

1 課題名

II 施設機械の効率的運転技術に関する研究

1 集中型バイオガスプラントにおける家畜ふん尿搬入・搬出法・散布法の検討

2 担当場所研究科室名 北海道立根釧農業試験場 研究部 酪農施設科

3 はじめに

近年、酪農経営の大規模化の進行、労働力不足を背景として、家畜ふん尿の管理が十分になされず、環境汚染が懸念されるようになった。このような情勢の中で1999年7月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が制定された。2004年11月より罰則の適用が開始され、家畜ふん尿の管理の適正化と資源としての有効利用が求められている。

家畜ふん尿処理技術のうち、メタン発酵システムは①発酵処理過程でのアンモニア揮散がない、②消化液の肥効性が高い、③発生したメタンガスをエネルギー利用できるなどの利点がある。

寒冷地での共同利用型処理の場合、原料ふん尿の搬入方法や搬出・散布法について未検討の部分が多く、特に、搬入時の原料ふん尿の凍結によるトラブルは容易に推察されるので、各農家のふん尿貯留施設の凍結防止対策、およびプラントへの家畜ふん尿の搬入方法と、消化液および処理ふん尿の搬出方法、消化液の圃場還元方法について検討した。

なお、改正家畜伝染病予防法では、「家畜の所有・管理者」が飼養衛生管理基準に定められた事項を守ることとされ、管理基準の一つとして、「他の農場等に立ち入った車両が農場に出入りする場合には、当該車両の消毒に努めること」となっている。今回、検討した内容は、参加農家のふん尿を運搬し管理をする共同利用型バイオガスプラント側における衛生対策検討の基礎資料としても重要なものとする。

4 調査・試験方法

1. 搬入方法の検討

1) 対象農家の処理施設の概要

共同利用型バイオガスプラントにふん尿を搬入する対象農家の概況(表1)、およびスラリー処理農家のスラリー性状を調査した。

調査年月：2001年11月

調査項目：飼養形態、飼養頭数、ふん尿処理方法、スラリー粘度など

表1 対象農家の概況(2001.11)

農家	飼養形態	成牛頭数	処理方式	牛床・敷料	冬季間の問題点
A	フリーストール	71	スラリー	マットレス+オガクズ	凍結時の対応
B	フリーストール	64	スラリー	マットレス+オガクズ	凍結ふん尿は別処理
C	つなぎ飼い	64	堆肥	マットレス+残食など	積雪、凍結時の対応
D	つなぎ飼い	—	堆肥	コンクリート+長わら	(2003よりスラリー)
E	フリーストール	135	スラリー	マットレス+かんなくず	
F	つなぎ飼い	46	堆肥	おがくず+残食	積雪、凍結時の対応
G	つなぎ飼い	100	堆肥	麦桿	堆肥盤未整備
I	つなぎ飼い	60	堆肥	麦桿	トラックへ積み込み
J	つなぎ飼い	75	堆肥	残食	積雪、凍結時の対応
K	つなぎ飼い	42	堆肥	牧草	積雪、凍結時の対応

2) スラリー貯留時の凍結防止対策

一次貯留槽の簡易的凍結防止対策として、ピット搬出口に上屋を設置(2003年12月15日完了、3試験区共通)し、さらにピットの簡易凍結防止対策試験として表2に示す3試験区を設定し2004年1~3月に

温度計測した（写真 1、2）。なお盛土はバイオガスプラントの建設残土を用いた。

表 2 試験区の概要

	断熱材 (50mm)	盛土**
I 区 (断熱材+盛土：A 農家)	○	○(20cm)
II 区 (盛土のみ：E 農家)	—	○(25cm)
III 区 (無処理：B 農家)	—	—

*施工後は盛土をシートで被覆した。

**盛土高の決定は E 農家の盛土法面の土が作業用道路に侵入しない高さとした。

調査項目：外気温度、機械室温度、一次貯留槽内温度（下部より 50cm、100cm、200cm、300cm、400cm（上部空間温度））、盛土内温度（A 農家：上部より 20cm、25cm、E 農家：上部より 25cm）、乳牛ふん尿スラリーの固形分濃度および凍結深度（3 点：A 農家に設置）



写真 1 盛土処理前



写真 2 盛土処理後

3) ふん尿搬入作業の実態と作業能率

アームローラーを用いたスラリー、固形ふん尿の搬入作業の実態を調査するとともに、その作業能率について調査した。

調査項目：ふん尿搬入作業内容、各作業時間、運搬距離など

2. 搬出方法の検討

共同利用型バイオガスプラントから各農家へのふん尿搬出作業の実態と、その作業能率について調査した。また、圃場近傍の一時貯留施設（サテライト貯留施設）への搬出作業能率についても調査した。

調査項目：ふん尿搬出作業内容、各作業時間、運搬距離など

3. 散布方法の検討

1) スラリー散布機の作業能率

(1) スプラッシュプレート式スラリートンカの作業能率

供試機：スプラッシュプレートを装着したスラリートンカ（14500L、表 3）

散布ふん尿：バイオガスプラントの消化液

調査年月及び場所：2004 年 5 月、バイオガスプラント敷地内の試験圃場

(2) 浅層インジェクタの作業能率

供試機：B 社製スラリートンカおよび草地用浅層インジェクタ（表 4）

散布ふん尿：バイオガスプラントの消化液

調査年月及び場所：16年10月、根釧農業試験場内試験圃場（牧草地、250×125m）

（3）バンドスプレッダの作業能率

供試機：C社製スラリータンカおよびバンドスプレッダ（表5）

散布ふん尿：酪農家スラリー（乳牛ふん尿スラリー、水分：90%、粘度：約6000mPa・s）

調査年月及び場所：2004年10月、農家圃場（デントコーン収穫跡圃場、約190×80m）

表3 供試機主要諸元（スラリータンカ）

散布方式	スプレッダプレート（衝突板）式
散布幅（m）※	約17.5
タンカ容量（L）	14500
供試トラクタ馬力（PS）	117

※）散布跡から測定

表4 供試機主要諸元（インジェクタ）

インジェクタ型式	コルタ使用ホーススロット方式
散布幅（m）	5
吐出口数（本）	28
コルタ間隔（cm）	18
作業深度（cm）	3
ホース径（mm）	50
タンカ容量（L）	14000
タンカ+インジェクタ重量（kg）	9840
供試トラクタ馬力（PS）	180

表5 供試機主要諸元（バンドスプレッダ）

散布幅（m）	16
ホース本数（本）	48
ホース間隔（cm）	33
タンカ容量（L）	15000
タンカ重量（kg）	5800
タンカ重量（タワーポンプ込、kg）	6750
供試トラクタ馬力（PS）	200

5 調査結果及び考察

1. 搬入方法の検討

1) 対象農家のふん尿処理施設の概要

対象農家は10戸で（表1）、うちA、B、E農家がフリーストール式牛舎でスラリー処理となっている。

D農家は2003年度よりスラリー処理となった。

堆肥処理の農家では、堆肥盤にふん尿を堆積しているため冬季間のふん尿の凍結、降雪時の対応などに不安を抱える農家が多かった。また、フリーストール方式の農家では、牛舎内でふん尿が凍結してスラリー化できない寒冷期には堆肥盤等に堆積するために搬出経路を変更している農家があった。

スラリー処理の農家のふん尿性状は貯留ふん尿の温度が-1℃前後で過冷却状態であった。水分は91～92%で粘度も3000～5500mPsと高かった（表6）

2) スラリー貯留時の凍結対策

(1) 外気温度、機械室温度、地下ピット内温度および盛土内温度

各温度の測定は、2004年1月25日より開始したが、3農家共通の温度データが得られた期間は、2月5日～2月13日、3月1日～3月26日であったため、3農家の比較は3月1日から3月26日の27日間で行った。

図1にA農家の温度データを、表7に各農家の外気温度、機械室温度、地下ピット内温度、盛土内温度、牛舎内温度およびふん尿溝温度を示した。

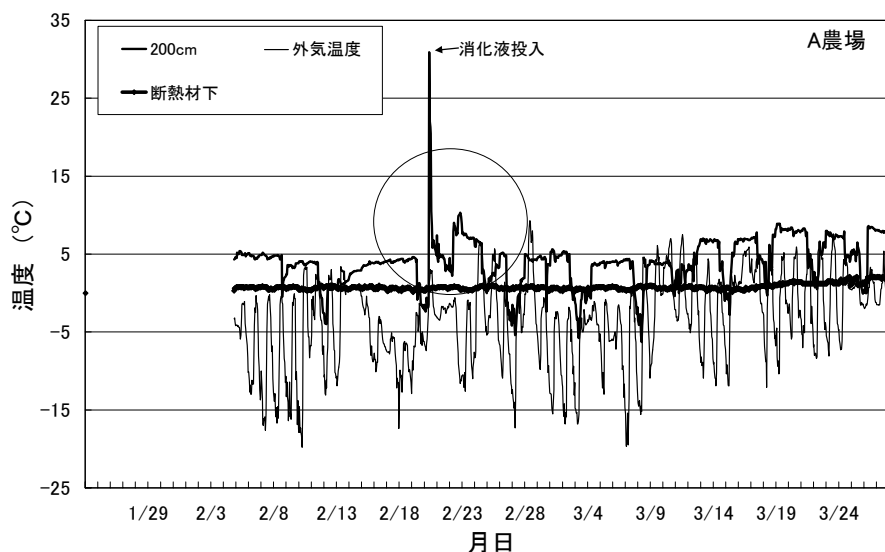


図1 A農家の温度変化

表6 スラリー処理農家のふん尿性状 (2001.12)

農家	月日	スラリー温(°C)	深さ(cm)	pH	ORP(mV)	DO(mg/L)	粘度(mPs)	水分(%)
A	12/11	-1.2	搬出中	7.54	-181	0.22	5500	90.66
B	12/11	採取不可	373					
E	12/11	-0.9	搬出中	6.82	-157	0.89	3000	92.05

表7 各農家における外気温、および機械室、地下ピット内、盛土内、牛舎内、ふん尿溝の温度

処理区	底部から	50cm	100cm	200cm	300cm	400cm	外気温度	機械室内	断熱材下	断熱材上	盛土	牛舎内温度	ふん尿溝
I区 (断熱材+盛土:A)	AVG	6.4	6.4	4.2	1.8	1.8	-2.6	-0.1	0.8	-0.5	—	—	—
	±SD	1.9	1.9	2.9	2.8	3.0	5.9	6.6	0.4	1.0	—	—	—
	MAX	9.5	9.5	8.9	8.5	10.6	7.6	11.8	2.1	1.3	—	—	—
	MIN	3.0	2.8	-6.3	-6.4	-7.6	-19.7	-16.3	0.1	-2.5	—	—	—
II区 (盛土のみ:E)	AVG	7.0	6.6	4.1	1.6	0.7	-2.2	0.7	—	—	0.9	-0.4	1.3
	±SD	0.3	0.6	2.7	2.2	2.3	5.0	6.1	—	—	0.4	6.5	2.9
	MAX	7.8	7.8	7.7	7.7	6.5	6.1	10.2	—	—	2.0	18.0	10.3
	MIN	6.1	5.3	-3.0	-3.9	-5.5	-19.8	-13.6	—	—	0.1	-16.4	-7.6
III区 (無処理:B)	AVG	3.5	3.3	1.9	0.1	0.7	-2.8	-0.6	—	—	—	—	—
	±SD	1.5	1.5	1.8	2.0	3.3	5.6	6.8	—	—	—	—	—
	MAX	5.9	6.1	4.8	4.6	13.4	7.3	10.3	—	—	—	—	—
	MIN	0.9	-1.3	-3.9	-7.0	-7.3	-18.5	-17.5	—	—	—	—	—

*ふん尿溝温度はE農家のみの測定、2003年3月1日から3月26日の集計

一次貯留槽内の最下部より 50cm 地点における 3 月 1 日から 3 月 26 日までの平均スラリー温度を比較すると、E 農家 (7.0℃) > A 農家 (6.4℃) > B 農家 (3.5℃) であった。

A 農家における断熱材上下間の温度は断熱材の直上部 (上部より 20cm) で最高 1.3℃、最低 -2.5℃、平均 -0.5℃ であった。断熱材の直下部 (断熱材と一次貯留槽の間、上部より 25cm) では最高 2.1℃、最低 0.1℃、平均 0.8℃ で 0℃ 以下とならなかった。E 農家における盛土内 (上部より 5cm) 温度は、最高 2.0℃、最低 0.1℃、平均 0.9℃ であった。

寒冷外気による温度の低下は、外気温度、機械室温度、地下ピット内温度および盛土内温度調査および凍結深度に関する調査から盛土により軽減できると考えられた。また、盛土直下への断熱材の設置は凍結深度を浅くする効果は認められたが、盛土のみと比べ、大きな違いはなかったことから、コスト面を考慮すると盛土のみで十分と考える。

土の高さについては今回検討できなかったが、プラント設置地区の凍結深度の調査により決定することが望ましい。また、ふん尿流入溝からの寒冷外気が一次貯留槽に侵入し、一次貯留槽内のヘッドスペース内温度を低下させることから、ふん尿流入溝の構造も含めた総合的な対策が必要と考える。

(2) A 農家における乳牛ふん尿の凍結

A 農家において、2004 年 1 月 7 日、1 月 30 日および 2 月 21 日に地下ピット内のスラリーが凍結した。このため、バイオガスプラントの殺菌槽内液を用いて融解処理を行った。午前中にピット内に殺菌槽内の温度の高い消化液を投入し、午後より搬出する方法を用いた。投入量はそれぞれ 14.83t、22.38t、18.33t であった。なお、B、E 農家では一次貯留槽内の凍結はなかった。

A 農家のスラリー凍結の要因は、①流入する乳牛ふん尿スラリーの固形分濃度が高い。②一次貯留槽に設置された攪拌・汲み上げポンプの攪拌能力が不足しており、この固形分濃度に対応できていない。

この解決方法として、長時間の攪拌によるスラリーの流動化、攪拌ポンプの能力向上が考えられる。

(3) 土壌凍結深

表 8 に各試験区の凍結深度および積雪深を示す。各区の凍結深度は調査した 2 月 6 日に最大であった。I、II 区共に対照区である III 区と比較すると明らかに凍結深度が浅くなった。I 区と II 区の凍結深度を比較すると I 区の方が浅く、断熱材の効果が認められた。

(4) スラリーの固形分濃度

表 9 に各農家における固形分濃度を示す。A 農家のスラリーの固形分濃度は他の農家に比べ高かった。また、A 農家では 1 月 20 日よりパーラー排水が一次貯留槽に投入されるようになったが、他の農家に比べ固形分濃度は高く推移した。

表 8 各試験工法における土壌凍結深 (cm) および積雪深 (cm)

調査月日 (2004)	I 区* : 断熱材 (5cm) + 盛土 (20cm) GL+25	II 区* : 盛土 (20cm) GL+20	III 区 : 無処理	凍結深度計 設置場所の積雪深
1 月 20 日	7.0	8.5	28.5	15
2 月 2 日	9.0	12.0	30.5	20
2 月 5 日	10.0	15.0	34.5	19
2 月 6 日	11.5	14.5	36.0	17
2 月 15 日	11.0	14.5	35.5	16
2 月 22 日	11.5	15.0	34.0	25

* I、II、III 区とも GL=0 からの凍結深度。A 農家に模擬的な条件で設置、計測した。

表9 各農家における固形分濃度

	A 農家			E 農家			B 農家		
	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1
採取月日 (月/日)	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1	1/20	2/22	3/1
固形分濃度 (%)	8.87	7.50	7.56	5.43	5.31	5.62	5.32	5.51	5.93

3) ふん尿搬入作業の実態と作業能率

ふん尿の搬入に使用されている運搬車はアームロール車と呼ばれ、トラックの台車にスラリー運搬・散布用のタンクあるいは、固形ふん尿運搬用のコンテナを搭載する（表10、写真3、4）。

表10 ふん尿搬入・搬出用作業機械の主要諸元

アームロール車		スラリー運搬・散布用タンク		ふん尿運搬コンテナ	
全長 (mm)	8020	形状	円筒	荷台形状	舟底一方開
全高 (mm)	3160	積載容量 (L)	8500	全長 (mm)	5610
全幅 (mm)	2490	ポンプ	外部ポンプ	全幅 (mm)	2470
重量 (t)	11.4	散布方法	衝突板	内法高 (mm)	1400
馬力 (PS)	325	散布幅 (m)	10~11	重量 (kg)	1900
最大積載量 (kg)	8100	吐出能力 (L/min)	1000~1200 (清水)	積載容量 (m ³)	15.4
変速段数	5	内面処理	溶融亜鉛メッキ	材質/板厚 (mm)	スチール/3.2



写真3 アームロール車の外観（右）と搭載時の状況（左）



写真4 アームロール車によるコンテナの搭載状況（左）とプラントでの排出作業状況（右）

(1) スラリー

①搬入方法

アームロール車にスラリートankを搭載して搬入する（写真3）。

搬入方法はプラントでスラリートankを搭載して各農家に移動し、スラリートankからピットに備え付けられたポンプでスラリーを投入してプラントに戻る。バイオガスプラントの原料スラリー投入口にホースを接続してスラリーを排出した後、搬入農家に移動する（図2）。

②作業能率

ふん尿粘度が高い農家では積み込み直前に攪拌が必要なことから、移動以外の時間が 1829 秒と粘度の低い農家の2倍以上を要していた。移動も含めた作業能率は 1.5 台/h であった。粘度の低いスラリー搬入時の作業能率は 3.2 台/h となり、搬入スラリーは十分に攪拌して粘度を下げた方が作業性が良いと考えられる。

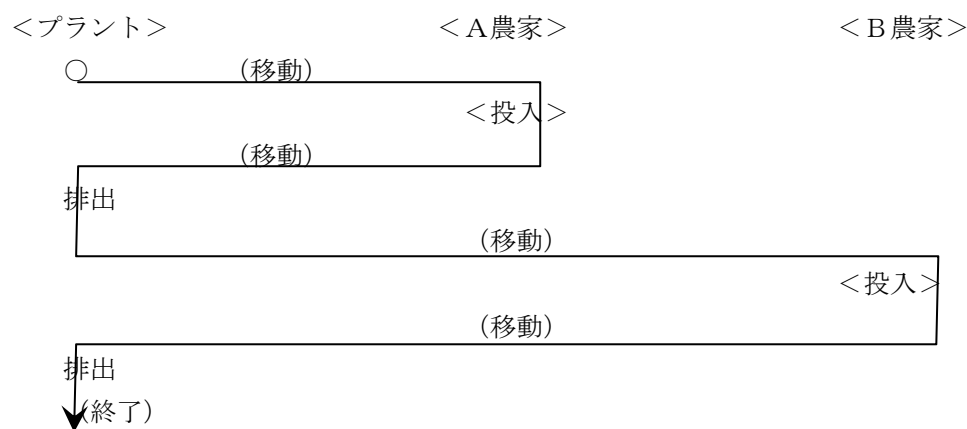


図2 スラリーの搬入方法の模式図

表 11 スラリーの運搬作業能率

ふん尿 粘度 (mPa·s)	1台あたりの作業時間 (秒、カッコ内は分)					総時間 (秒)	能率 (台/h)	往復距離 (km)	
	移動	攪拌	投入 (農家)	排出 (プラント)	その他				
11000	578	495	344	433	557	1829 (30.5)	2407	1.5	4.4
1800	310	0	224	350	251	825 (13.8)	1135	3.2	2.6

(粘度高低それぞれ7台、9台分の平均、ふん尿粘度の計測は11/19)

(2) 固形ふん尿

①搬入方法

アームロール車にコンテナを積載して搬入する（写真4）。

固形ふん尿の搬入は、プラントから最初の農家まではコンテナを搭載しないで移動し、農家でふん尿を溜めたコンテナを搭載してプラントに戻り、固形ふん尿受け入れ口に排出する。空になったコンテナを再度農家のバークリーナ下部に設置した後、次の農家のコンテナ回収に移動する（図3）。

②作業能率

5台の調査結果から、固形ふん尿の搬入時の作業能率は、コンテナの搭載が61秒、プラントでの排出が98秒であった。排出した後のコンテナ及び運搬用トラックの洗浄に135秒を要している。空になったコンテナを農家のバークリーナ下部に設置するのに100秒を要していた。移動距離が4kmでの作業能率は

プラント内でコンテナからふん尿を排出する時にふん尿が流出して、アームローラー車の後輪を汚染する。この汚染が次第に広がる。また、排出後に運搬コンテナ、トラックを洗浄するが、この洗浄場所の排水勾配によっても周囲が汚染される（写真5）。

搬入したふん尿による車両の汚染や流出したふん尿の上を走行することによる汚染拡大を防止するためには、コンテナふん尿の排出場所および洗浄場所の勾配、構造を図4のように変更することが必要である。

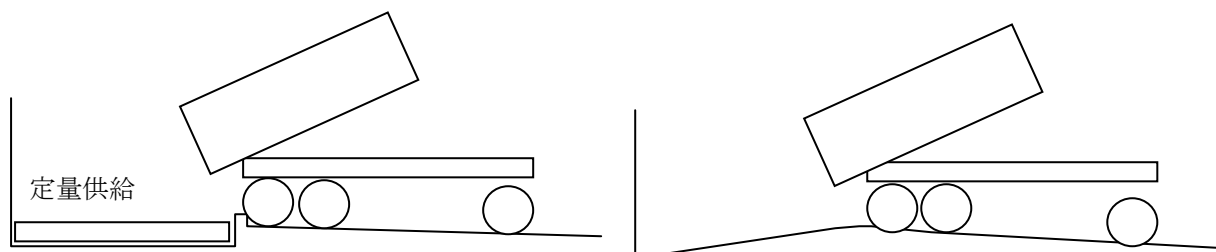


図4 固形ふん尿搬入時の汚染対策

2. 搬出方法の検討

1) 消化液・堆肥の搬出方法

遠隔地の圃場散布のためプラントから約 5.4km の場所に消化液のサテライト貯留槽が設置されている。このサテライト貯留槽へはプラントの管理人が適宜、消化液を搬出運搬している。

参加農家の庭先等への運搬作業はなく、各農家が散布と同時作業でプラントからまたはサテライトから各圃場へ消化液及び堆肥を搬出し散布している。

2) ふん尿搬出作業の実態と作業能率

(1) スラリー

①サテライト貯留槽への搬出

バイオガスプラントとサテライト貯留施設との距離は往復で約 11km であった（表 13）。この移動に 911 秒を要していた。消化液はプラント内の貯留槽のレセプションピットに設置されたポンプで運搬車に投入するが、その時間は 175 秒であった。サテライトでは運搬車のポンプで加圧してレセプションピットに 464 秒で排出した。

作業能率は 1.92 台/h であった。

②農家圃場への搬出・散布

各農家への消化液の搬出・散布は、農家所有のスラリータンカを用いている。調査時のスラリータンカは 14500L の容量であった。

プラントでの消化液の積み込み時間は 251 秒であった。圃場への往復に 627 秒、圃場内の散布時間は 260 秒であった。消化液の搬出・散布能率はこの移動距離の場合約 2.9 台/h であった。

(2) 堆肥

①農家圃場への搬出・散布

プラントで発酵処理した堆肥の搬出・散布についても各農家所有のマニユアスプレッダを利用している。調査時のマニユアスプレッダは TMS7000（スター農機製）であった。

圃場までの往復距離は2.7kmで移動時間は308秒であった。散布作業時間は240秒で、堆肥の搬出・散布能率は約3.3台/hであった。

表 13 消化液のサテライト貯留槽への搬出作業能率 (3台の平均)

移動	搬出1台あたりの作業時間 (秒、カッコ内は分)			移動以外の作業時間 (秒)	総時間 (秒)	能率 (台/h)	往復距離 (km)
	消化液排出 (サテライト)	消化液投入 (プラント)	その他				
911	464	175	326	965 (16.1)	1876	1.9	10.8

表 14 消化液の搬出・散布作業能率 (3台の平均)

移動	搬出1台あたりの作業時間 (秒、カッコ内は分)			移動以外の作業時間 (秒)	総時間 (秒)	能率 (台/h)	往復距離 (km)
	圃場散布	消化液積み込み (プラント)	その他				
627	260	251	115	626 (10.4)	1253	2.9	3.2

運搬・散布タンカ容量：14500L

表 15 堆肥の搬出・散布作業能率 (2台の平均)

移動	搬出1台あたりの作業時間 (秒、カッコ内は分)			移動以外の作業時間 (秒)	総時間 (秒)	能率 (台/h)	往復距離 (km)
	圃場散布	堆肥積み込み (プラント)	その他				
308	240	292	241	773 (12.9)	1081	3.3	2.7

使用マニユアスプレッダ：TMS7000 (スター農機製)

3) ふん尿搬出時の汚染対策

(1) スラリー

汚染箇所は消化液投入時の操作ミスによる溢れと圃場での散布時のタンクおよびタイヤである。

汚染防止対策としては、投入ポンプの自動停止装置の設置や消化液が溢れても運搬車両等のタイヤに付着させないために投入場所をスノコ状にすることなどがある。散布時の汚染については、圃場への出入り時に散布した場所を通らないなど、散布経路を事前に検討しておく必要がある。

(2) 堆肥

汚染箇所は堆肥舎内での堆肥積載時のタイヤおよび散布時のタイヤがあげられる。

汚染防止対策としては堆肥舎に入らないで済むような積載方法の検討と、重複散布を避けるなど散布経路の見直しが必要となる。

3. ふん尿散布法の検討

1) スラリー散布機の作業性能

(1) スプラッシュプレート式スラリータンカの作業能率

圃場から貯留槽間の距離はおおよそ200mであった。試験時はタンカ1台ごとに消化液の重量を測定し、供試圃場区画(110×60m)に対して散布量が約4.5t/10aとなるように、速度の調整や区画内で重複散布した。

総散布量は約31.1t(3台)で、供試圃場区画(0.66ha)に対する散布量は全体で約4.7t/10aであったが、圃場の部分的な区域では最大で3.5倍(2.4~8.5t/10a)の散布むらが発生した。のべ作業面積(約1.2ha)

に対する散布量は約 2.7t/10a であった。

総作業時間は約 43 分、平均作業速度は 1.27m/s (0.68~1.69m/s) であり、のべ作業面積に対する作業能率は 1.6ha/h であった。作業内訳では貯留槽への移動時間も含めた補給作業時間が 66.9%と大部分を占め、散布作業時間が 23.7%、巡回時間は 9.4%であった。

表 16 スプラッシュプレート式スラリータンカ作業能率

散布幅 ¹⁾ (m)	平均作業速度 (m/s)	のべ作業面積 ²⁾ (ha)	総作業時間 (分)	作業能率 ²⁾ (ha/h)	作業内訳(%)			
					作業	巡回	補給(移動含む)	合計
17.5	1.27(0.68~1.69)	1.2	42.6	1.6	23.7	9.4	66.9	100

1)散布跡から測定

2)実際の作業では重複散布を行ったため、作業能率はのべ作業面積(総作業長×散布幅:660×17.5=11550m²)から算出。

(2) 浅層インジェクタの作業能率

供試インジェクタの散布幅は 5m、吐出口数は 28 で、間隔は 18cm である。供試ふん尿は水分が約 96%、粘度が約 440mPa・s であった。

能率試験に先立って、散布量が約 2t/10a となるような設定ポンプ圧と作業速度を決定するため、インジェクタの吐出量を測定した。測定に際しては、散布時のインジェクタの状態を再現するために供試圃場の隅に 8m×3m×深さ 80cm の穴を掘削した。穴の底に容器(約 20L)を並べ、インジェクタを散布時同様に下ろした状態で消化液を吐出(ポンプ圧:0.3bar、0.5bar の 2 段階)して各吐出口からの消化液を受け止め、時間あたりの吐出量を求めた。

能率試験時の消化液の補給は、全 6 回のうち 1 回はバイオガスプラントまで移動して行い、他の 5 回は別のスラリータンカ 2 台(6000L、8500L)でプラントから圃場まで消化液を搬送し、圃場内で行った。なお、圃場からプラント間の距離は約 1km である。

①ポンプ圧、作業速度の決定

設定ポンプ圧 0.3bar における平均吐出量は 22.3kg/s、0.5bar では 25.3kg/s であり、吐出口間の変動係数(c.v.)はそれぞれ 5.1%、5.7%であった(表 17)。設定ポンプ圧 0.5bar での吐出量は、全体では 0.3bar の場合よりも増加したが、両端部付近には明瞭な差がみられず(図 5)、その分変動係数が大きな値を示した。

分配器(ディストリビュータ)から吐出口へ伸びるホースは両端部に近いほど長い。ポンプ圧を増加したことで流速とともに消化液の粘性抵抗が増加し、その影響がホースの長い両端部付近に大きく現れたために、両端部付近の吐出量が上昇しなかったと推察される。

表 17 浅層インジェクタの吐出量

設定ポンプ圧 (bar)	平均吐出量			
	全体 (kg/s)	1口あたり (kg/s)	stdev. (kg/s)	c.v. (%)
0.3	22.3	0.8	0.041	5.1
0.5	25.3	0.9	0.052	5.7

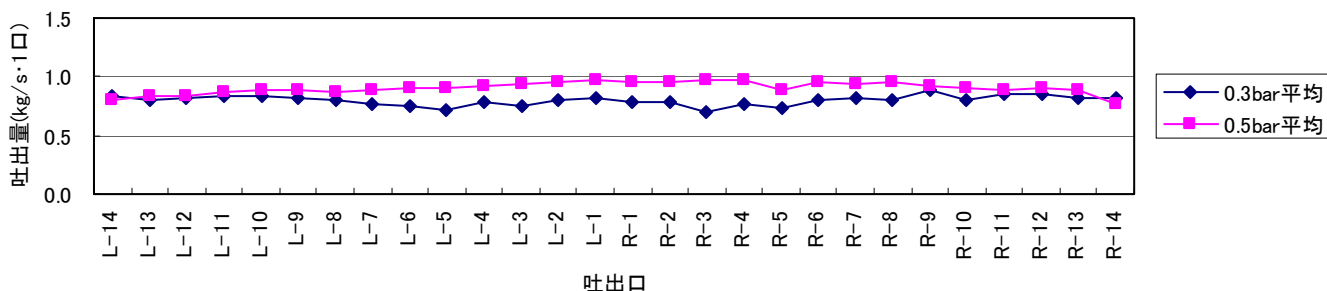


図 5 吐出量分布(浅層インジェクタ)

以上の結果から、能率試験時の設定をポンプ圧 0.3bar（吐出量 22.3kg/s）、作業速度 7km/h（約 1.9m/s）と決定した。計算上の散布量は 2.3t/10a である。

②作業能率

作業面積 3.1ha に対して総作業時間は約 156 分、平均作業速度が 1.95m/s で、作業能率は約 1.2ha/h であった（表 18）。総作業時間のうち実際の散布作業時間が 33.9%、巡回時間が 11.4%、補給時間が 36.7%、移動時間が 15.7%で、作業中のトラブルが 2.3%であった。トラブルは作業機の下ろし忘れや吐出忘れ等、オペレータの操作ミスが原因となるものであった。

表 18 浅層インジェクタの作業能率

散布幅 (m)	平均作業 速度 (m/s)	作業面積 ¹⁾ (ha)	総作業 時間 (分)	作業能率 (ha/h)	作業内訳(%)					
					作業	巡回	補給 ²⁾	移動 ³⁾	トラブル ⁴⁾	合計
5.0	1.95	3.1	155.9	1.2	33.9	11.4	36.7	15.7	2.3	100
			127.8	1.5	41.4	13.9	44.7			100

1) 圃場区画: 250×125m

2) 補給回数全6回のうち、1 回目のみバイオガスプラントまで移動して補給、他は別の2台のタンカ(6000L, 8500L)で圃場まで消化液を運搬し、圃場内で補給を実施

3) 移動は圃場内での移動と圃場-バイオガスプラント間(約1km)の移動の合計時間

4) トラブルは作業機を下ろさずに空走、吐出忘れなど操作ミス

なお、下段は移動とトラブルを除いた値

補給時間は、移動時間も含めると全体の約 5 割を占めた。全 6 回の補給のうち 5 回を圃場内で実施したが、実際の利用場面の多くでは、散布圃場から貯留槽の設置場所まで移動して補給することが想定されるため、本試験と同様の作業速度とポンプ圧設定の場合、本結果よりも作業能率が低下すると考えられる。

(3) バンドスプレッダの作業能率

供試したスラリーは乳牛ふん尿スラリーで、水分：90%、粘度：約 6000mPa・s であった。

供試したバンドスプレッダの散布幅は 16m、ホース本数は 48 で、間隔は 33cm である。試験中、スラリーの補給は圃場から農家のスラリー貯留槽まで移動して行った。圃場と貯留槽の距離は約 200m である。

供試機には流量計および流量制御弁が装備されており、予め設定した散布量となるように吐出量が走行速度に応じてコントロールされる。本試験では散布量が 2t/10a となるように設定して、作業能率を調査した。

作業面積約 1.5ha に対し総作業時間は約 24 分、平均作業速度は 2.1m/s で、作業能率は約 3.7ha/h であった（表 19）。総作業時間のうち散布作業時間が 31.7%、巡回時間が 7.1%で、補給時間（移動時間を含む）は 61.2%と大部分を占めた。

表 19 バンドスプレッダの作業能率

散布幅 (m)	平均作業 速度 (m/s)	作業面積 ¹⁾ (ha)	総作業 時間 (分)	作業能率 (ha/h)	作業内訳(%)			
					作業	巡回	補給 ²⁾	合計
16.0	2.10	1.5	24.1	3.7	31.7	7.1	61.2	100

1) 圃場区画: 約190×80m

2) 補給時間は圃場内移動と圃場～貯留槽間(約200m)の往復時間も含む

6 残された課題

スラリー搬入農家の凍結防止対策については断熱等を試みたが、十分な攪拌ができなかった農家では貯留ふん尿が凍結した。そのため、この凍結防止対策の改善とその効果確認が必要である。

7 おわりに

1) ふん尿の種類による搬入作業能率

今回の調査対象であるバイオガスプラントでは処理可能なふん尿形態はスラリーのみであるため、つなぎ飼料牛舎で敷料を多量に使用している参加農家の6割の固形ふん尿については、固液分離して液分をバイオガスプラントへ送り、固形分は堆肥化処理するという方式をとっている。このため、バイオガスプラントとして必要な人員の他に、固液分離・堆肥処理過程に追加の作業人員が必要となっている。また、運搬についてもスラリー体系と固形ふん尿体系という2系統を持つ必要がある。これは、プラント建設費およびランニングコストの増加の大きな要因となっている。

そこでこの問題を解決する一つの方法として、バイオガスプラントの発酵施設に、敷料が多量に混入したものでも対応できる方式を採用することで、このような固液分離・堆肥化施設は不要となる。

また、搬入農家のふん尿処理方式をD農家のようにスラリー処理に変更することで図3の運搬体系が図2のスラリー処理体系に変更になることからスラリーでの搬入作業の方が空での移動が少ないことから、往復の移動距離は10.1kmから5.2kmとほぼ半減し、運搬台数ベースでのアームロール車による搬入作業能率も1.8台/h(11.2t/h)から2.4台/h(13.0t/h)に向上することが確認できる(表20、21)。

表20 固形ふん尿の搬入作業シミュレーション

移動	搬入1台あたりの作業時間(秒)						移動時間を除いた能率 (台/h)	移動距離 (km)
	搭載 (農家)	排出 (プラント)	洗浄	設置 (農家)	その他	総作業時間		
1058	116	166	274	91	305	2010	1.8	10.1

注：プラントー農家間の距離は各1.3km、農家間は2.3km。運搬車の固形ふん尿の積載可能量は6.2t/台。

表21 スラリーでの搬入作業シミュレーション

移動	1台あたりの作業時間(秒)					移動時間を除いた能率 (台/h)	移動距離 (km)
	攪拌	投入 (農家)	排出 (プラント)	その他	総作業時間		
637	0	224	350	305	1516	2.4	5.2

注：プラントー農家間の距離は各1.3km、農家間は2.3km。運搬車のスラリーの積載可能量は5.4t/台。

堆肥処理施設を持たない場合はこのような搬入作業の高能率化の他、固液分離・堆肥化のための作業および施設の削減、汚染可能箇所への削減、搬入設備(コンテナ)の削減等のコストや衛生管理面でも非常に有利となる。

2) 搬入作業のシミュレーション

これまで、プラントへの搬入作業能率を運搬車両台数で示してきた。ここでは、運搬するふん尿の重量での作業能率を検討した。また、現状のスラリーと固形ふん尿での搬入の場合と全量スラリーでの運搬の場合の運搬可能範囲について検討した。

(1) スラリーの搬入作業

スラリーでの作業能率は、現状のアームロール車での運搬作業能率と、全量スラリーとなった場合にはスラリータンカーをトラクタで牽引する方式での運搬作業能率とした。

結果を表 22 に示した。運搬速度は現状のアームロール車が 29.4km/h で、改善のトラクタ牽引時が 18.4km/h と現状の方が約 1.6 倍高速であり投入・排出も短時間であるが、一回の運搬重量が約 2.4 倍と改善の方が多くなることから、1 時間あたりの搬入能率は現状の 14.6t/h に対して、全量スラリーとしてスラリータンカーに変更した改善区では 19.9t/h と約 1.4 倍の搬入能率となった。

表 22 スラリーでの搬入作業

運搬条件	運搬重量 (kg)	移動 距離 (km)	移動 時間 (秒)	走行 速度 (km/h)	投入 (秒)	排出 (秒)	その他 (秒)	総作業 時間 (秒)	搬入能率 (t/h)
現状	5400	5.2	637	29.4	151	236	305	1329	14.6
改善	13050	5.2	1017	18.4	406	634	305	2363	19.9

現状の運搬重量は、最大積載量から逆算。

改善はスラリータンカー（トラクタ牽引、14500L）で運搬した場合。運搬量は容量の 90%とした。

プラント～農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。走行速度などは現地調査を基に算定した。

(2) 固形ふん尿の搬入作業

固形ふん尿の場合には、一台あたりの作業能率に運搬重量を適用することで表 23 のように試算され、搬入能率は 10.8t/h となった。

表 23 固形ふん尿での搬入作業

運搬条件	運搬重量 (kg)	移動 距離 (km)	移動 時間 (秒)	走行 速度 (km/h)	排出 (秒)	洗浄 (秒)	設置 (秒)	その他 (秒)	総作業 時間 (秒)	搬入能率 (t/h)
現状	5400	10.1	1058	34.4	75	274	91	305	1803	10.8

現状の運搬重量は最大積載量から逆算。プラント～農家間の距離は各 1.3km、農家間は 2.3km。

3) 運搬距離のシミュレーション

搬入するふん尿量を対象頭数 1000 頭として設定した場合の運搬可能量から最大の運搬距離を求める。表 1 のふん尿の処理方式別の飼養頭数からスラリーと固形ふん尿を 50 : 50 とした。また、運搬車の移動速度は、表 11、14 から概算した。

(1) 現状と同じふん尿の搬入：スラリー、固形ふん尿の運搬作業の場合

搬入量：スラリー 50% (32.5t/日)、固形ふん尿 50% (25t/日、ふんのみ)

作業可能時間：6 時間/日

表 24、25 から合計作業時間が 6 時間となるのは平均の農家距離が 5.5km のときである。

(2) 運搬を全てスラリーとし、スラリータンカーで搬入した場合

移動速度を 30km/h とした場合、表 26 から合計作業時間が 6 時間となる平均の農家距離は約 8.0km の時となる。

表 24 スラリーの運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
32.5	5.4	6	1.0	12.0	35	1234	4152	5386	1.5
32.5	5.4	6	2.0	24.0	35	2469	4152	6621	1.8
32.5	5.4	6	4.0	48.0	35	4937	4152	9089	2.5
32.5	5.4	6	5.0	60.0	35	6171	4152	10323	2.9
32.5	5.4	6	5.5	66.0	35	6789	4152	10941	3.0
32.5	5.4	6	6.0	72.0	35	7406	4152	11558	3.2

表 25 固形ふん尿の運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
25	5.4	5	1.0	12.0	35	1234	3725	4959	1.4
25	5.4	5	2.0	24.0	35	2469	3725	6194	1.7
25	5.4	5	4.0	48.0	35	4937	3725	8662	2.4
25	5.4	5	4.5	54.0	35	5554	3725	9279	2.6
25	5.4	5	5.0	60.0	35	6171	3725	9896	2.7
25	5.4	5	5.5	66.0	35	6789	3725	10514	2.9
25	5.4	5	6.0	72.0	35	7406	3725	11131	3.1

表 26 スラリータンカーによるスラリーの運搬距離と作業時間

搬入ふん量 (t)	タンク (t)	台数 (台)	距離 (km)	運搬距離 (km)	速度 (km/h)	時間 (秒)	移動以外 (秒)	合計時間 (秒)	合計時間 (h)
65	13.05	5	1.0	10.0	20	1800	6725	8525	2.4
65	13.05	5	2.0	20.0	20	3600	6725	10325	2.9
65	13.05	5	4.0	40.0	20	7200	6725	13925	3.9
65	13.05	5	7.0	70.0	20	12600	6725	19325	5.4
65	13.05	5	8.0	80.0	20	14400	6725	21125	5.9
65	13.05	5	9.0	90.0	20	16200	6725	22925	6.4

スラリータンカーの容量：14500L

3) サテライト貯留の効果

散布圃場の近くに補助的な貯留槽を設置（以後、サテライト貯留槽と呼ぶ）した場合の消化液の散布作業能率について検討した。サテライト貯留槽への消化液の運搬は、散布作業とは別の時期に運搬することから散布作業能率には影響しないとして、この比較計算からは除外した。

<条件>

散布機：14.5m³のスラリータンカーをトラクタで牽引。

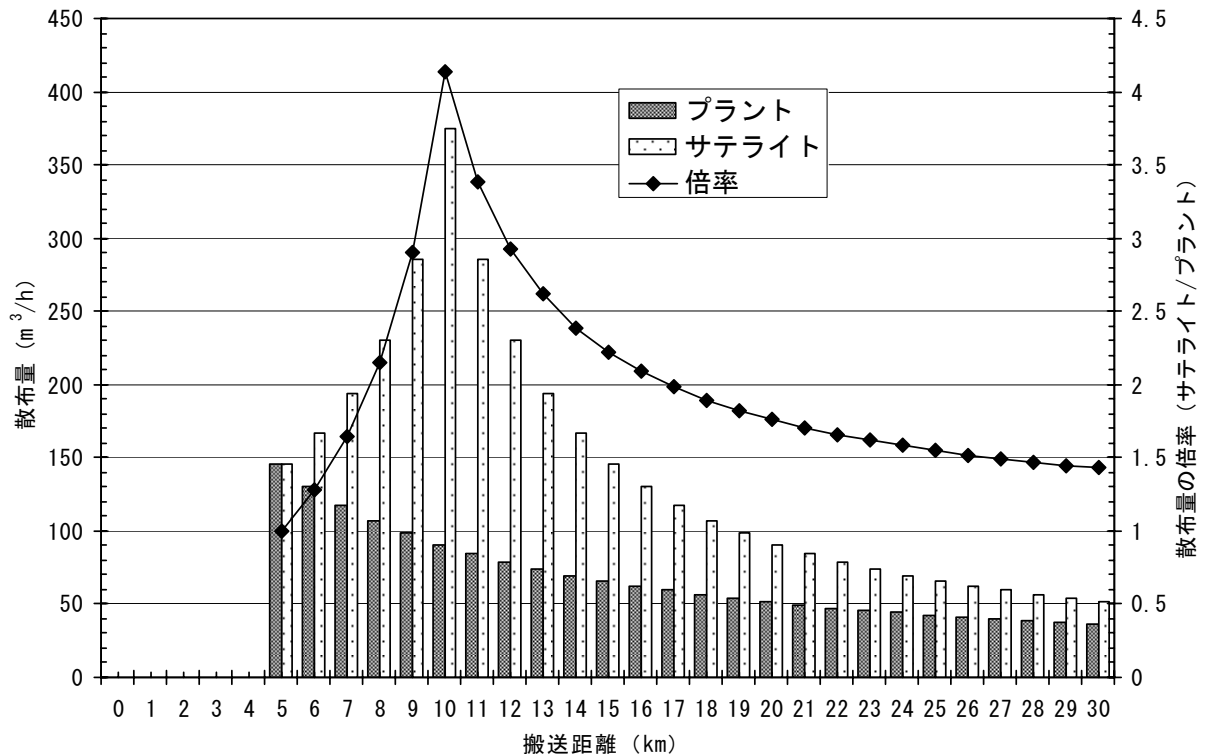
移動速度：約 18.4km/h（1km を 196 秒で走行）

散布作業：260 秒

積み込み作業：251 秒

その他の作業：115 秒

プラントとサテライト貯留槽の距離：5km



補足図1 サテライト貯留槽を用いた場合の散布量変化

補足図1から、散布量が2倍以上となるのは搬送距離が17kmとなり、サテライトからプラント側1kmからプラントと反対側の3.5kmのところまでとなる。ただし、これはプラントとサテライト貯留槽を結んだ直線上での数字であり、実際の場面では道路配置から求めたプラントとサテライト貯留槽からの運搬距離により、散布量を比較する必要がある。

以上のように、共同利用型バイオガスプラントを設計する場合には、対象とする地域のふん尿処理形態に合わせた発酵処理方式を採用して搬入後のふん尿処理をメタン発酵のみとするか、参加農家のふん尿処理方式をスラリー処理に変更して原料ふん尿の搬入作業を単純化すると考える。