。参考として、トラクタフロントローダのバケットによる切り返し作業も調査した。

試験期間中のGS区には堆肥の塊と未分解のGSが多く見られたことから、試験終了後各区の堆肥を目幅1.7mmの篩に掛け篩上物と篩下物とに篩別し、各分画のVS/TSを測定した。

表2 試験処理

区名	堆肥化処理方法	作業スケジュールと使用機械									
		実施年	第1週	第2週	第3週	第4週	第5週	第6週	第7週	第8週	第9週
MS区	スキッドステアローダ等によるマニユアスプレッダへの積載とマニユアスプレッダによる切り返し・堆積	1年目	—	MS	—	MS	—	MS	—	—	—
		2年目	—	MS	—	MS	—	MS	—	MS	—
ST区	スラリータンカによる瞬間送気とホイルローダによる切り返し・堆積の組み合わせ	1年目	ST	WL	ST	WL	ST	WL	ST	—	—
		2年目	—	ST	ST	WL	ST	ST	ST	WL	ST
組合せ区	MS区とST区の組み合わせ	2年目	—	MS	ST	MS	ST	MS	ST	MS	ST
GS区	ホイルローダによる切り返し・堆積(1回/1週)	2年目	—	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL
WL1区	ホイルローダによる切り返し・堆積(1回/1週)	1年目	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL	—	—
		2年目	—	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL
WL2区	ホイルローダによる切り返し・堆積(1回/2週)	2年目	—	WL	—	WL	—	WL	—	WL	—

結 果

1 瞬間送気による堆積物の変化

写真6～9には1年目における瞬間送気を行った際の堆積物の状態を示した。瞬間送気により、堆積物全体が膨らみサクシオンホース吐出口の直上から蒸気が緩やかに発する場合（写真6）と、爆発的にサクシオンホース吐出口の直上部を吹き飛ばす場合（写真7）とがあった。後者では、直上部に底部まで貫通する直径20cm程度の穴が開き、飛散物は高さ3m強の天井にまで届いていた（写真8、9）。

2年目においては、瞬間送気により堆積物全体が盛り上がり、1年目同様蒸気が緩やかに発した。2回目、3回目の瞬間送気では堆積物の膨張程度、水蒸気量とも徐々に減少するのが観察された。

2 GS区における牛糞とGSとの混合状態及び臭気

調査開始時のGS区における牛糞とGSとの混合状態は悪く、牛糞は下部にGSは上部に分離したように堆積された。その後の切り返し後の状態も不均一であり、堆積物の混合状態が均一性を持ったのは第8週以降であった。また、調査開始時から第4週頃までは切り返し時にサイレージ臭が感じられた。

3 堆積物発酵温度の推移

図1には1年目MS区及びWL1区の測定2か所平均の、図2には1年目ST区の測定箇所ごとの、図3には2年目MS区、GS区、WL1及び2区の測定2か所平均の、図4にはST区及び組合せ区の測定箇所ごとの発酵温度の推移を示した。ただし、図3のWL2区は調査期間中のデータロガーバッテリー切れにより第8週途中以降、図4のST区60cm及び90cmは調査途中から計測を行ったため第3週以前は欠測である。

両年全区とも雑草種子が死滅するとされる60℃2日以上を維持し、良好な発酵を示した。また、1年目と2年目とを比較すると1年目が概して発酵温度が高く推移した。

MS区及びWL1区は両年とも同じような発酵温度の推移を示した。すなわち、堆肥化初期に最高温度に達し、その後漸減し第6週の切り返し後の昇温が緩慢であり、第10週まで調査を続けた2年目の第8週以降はほとんど昇温しなくなった。WL2区は第8週の切り返し以降はまだ発酵温

度が高くMS区及びWL1区とは異なる推移を示した。

ST区は、1年目第7週及び2年目第6週ではそれぞれ1～3℃、7℃の昇温と発酵温度の低下を緩和させる効果が見られ、1年目第3週の瞬間送気では若干の昇温が、第5週では発酵温度の低下が緩やかになったように観測された。深部60cm、90cmにおいては瞬間送気の効果を確認することはできなかった。組合せ区においては、瞬間送気の効果は認められず発酵温度の推移はMS区と酷似した。

GS区は他の区とは全く異なる推移を示した。堆積直後からの昇温は極めて緩慢であり、第3週の切り返しを経て第4週に最高温度に達し、その後他の区よりも急速な発酵温度の低下が見られたが、8～9週目で再び急激な昇温を示した。また、堆積中の細かな温度変化が第8週までみられた。

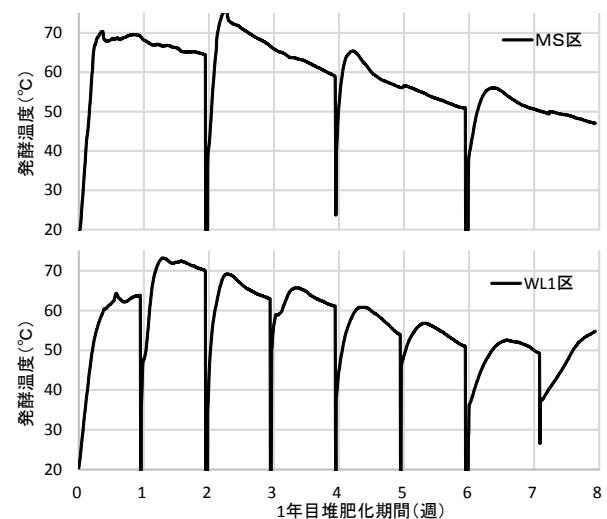


図1 MS区及びWL1区の発酵温度の推移

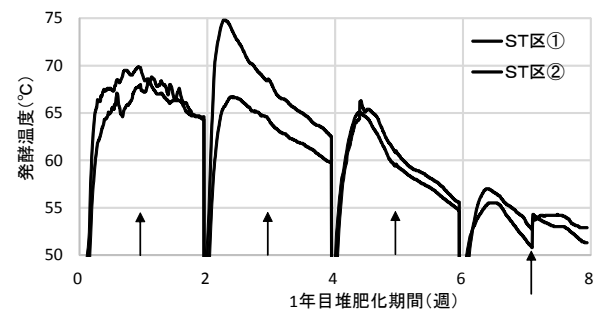


図2 ST区の発酵温度の推移

注) 図中の矢印は瞬間送気を行ったことを示す。以下同様。

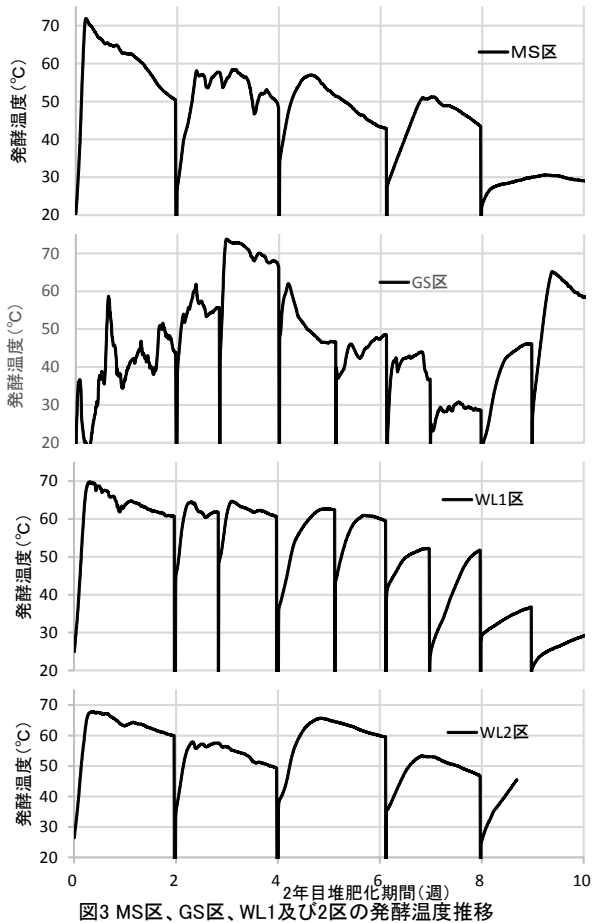


図3 MS区、GS区、WL1及び2区の発酵温度推移

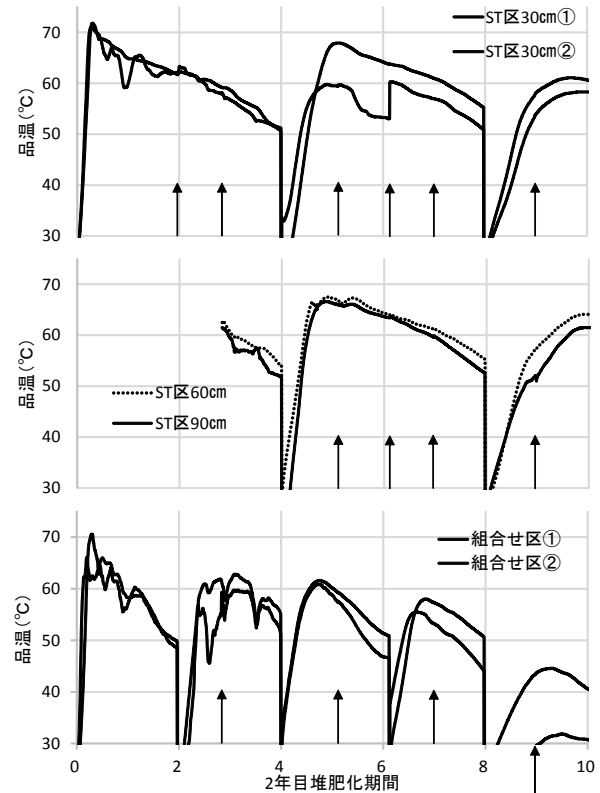


図4 ST区及び組合せ区の発酵温度の推移

4 TS及びVSの推移

1年目におけるTS及びVS/TSの推移を図5、6に示した。いずれの区ともTSは横ばいに推移し、VS/TSは低下した。1年目における第2週までのVS減少は全区とも同様であったが、その後、WL1区においてはVS分解が第7週までは速やかでその後停滞した。一方、MS区、ST区のVS/TSはWL1区よりも高く推移し、第8週でWL1区と同等となった。

2年目におけるGS区以外のTS及びVS/TSの推移を図7、8に示した。各区とも、TSは変動が大きく明瞭な傾向は認められず、VS/TSは1年目と同様に徐々に低下した。VS減少は第2週まではMS区及び組合せ区が高く、第4週以降はWL1区、組合せ区が低い値で推移した。これ以降、WL1区においては第7週まで順調にVS分解が進みその後ほぼ一定となり1年目と同様であった。組合せ区は第8週で、MS区とWL2区は第10週でWL1区と同等の値となった。ST区の第4週以降の減少は緩慢で、

第8週以降は横ばいとなり、第10週のVS/TSは他4区に比して2%程度高い値であった。

GS区は調査開始時のTS及びVS/TSが他区とは異なることから、VSの推移の比較が容易なようにVS残存率を算出し、WL1区と合わせてTSとともに図9に示した。

GS区のTSは第5週まで上昇しその後大きく変動した。VS残存率は第2週までは大きく減少し、その後第7週までは緩やかに減少した。WL1区は第7週以降VS残存率は一定に推移したのに対し、GS区は第8週まで停滞、第8週以降再び減少した。

5 作業時間

図10に切り返しに要する作業時間と処理量との関係を示した。また、この計測結果から、処理量1t人員一人当たりの作業時間を算出し表3に、マニュアルスプレッダー一人作業及びホイールローダ作業の堆肥化期間を通じての作業時間を表4に示した。

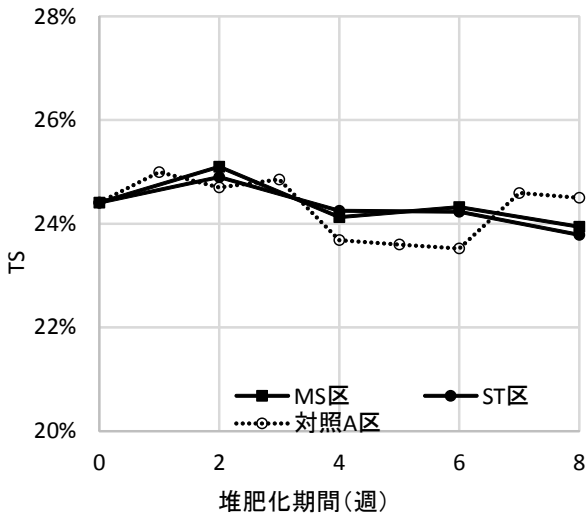


図5 1年目TSの推移

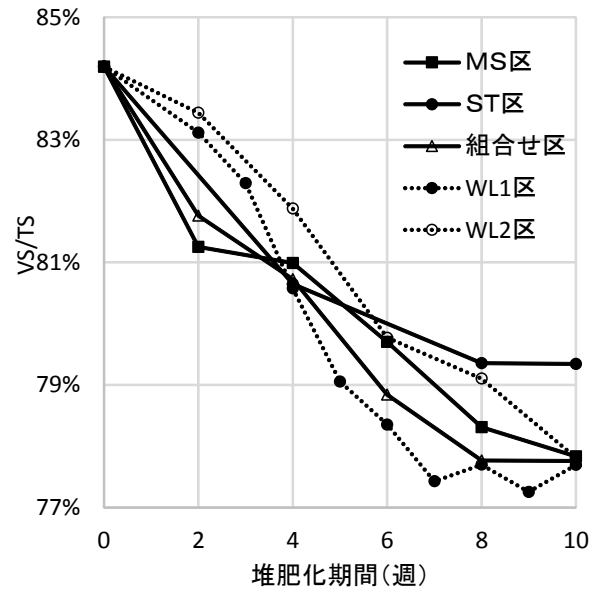


図8 2年目VS/TSの推移

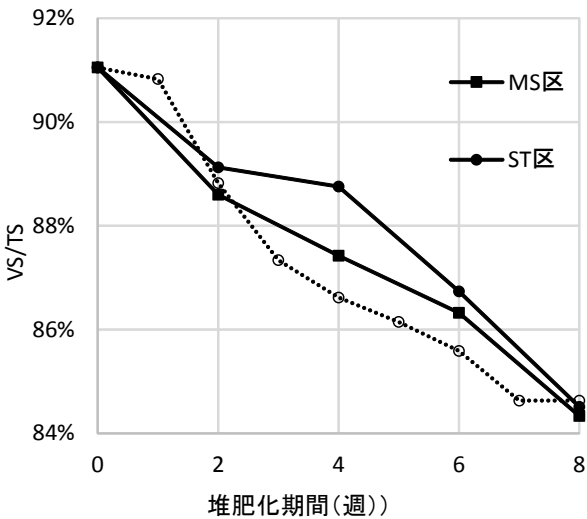


図6 1年目VS/TSの推移

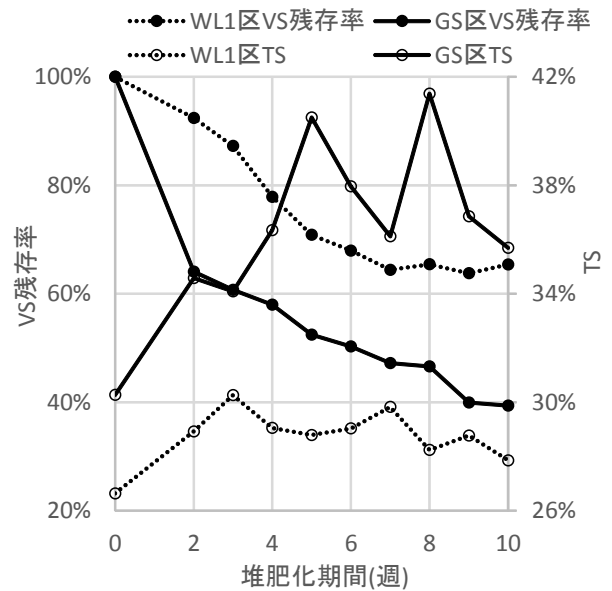


図9 GS区のVS残存率の推移

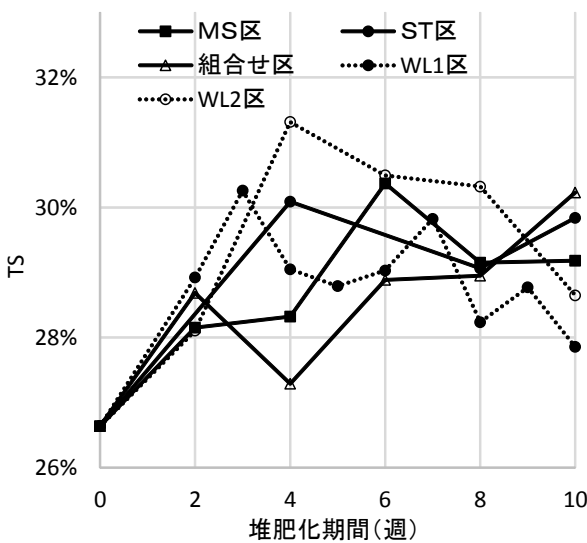


図7 2年目TSの推移

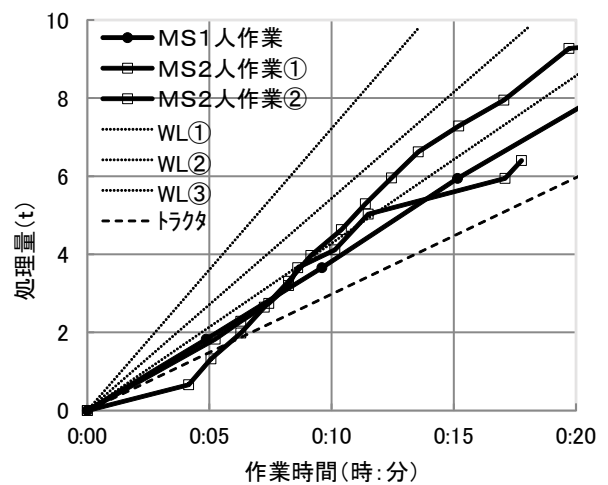


図10 作業機・作業体系別処理量

表3 処理量・人員当たりの作業機・作業体系別処理時間

作業体系	処理時間 (分:秒/t人)	対ホイルローダ 作業比	対マニュアルプレッ ダー人作業比
マニュアルプレッダー一人作業	02:36	1.41	1.00
マニュアルプレッダ二人組作業	05:11	2.80	1.99
ホイルローダ作業	01:51	1.00	0.71
トラクタ作業	03:21	1.81	1.29

注) マニュアルプレッダ二人組作業及びホイルローダ作業は複数回計測の平均値

表4 堆肥化期間中の作業時間

作業体系	処理時間 (分:秒/t人)	作業回数 (回)	作業時間 (分:秒/t人)	対ホイル ローダ比
マニュアルプレッダー一人作業	02:36	4.25	11:03	0.85
ホイルローダ作業	01:51	7	12:57	1.00

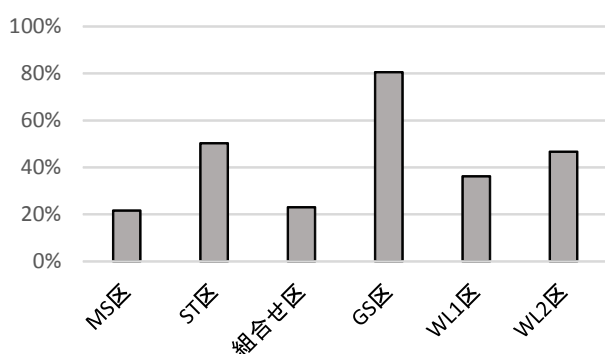


図11 堆肥化方法及び副資材の違いによる篩上物率の差

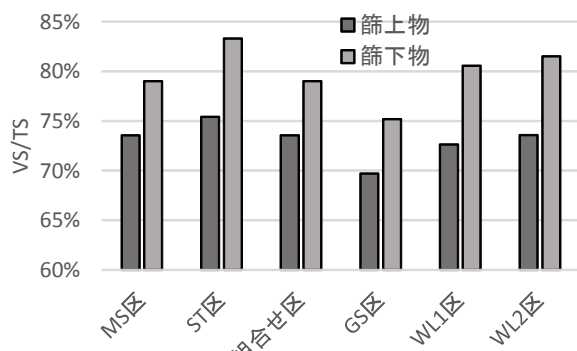


図12 堆肥化方法及び副資材の違いによる各分画のVS/TS

作業時間当たりの処理量が最も多いのはホイルローダによる切り返しであり、マニュアルプレッダ二人組作業、一人作業が次ぎ、トラクタによる作業が最も劣った。しかしながら、オペレータによってはホイルローダ作業とマニュアルプレッダ二人組作業、マニュアルプレッダ二人組作業と一人作業の処理量が逆転する場合も見られた。作業機・作業体系別処

理時間はマニュアルプレッダー一人作業はホイルローダの1.4倍、マニュアルプレッダ二人組作業はさらに2倍を要した。

堆肥化に要する期間は、後述に考察するとおりWL1区が7週間、MS区が8~9週間であった。この期間中の作業回数は、1回/1週の切り返しを行うWL1区は7回、1回/2週の切り返しを行うMS区は堆肥化期間を8.5週間とすると4.25回となり、合計作業時間はマニュアルプレッダー一人作業がホイルローダ作業に比して15%少ない結果となった。

6 堆肥化後の堆肥の状態

2年目の調査終了後の堆肥を篩別した。各区の篩上物の割合を図11に、各分画のVS/TSを図12に、MS区、GS区及びWL1区の篩上物を写真11~13に示した。

篩上物のほとんどは硬く固まった塊であったが、GS区においては未分解のGSもみられた。篩上物の割合はMS区、組合せ区が最も少なく、WL1区、WL2区、ST区が次ぎ、最も篩上物割合が高かったGS区においては約8割が篩を通らない塊であった。また、塊の大きさはWL1区では大きいもので長径8cm程度であったのに対し、GS区では15cmを超える物もあった。篩上物と篩下物のVS/TSは全区とも篩上物が低く、その差はMS区、組合せ区、GS区では5.5%、ST区、WL1区、WL2区では7.9~8.0%と区間差があった。

考 察

1年目と2年目との発酵温度を比較すると、全般に1年目の方が高温で推移して

いる。調査開始時のTSは1年目が低く、発酵のための条件としては悪かったにもかかわらず発酵温度が高かった理由としては、堆肥化原料の牛糞の鮮度と考えられた。1年目は新鮮牛糞を、2年目は腐熟牛糞を供試している。腐熟牛糞はTSが高くVS/TSが低くかったことから、好氣的発酵が進んでいたか嫌氣的発酵と排汁の流亡が起こっていた可能性があり、1年目供試牛糞に比して発酵基質が減少していたと推察された。

家畜糞は堆肥化によりTSが上昇するのが一般的であるが、1年目はいずれの区ともほぼ変化なく推移し、2年目においてもすべての区で上昇が見られたのは最初の2週間のみであり、その後の推移はばらつきが大きく、最終的には3%程度の上昇にとどまった。牛糞にオガクズを添加した場合であれば、水分72%以下すなわちTS28%以上の条件で発酵を開始するとVS分解に伴う発熱により水分が蒸発し、TSが上昇するとされている（財団法人畜産環境整備機構, 2004）。しかしながら、VS分解はTSを減じるとともに水を生じることから、水分の蒸散がなければTSを低下させることになる。本試験では、発酵温度も十分に高くVS/TSも低下したことから、好氣的発酵が順調に進んだと思われるが、両年ともTS28%以下で調査を開始したこと、また、冬期間の調査であったことから、VS分解を上回る水分蒸散が得にくかったものと推察された。

1年目ST区はホイールローダによる1回/2週の切り返しとスラリタンカによる1回/2週の瞬間送気との組合せであり、瞬間送気の効果を確認するためにはWL2区との比較が適当であるが、調査年度が異なり単純比較ができないため、瞬間送気の効果の間接的に評価した。堆肥化期間は1年目ST区とMS区とは同等であり、2年目MS区は2年目WL2区よりも1週間短かったことから、WL2区に瞬間送気を組み合わせればMS区と同様に1週間程度の発酵期間短縮が期待でき、スラリタンカによる瞬間送気にも発酵促進効果があると考えられた。一方、2年目ST区においては第8週以降も高い発酵温度でありながらVS/TSが高い水準のまま横ばいとなった。これは酸素不足による発酵停滞と蓄熱のためと考えられ、瞬間通気+1回/4週の切り返しでは効率的な堆肥化は困難であっ

た。

阿部ら（2009）の開発したインパクトエアレーションシステムは、通気型堆肥舎において通気路確保のために堆肥を膨軟化させるものである。本試験ではこれを無通気型堆肥舎において自重で圧密となった堆積物全体を膨軟化させ、元々の容積重を復活させるために用いた。瞬間送気により堆積物全体が膨らむ現象は確認されたものの堆積物内部にまで通気性を発現させるには至らず、また、瞬間送気後の深部における昇温の効果がないことから、ブローのような酸素供給装置としても機能しないことが明らかとなった。

週1回の切り返しを行ったWL1区は、両年とも第7週までは速やかだったVSの分解がその後停滞し、切り返し後の発酵温度の昇温も第7週以降緩慢となったことから、この時点で易分解性VSの分解はほぼ終了したものと考えられた。この時のWL1区のVS/TSは1年目が84.6%、2年目が77.5%であり、この値を堆肥化発酵の終了と見なすと、1年目のMS区、ST区及び2年目の組合せ区は第8週で、2年目WL2区は第10週で、2年目MS区は第9週の試料採取を行っていないもののグラフの形状から第9週で発酵が終了したと考えられた。よって、マニュアルスプレッドによる1回/2週の切り返しの堆肥化期間はホイールローダによる1回/1週の切り返しよりも1~2週間程度多く要し、ホイールローダによる1回/2週の切り返しよりも1週間程度短くなるものと考えられた。

一方、切り返し後の発酵温度の最高温度を見ると、組合せ区は堆肥化発酵が終了した第8週以降はそれ以前のピーク温度よりも明らかに低く、VS分解の推移と整合した。しかし、両年のWL1区では、堆肥化発酵が終了する前の第7週と終了後の第8週とではどちらも同等の50℃以上にまで昇温しており、VS分解終了後も高温を保った。また、2年目MS区においては、第8週以降もVS分解は進んでいたが、第8週の切り返し以降のピーク温度は30℃と低く、VS分解の終期とピーク温度低下の時期とが乖離した。これは、外気との接触のしかたが異なることが要因の一つとして考えられた。ホイールローダでの切り返しは堆肥を大きな塊のまま移動することから外気との接触面積が少な

いため放熱量も少なく、マニュアルプレッダでの切り返しは堆肥を細かく砕きながら飛散させ、作業時間も1.4倍であることから放熱量が大きくなったものと推察された。

宮浦ら(2003)はフロアコンベアの速度を高める改造を加えたマニュアルプレッダと作業能率が同等なホイールローダとで3~4週間に1回の作業頻度で堆肥化を行った場合、マニュアルプレッダの方が発酵温度及び乾物分解率が高かったと報告している。本試験においては、作業頻度を同じくするMS区とWL2区とでは、MS区のVS分解が速やかであったが発酵温度はMS区がやや低く推移した。このことは、宮浦らの得た結果と一見矛盾するが、作業能率が劣るマニュアルプレッダを用いたことを勘案すれば放熱量が大きくなったためと推定できる。また、作業頻度をWL1区の2分の1としたMS区が発酵温度は同程度でVS分解がやや劣ったことも、外気との接触面積・時間が切り返し後のピーク温度と関係しているとの考えと矛盾しない。よって、ホイールローダでの切り返しは易分解性VS分解終了後も蓄熱により高温を保ち、マニュアルプレッダでの切り返しは易分解性VSが残っていても発酵温度が低下することが示唆された。

GS区は第2週まではVS残存率が急激に減少したが発酵温度は低く、第7週から8週にかけてはVS残存率の低下が緩慢となり発酵温度も低く、第8週以降は再びVS残存率が低下に転じ発酵温度も上昇した。このことは、堆肥化初期には発酵温度とVS残存率が相反し、堆肥化終期に易分解性有機物が新たに生じたように見え、他の区とは異なる発酵状態を示した。この現象は堆肥化初期と終期に分けてGSの分解が起こったためと推察される。すなわち、第2週から第7週までのWL1区と同様のVS分解は専ら牛糞の分解であり、堆肥化初期のVS分解はGSに含まれる可溶性無窒素物等の易分解性VSが分解されたが、牛糞上に混合不十分に堆積されたため発酵温度の上昇には寄与せず、WL1区と同様に牛糞の分解がほぼ終了した堆肥化終期においては牛糞とGSとの均一性が増したことにより繊維性のやや分解しにくいVSの分解が始まったためと考えられた。また、8週目まで顕著にみられる堆積中の発酵温度の細かな変動は、混

合状態が不均一であったため部位により発酵状態や水分の蒸散量が大きく変わったためと推察された。

堆肥化終了時の堆肥の塊の割合がマニュアルプレッダを使用したMS区と組合せ区とで少なくなったのは、マニュアルプレッダのビータで粉碎されたためと容易に想像できた。また、WL1区、WL2区、ST区の順に低かったのも切り返しの頻度によるものと考えられた。しかし、WL1区と同じ頻度で切り返しているGS区においては塊が2倍程度と多くなった。圃場の耕起及び砕土作業では土壌水分が高ければ土塊の量、大きさが増すことが知られている(森山ら,1966)。GS区においてはGSを副資材として堆積物全体の水分は低下させたが、牛糞とGSとの混合状態は悪く、高水分土壌の耕起のように牛糞は高水分のまま切り返しされていたものと考えられた。一方、オガクズを副資材とした区は牛糞と牛糞との間にオガクズが入り込み、切り返し中または堆積中に牛糞同士が結着するのを阻害し塊が小さくなったものと推察された。このことは、VS/TSが低くなったこととも整合し、塊はオガクズを含まないほぼ牛糞のみで、篩下物は細かい牛糞とオガクズで構成されていると考えられた。また、切り返しにマニュアルプレッダを用いたMS区及び組合せ区で篩上物と篩下物とのVS/TSの差が小さかったのは、砕けた牛糞が篩下部に多く含まれたため篩下部のVSを引き下げ、GS区においては篩上物に未分解のGSが含まれたため篩上部のVSを引き上げたことによると考えられた。

GS区では、副資材の100%をGSとしたが、酪農経営における廃棄粗飼料の発生量についての検討が必要である。

搾乳牛の排糞量を45kg/頭日、水分を85% (=TS15%) とし、水分50%の粗飼料を副資材として堆肥化原料を水分72%に調整しようとする、28.6kg/頭日の粗飼料が必要となる(45kg*(0.85-0.72)/(0.72-0.50))。調製した自給粗飼料の給与時における廃棄率についての報告は少ないが、鹿児島県(2014)ではローズグラスサイレージをカッティングロールベールに調整したときの廃棄率が13.69%、従来型のロールベールで3.93%であったと報告している。また、半地下サイロでのデータではあるが、高橋ら(1973)

はイタリアンライグラスサイレージの廃棄率を7.2%としている。むろん、不良発酵のGSの他にもカビの発生した乾草や刈り遅れなどにより給与に適さずやむなく廃棄される粗飼料、草架台での給与では食べこぼした廃棄牧草も生じるであろう。粗飼料の廃棄率を大雑把に10%と見積もったとすれば、15kg/頭日の給与であれば1.7kg/頭日しか廃棄粗飼料は生じず(15kg/(1-0.1)-15kg)、必要量の1割にも満たないこととなり、本試験のように副資材の全量を廃棄粗飼料でまかなうのは現実的ではない。しかしながら、表5に示すとおり東北地域における敷料使用量が1.7kg/頭日であることを勘案すると、これに匹敵する廃棄粗飼料が日々生じていることになる。堆肥化副資材を敷料と同等の価格で購入するとすれば、廃棄粗飼料をこれに向けることで50頭規模の経営体であれば年間40万円程度の経費節減と推算できる。

しかしながら、GSを副資材とした堆肥は塊が多く流通には不向きであり、畜産経営内での使用に際しても採草地への表層施用には不適であり、すき込みでの使用に限定されるものと考えられた。一方、マニユアスプレッダで切り返した堆肥はきめが細かく流通に優位性があると考えられた。本試験では、実態に即したGSで副資材の1割程度をまかなう処理や、GSを副資材としマニユアスプレッダで切り返しを行う処理は設けなかったが、廃棄粗飼料の有効利用と堆肥の流通促進のために今後の検討が必要と考えられた。

一方、作業性については、作業効率はホイローダによる切り返しが最も優れたが、堆肥化期間全体での作業時間はマニユアスプレッダによる一人作業が最も短かった。マニユアスプレッダによる切り返しでは、一人作業でも二人組作業でも作業時間はほとんど変わらず、人員当たりの作業効率は一人作業が概ね2倍となった。これは、切り返し速度がマニユアスプレッダに支配されたためであり、高効率のマニユアスプレッダを用いることで二人組作業の能率が上がると考えられたが、二人組作業が一人作業に劣る場合もあり、作業効率は組作業のコンビネーションや個々のオペレータの能力に依存することが明らかとなった。

表5 東北地域における敷料の使用数量と価額

年次	搾乳牛通年換算 1頭当たり		搾乳牛1日 1頭当たり	
	数量(kg)	価額(円)	数量(kg)	価額(円)
2005年	614.9	8,319	1.7	22.8
2006年	597.0	8,110	1.6	22.2
平均	606.0	8,215	1.7	22.5

注)政府統計資料(独立行政法人統計センター,2005:2006)から作表

引用文献

- 阿部佳之・宮竹史仁・本田善文(2009) 高圧空気で堆肥原料の好気発酵を促進するインパクトエアレーションシステム. 畜産技術. 畜産技術協会, 654, 2-6
- 鹿児島県農業開発総合センター(2014) 細断型ロールベアラ調製によるローズグラスサイレージの品質向上. 普及に移す研究成果. http://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/zenbu/documents/31639_20130510145233-1_1.pdf
- 財団法人畜産環境整備機構(2004) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術
- 榊原幹男・平山鉄夫・加納正敏・増田達明(2004) 牛ふん尿堆肥化の副資材としての乾燥食品残さ利用. 平成15年度「関東東海北陸農業」研究成果情報, 100-101
- 高橋正行・山本勝昭・森崎清之・丸山富美子・山本伸明(1973) サイレージの嗜好性および消化率におよぼす亜硝酸ナトリウムとギ酸カルシウムを主とする添加物の効果. 日本草地学会誌19(4), 366-370
- 独立行政法人統計センター 2005年-政府統計の総合窓口GL71050103. 牛乳生産費 敷料の使用数量と価額(搾乳牛通年換算1頭当たり) - (全国農業地域別), (http://www.e-stat.go.jp/SGL/estat/GL71050103.do;jsessionid=Wd1LTyGPLX0Rh7pnpSrGJBGn00hKGpz0VMxvJNtKL4tyHpnnnr8v!114256052!319439442?_toGL71050103_&listID=000001067398&forwardFrom=GL71050101)
- 独立行政法人統計センター 2006年-政府統計の総合窓口GL71050103. 牛乳生産費 敷料の使用数量と価額(搾乳牛通年換算1頭当たり) - (全国農業地域別), (<http://www.e-stat.go.jp/SGL/estat/GL71050103.do;jsessionid=h6tNNJdLJh51825dkhYX7K7F1jsp112czd>)

fGpTN9xhFqkC4B111f!-739888281!6743
8956?_toGL71050103_&listID=0000010
66292&forwardFrom=GL71050101)

水野一郎・澤口和宏・武内徹郎(2011)
地域内未利用資源の効率的循環利用技
術の開発(第1報).徳島県立農林水産総
合技術支援センター畜産研究所研究報
告,10,74-77

宮浦寿美・村上則幸・井上慶一(2003)独
立行政法人農業・食品産業技術総合研
究機構北海道農業研究センター2003年
の成果情報 マニュアルスプレッダを利用
した冬期高品質堆肥化技術. [http://
www.naro.affrc.go.jp/project/resul
ts/laboratory/harc/2003/cryo03-05.
html](http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2003/cryo03-05.html)

森山真策・高野總十朗・北村稔・服部昭
三・横井謙二郎(1966)中、大型機械に
よる水稲乾田直播栽培に関する研究
(第1報)播種作業について.島根県農
業試験場研究報告,7,43-50



写真1 1年目ST区の堆積作業①



写真2 1年目ST区の堆積作業②



写真3 1年目ST区瞬間通気直前



写真4 1年目ST区瞬間送気機全貌



写真5 2年目ST区の送気部



写真6 1年目ST区瞬間送気①



写真7 1年目ST区瞬間送気②



写真8 瞬間送気により堆積物にあいた穴



写真9 瞬間送気により飛散した堆肥



写真10 2年目STの瞬間送気



写真11 WL1区の篩上物



写真12 MS区の篩上物



写真13 GL区の篩上物