



資源循環機能を生かす堆肥化処理技術

—大型酪農経営への導入に向けた課題と展開条件—



2013年9月

農研機構 畜産草地研究所

技術レポート 14 号

資源循環機能を生かす堆肥化処理技術

—大型酪農経営への導入に向けた課題と展開条件—

の刊行にあたって

ここ数年来の牛乳消費の低迷や飼料価格の高騰、口蹄疫や東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所事故からの復興など、酪農業が抱える課題が山積する中で、日本の酪農経営が置かれる状況は今後いっそう厳しさを増すことは想像に難くない。このような状況の中で、多くの生産者は多頭化や共同化による経営の規模拡大や効率化によって経営基盤の強化を図り、今後の酪農経営の活路を見出そうとしている。

他方で、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（家畜排せつ物法）が 1999 年に制定されてから 14 年が経過した現在、生産者、消費者ともに環境保全型酪農への意識が広く定着した。酪農農場は安全で栄養価の高い牛乳を生産する場であることはもちろんのこととして、自給飼料生産基盤に立脚して堆肥の適正な利用により環境負荷を軽減する中で、国土の保全と有効活用、さらには食料自給率の向上が期待されている。国も酪農に潜在するこれらの機能を重視しており、2011 年から農林水産省の酪農環境負荷軽減支援事業が開始されたところである。

このような背景を受けて、農研機構畜産草地研究所はアサヒグループホールディングス（株）豊かさ創造研究所との共同研究「吸引通気式堆肥化システムによる温室効果ガス発生低減効果の検証と改善技術の開発」を 2009 年から 4 年間実施してきた。本共同研究では、農研機構畜産草地研究所が環境負荷を軽減する目的で開発した吸引通気式堆肥化システムを基盤技術として取り上げ、本技術が酪農経営に与える影響と、環境保全型、あるいは資源循環型酪農経営にもたらす効果を検証してきた。本レポートは、これら 4 年間の成果を中心に取りまとめたものであり、今後の酪農業の展開に向けて、技術的な一助となることを願っている。

平成 25 年 9 月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産草地研究所 所長 土肥 宏志

目次

第1章 本レポートの背景と目的

1) 日本での酪農経営の構造変化	1
2) 大型酪農経営の特徴	
(1) 経営的側面	2
(2) 技術的側面	5
3) 大型酪農経営におけるふん尿の処理・利用と資源循環	
(1) 酪農業における家畜ふん尿処理方法	6
(2) 堆肥化処理の特徴	7
(3) 吸引通気式堆肥化処理システム	8
4) 本レポートの目的	9

第2章 資源循環機能を生かした個人型大型酪農経営の調査結果

1) A 牧場の経歴	10
2) A 牧場の経営概要	12
3) 吸引通気式堆肥化システムの導入と堆肥化処理の流れ	13
4) 堆肥の品質	17
5) 堆肥の利用	18
6) 土壌の経年変化	19
7) 粗飼料(サイレージ)成分の経年変化	20
8) 発酵熱の回収と温湯利用の試み	20
9) 吸引通気式堆肥化システムのコスト	25

第3章 資源循環機能を生かした企業型大型酪農経営の調査結果

1)B 牧場の経歴	27
2)B 牧場が立地する山東省萊陽市について	28
3)B 牧場の経営概要	30
4)吸引通気式堆肥化システムの導入と堆肥化処理の流れ	32
5)牛舎、パドックからの牛ふんの回収	34
6)副資材の検討	34
7)堆肥の品質	36
8)発酵熱の回収の試み	38

第4章 資源循環機能を生かした大型酪農経営の今後の課題と展開条件

1)大型酪農経営での堆肥化処理	
(1)堆肥化処理のコストの考え方	40
(2)堆肥化処理の技術的課題	40
(3)副資材の調達	41
2)大型酪農経営と循環型酪農経営の両立	
(1)ほ場面積と立地条件	43
(2)堆肥化処理の外部化の可能性	44
(3)酪農経営での耕種部門の内包化の可能性	44
3)技術開発の方向性	
(1)堆肥の高機能化、高付加価値化	45
(2)堆肥とエネルギー	46
【引用文献】	47

第1章 本レポートの背景と目的

1) 日本での酪農経営の構造変化

最新のH23年現在の畜産統計を見ると(農林水産省、2011)、酪農業における最近10年間の飼養頭数は、北海道で微減、都府県では25%減少しており、飼養戸数もまた北海道で2割減、都府県で4割減といずれも縮小傾向が続く。一方で、1戸あたりの飼養頭数は北海道で89頭から110頭に、都府県で39頭から47頭に増加しており、乳牛飼養の集中化が進んでいる(図1、2)

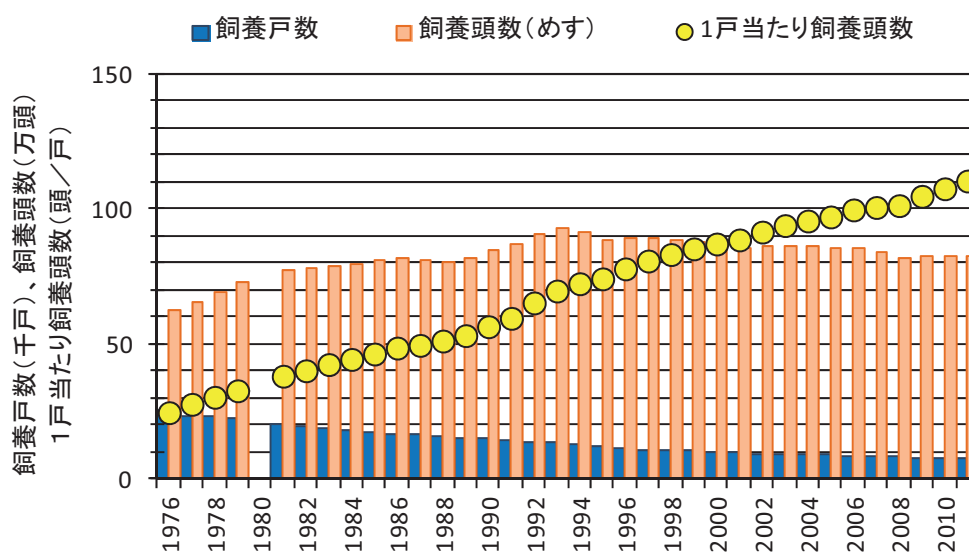


図1 飼養戸数、頭数の変化(北海道)

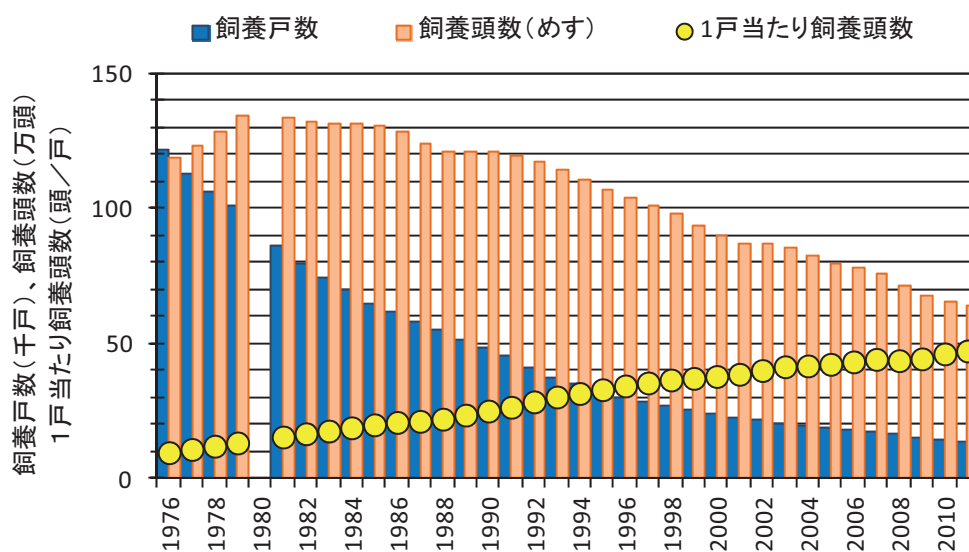


図2 飼養戸数、頭数の変化(都府県)

酪農生産者を成畜頭数規模別に整理してこれらの傾向をさらに詳しくみると、飼養頭数や戸数が1994年から2011年にかけて大きく減少した区分は北海道では成牛80頭未満であり、100頭以上の経営体では飼養戸数、飼養頭数が共に増えている(図3)。100頭以上の経営体が80頭未満で減少した飼養頭数の受け皿となって、結果的には北海道での飼養頭数の減少が低く抑えられている。一方で、都府県についても80頭未満の減少と100頭以上の増加の傾向が見られるものの、これらの増減は北海道ほどにはバランスが取れてはおらず、80頭未満の減少に対して100頭以上の増加が対応しきれていない(図4)。結果的に、都府県では図2の通り飼養戸数だけでなく飼養頭数も大きく減少している。

成畜頭数規模別に経営耕地の面積と、これらを飼養頭数1頭あたりの経営耕地面積に換算して整理したものが図5、6である。北海道では80頭未満の経営で減じた経営耕地の多くが100頭以上の経営に集積される傾向にあり、この区分の経営体は飼養頭数も増えているために、ここ数年は1頭あたり0.4haの経営耕地面積でほぼ安定している。一方で、都府県の100頭以上の経営では、経営耕地面積はここ数年で微増しているものの依然として低水準であり、1頭あたりの耕地面積は0.1haを下回ってむしろ減少傾向にある。

以上を整理すると、現在の北海道は、成畜頭数80頭未満の中小の経営形態のほか、成畜頭数100頭以上の大型経営をもう一つの経営形態とする2極化の様相を示すようになり、道内での飼養頭数をほぼ維持したまま、酪農業の構造的な変化の中にあるといえる。一方で、都府県では、北海道と同様に大型経営体の増頭によって中小経営の縮小を一部補完しているが、もともと脆弱な経営耕地基盤ということもあって北海道ほどに飼養頭数や経営耕地の集積が進んでいない。その結果、都府県では飼養頭数の減少が歴然となって、業界自体が縮小傾向にあると考えられる。

2) 大型酪農経営の特徴

(1) 経営的側面

大型酪農経営(メガファーム)には明確な定義が与えられていないが、生乳生産量が年間1,000t以上(または3,000t以上)で、大規模化による生産コストの削減を目的とする経営形態とするならば(農研機構、2006)、前項の成畜頭数規模分布で100頭以上に区分される経営体の多くは大型酪農経営体に当てはまる。大型酪農経営体はその出自や変遷、目指すものがそれぞれ異なり、農林水産長期金融協会(2005)の報告を参考に、以下の3つのタイプに整理できる(表1)。

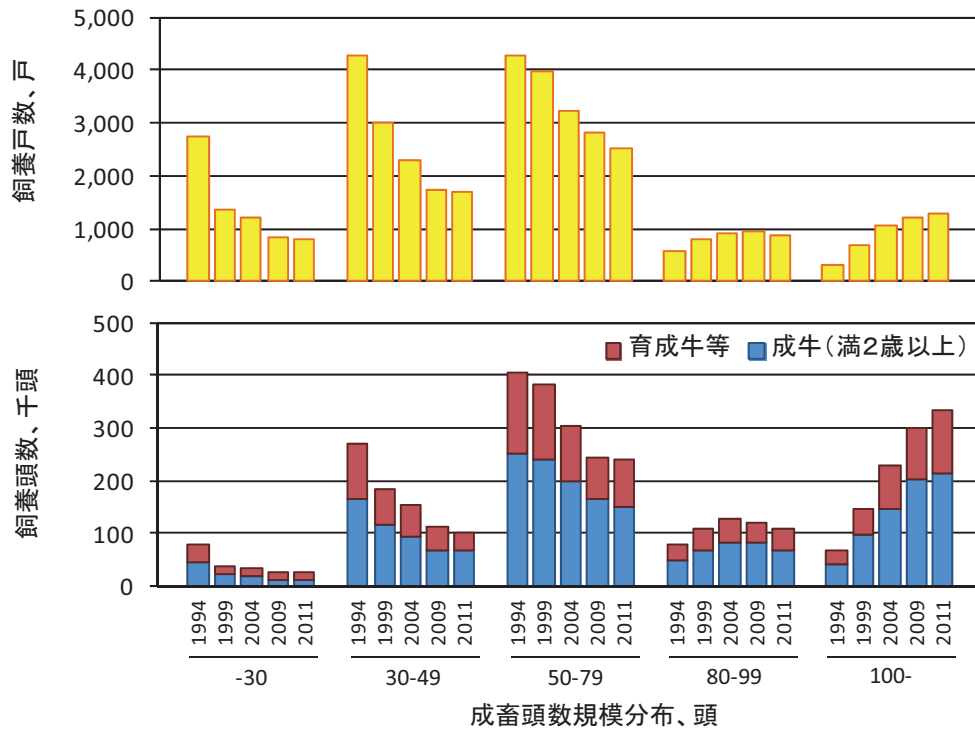


図3 成畜頭数規模別の飼養戸数、頭数の変化(北海道)

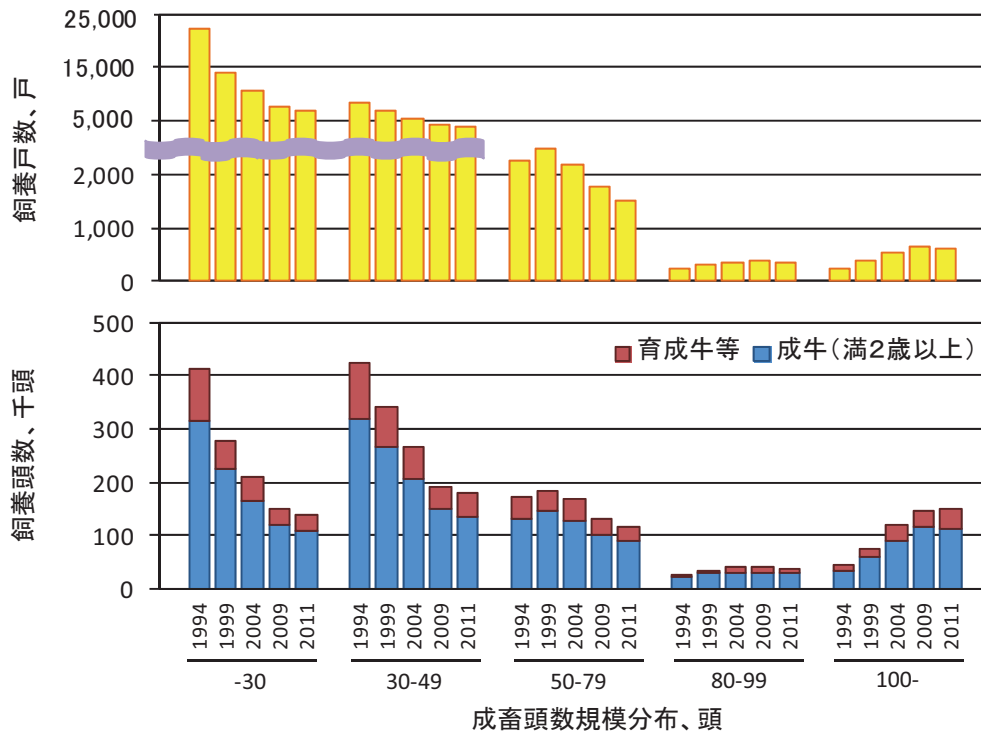


図4 成畜頭数規模別の飼養戸数、頭数の変化(都府県)

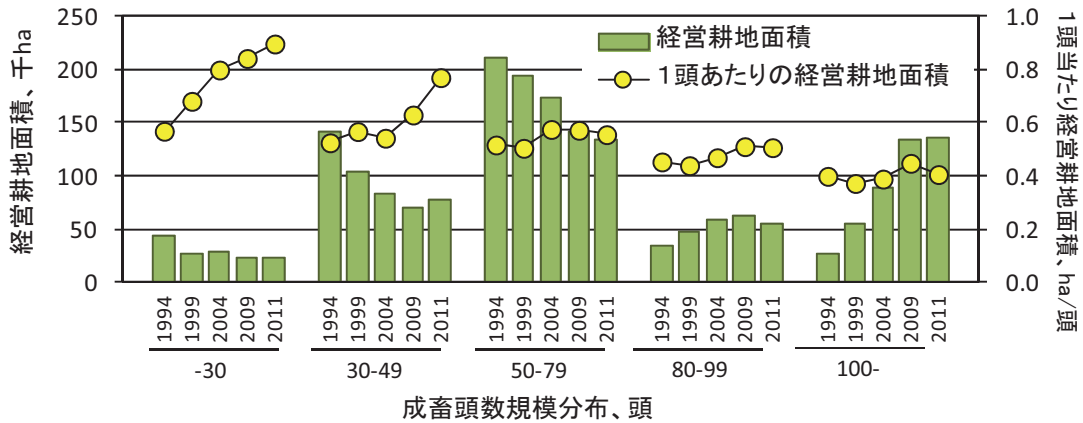


図5 成畜頭数規模別の経営耕地面積の変化(北海道)

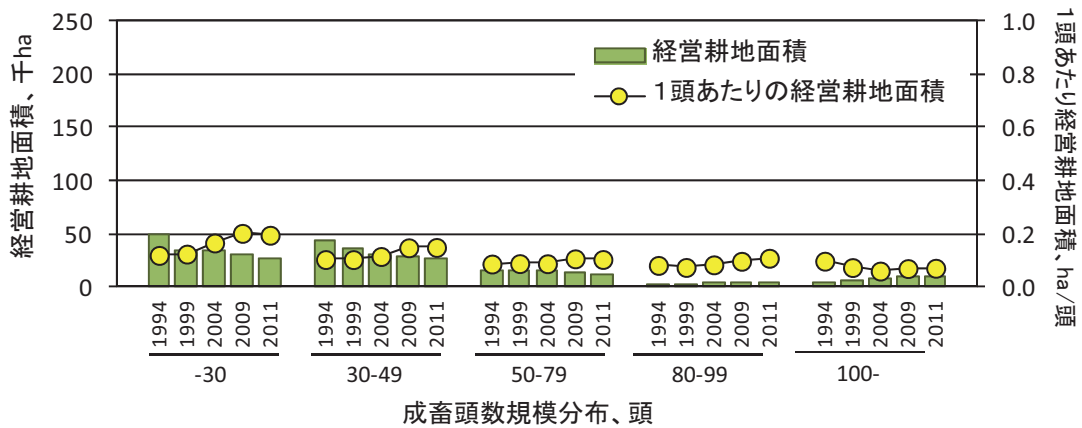


図6 成畜頭数規模別の経営耕地面積の変化(都府県)

タイプ A は、1 戸の家族経営の延長線上で外部労働力に依存して大型経営に至るケースである。北海道の場合は生乳生産量が 1,000~2,000t に集中する規模であり、大型経営の中で今後も最も多く出現する形態と考えられる。このタイプではヘルパー制度やコントラクター、TMR センターなど業務を外部化する視点が不可欠であり、経営支援組織の充実が前提条件となる。また、大型経営に対応できる経営管理能力を経営者が身につけることで成功の確率が高まる反面、個人としてのリスク負担に十分に備える必要があり、中小企業の経営に重なる部分が多い(矢坂、2001)。

タイプ B は、数戸の家族経営体が合併して新たな大型経営体に生まれ変わるケースであり、北海道の場合は生乳生産量が 2,000t 以上に集中する規模である。労働力のほか、施設・機械や経営耕地などの資本を持ち寄り一つの経営体に再編成するもので、資本の管理・運用が効率化される一方で、質的に家族経営の枠を乗り越えられるかといった課題が残る。組織運営は全員平等な立場からの協議が基本となるため、マネジメント体制をどう整備するのか、意思決定をいかに迅速

に行うかといった点も重要である。

タイプ C は、企業経営体が酪農業に参入して、分業化の進展を最大限に取り入れて効率的な経営を展開する企業型経営で、質的にメガファームと呼ばれるのに相応しい形態である。日本でのこの種の大型酪農経営は、肉用牛生産から多角化されたケースが多い(矢坂、2001)。飼料生産基盤を集積できている例は少なく、むしろ、大口購入のメリットを生かした飼料の調達方法に関心が高い。そのため、大型飼料輸入港の近くに位置していることや、さらには多量に発生するふん尿を経営外に持ち出す必要性から、堆肥需要が見込まれる耕種地域に隣接していることなど、経営体の立地条件に多くの制約を受ける。

表 1 日本の酪農業における大型酪農経営の形態別特徴

	発展過程	大型経営の主な目的	課題
A	個人型	・外部労働力の確保	・個人としてのリスク負担の限界 ・近隣の離農者の資産の集積
B	数戸合併型	・共同化による経営体の強化 ・投入資本の効率化	・共同経営でのマネジメント能力の向上 ・意思決定の迅速化
C	企業経営型	・新規事業への参入 ・経営管理技術や生産管理技術の酪農業での展開	・経営耕地の集積 ・外部委託先の安定確保 ・立地条件(市場や飼料供給港などからの距離、ふん尿処理)

農林水産長期金融協会(2005)を参考に作成

(2) 技術的側面

酪農経営を支える基盤技術には、乳牛の栄養や繁殖の管理のほか、飼料生産や飼養管理、疾病対策、ふん尿処理といった多くの要素が必要であり、これらが相互に関係しながら生乳の生産量を積み上げることになる。特に大型酪農経営では、経営管理や意思決定などのマネジメントに多くの時間を割くことになるため、生産管理の一部については雇用労働力での対応やアウトソーシングする選択肢も必要である。最近では、飼料生産を受託するコントラクターや TMR センター、獣医師や民間のコンサルタントなどのソフト支援に加え、搾乳ロボットや哺乳ロボット、自動給餌装置などハード支援の選択肢も広がっている。

一方で、ふん尿処理については、家畜排せつ物法に前後して全国に共同利用型の堆肥センターが数多く整備されるとともに、堆肥を供給する側の畜産農家と利用する側の耕種農家とをマッチングするサービスなどが提供されている。ただし、大型酪農経営では堆肥センターの処理能力の

多くを占有してしまう、あるいは堆肥センターの能力を超過してしまうことがあり、その場合は自前の施設で堆肥を生産したうえで、余剰になった堆肥の販売経路を自ら、あるいは仲介業者を介して確保する必要がある。このため、前出の農林水産長期金融協会のアンケート調査の結果を見ても、ふん尿処理の困難さを理由にして酪農経営の規模拡大を躊躇する回答が多い(農林水産長期金融協会、2005)。

3)大型酪農経営におけるふん尿の処理・利用と資源循環

(1)酪農業における家畜ふん尿処理方法

酪農業におけるふん尿の処理・利用の流れを図 7 に示す(中央畜産会、2010)。乳牛が排泄するふん尿の含水率は 85～89%であり、牛ふん尿は豚ふん尿の 91～92%よりやや乾いた状態で粘性が高く、逆に鶏ふんの 40～70%に比べると流動性が高い(中央畜産会、2003)。大型酪農経営の場合、フリーストール牛舎、あるいはフリーバーン牛舎とミルクングパーラとを組み合わせるケースが多く、ふんと尿が混ざったスラリー状、あるいは、ふん尿に敷料や副資材が混合された固形状や半固形状で牛舎から搬出されるのが一般的である。

スラリーや固液分離処理された液分は、貯留槽にストックされて飼料作物の栽培に合わせてそのまま液肥としてほ場に散布されるか、メタン発酵処理によってバイオガスを回収した後にほ場散布されるケースもある。いずれにせよ、ふん尿を散布できるほ場の確保が前提となることから、都府県での大型酪農経営で採用されるケースは限定的といえる。豚ふん尿の処理に多く採用される浄化施設を酪農業で採用するケースも皆無ではないが、固液分離を前提とする豚舎汚水に比べて乳牛ふん尿はBOD 負荷が高いことや(畜産環境整備機構、1997)、牧場の近くに放流可能な河川が必要なこと、乳価に対してふん尿処理にかけられるコストなどが制限要因となって、ふん尿の浄化処理を酪農経営にそのまま採用できるケースは限られる。

ふん尿が固形状や半固形状で発生する場合の処理方法は、ふん尿にオガクズやモミガラ、樹皮などの副資材を混合してふん尿のかさ密度を調整し、これらに通気と切り返し作業を加えながら堆肥化する方法が一般的である。固形状のふん尿を炭化、あるいは燃焼する事例もあるが、乳牛ふんは含水率が高いため多くの化石燃料や副資材が必要となることや、牛ふん堆肥は土壤改良材としての評価やニーズが高いことから、酪農業で炭化や焼却処理を採用するケースは稀である。

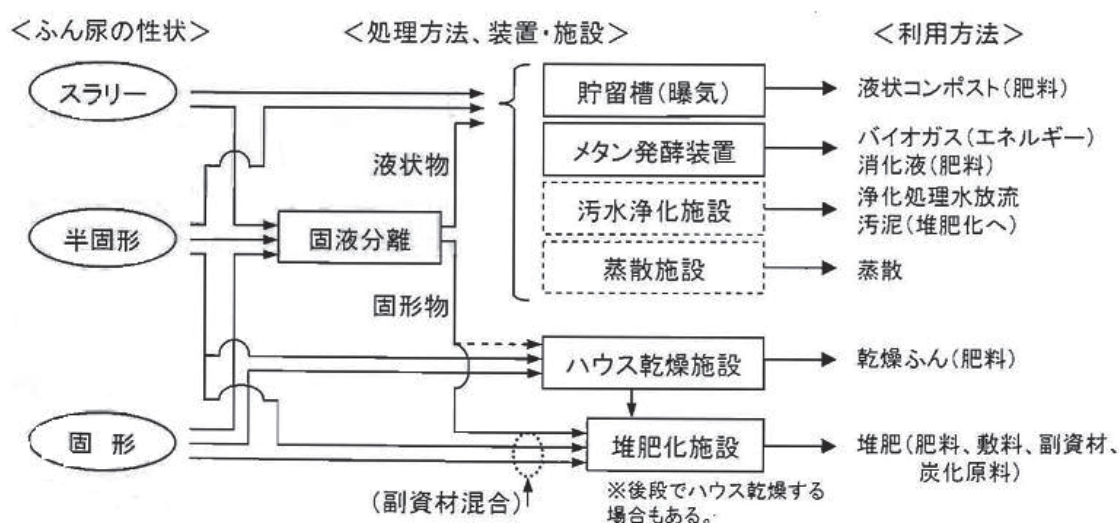


図7 乳牛ふん尿の処理方法(中央畜産会、2010)

(2) 堆肥化处理の特徴

堆肥化の目的は、家畜ふん尿の汚物感や悪臭をなくし、衛生的で取り扱い易く、土壌や作物に害を与えない有効な堆肥を作り、有機性資源リサイクルに貢献することとされる(中央畜産会、2003)。この定義は、家畜ふん尿を処理して無害化する機能と、家畜ふん尿を肥料に変換する機能と、堆肥化处理の二面性を示している。

表2は、前出のマニュアル(中央畜産会、2003)を参考に酪農業で採用される施設や機械別に堆肥化方法をグループ化したもので、大別すると堆積方式と攪拌方式に分けられる。前者は比較的シンプルな作業となるために、施設、機械の種類や維持管理が簡素化できる半面、腐熟には長い時間が必要であり、ショベルローダや自走型を採用する場合は繰り返し作業に多くの労力を必要とする。最近では、繰り返し作業の自動化が可能な堆肥クレーンや縦型オーガを装備する堆肥化施設が導入されるようになった。一方、後者の攪拌方式は、1m前後に堆積された堆肥原料の全量を攪拌することから機械への負担が大きく、定期的なメンテナンスや故障への迅速な対応が不可欠であり、相応のコストが必要な反面、堆肥化处理に多くの時間を要さない。繰り返し作業の自動化は堆積方式に比べて比較的早い時期から図られてきた(農業機械化研究所、1979)。

臭気対策の観点からそれぞれの堆肥化方式を比較すると、攪拌方式の中でも密閉できる縦型、あるいは横型装置が有利であるものの、装置1台の大きさや処理量に制限を受けることや、装置導入・運用のコストが高いことから酪農業での採用は今のところ少ない。縦型や横型以外の堆肥化施設や装置は開放型施設がほとんどであり、いったん堆肥化施設から放出した悪臭を捕集すること

は、堆肥化施設の規模が大きくなるほど技術的、コスト的に困難になる。そこで、後述のように、クレーンやスクープを装備した開放型の堆肥化施設を対象にして、吸引通気方式で通気を行う堆肥化処理方法(以下、吸引通気式堆肥化システム)が開発されている。

表 2 酪農業で採用される主な堆肥化処理施設・機械の特徴と利用状況

施設・機械		区分	副資材	脱臭	労力	施設面積	コスト	処理期間	採用状況	経営規模
堆積方式	堆肥舎	ショベルローダ	あり	難	多	大	小	長	◎	小
	通気型堆肥舎	ショベルローダ	あり	難/易	多	中	中	中	◎	小~大
		クレーン	あり	難/易	少	中	大	中	○	中~大
		縦型オーガ	あり	難/易	少	中	大	中	○	中~大
		自走型	あり	難	多	中	大	中	△	大
攪拌方式	開放型	ロータリ	あり/なし	難/易	少	中	大	中/短	○	中~大
		スクープ	あり/なし	難/易	少	中	大	中/短	○	中~大
	密閉型	縦型	あり/なし	易	少	小	大	短	△	中~大
		横型	あり/なし	易	少	小	大	短	△	中~大

(3) 吸引通気式堆肥化処理システム

脱臭処理では、悪臭の発生源からできるだけ近い位置で悪臭を吸引し、処理風量を最小限に留めることが重要とされる。その基本に立てば、堆肥化処理の場合、悪臭の発生源である堆肥原料から直接空気を吸引することで、従来の圧送通気方式に比べて悪臭成分であるアンモニアの回収が容易になる。また、原料から直接空気を吸引すると原料の内部は負圧になることから、原料の周辺から内部に向けて新鮮な空気を供給でき、原料の腐熟は圧送通気方式と同様に促進される。これが吸引通気方式による堆肥化処理である。

本システムは、発酵槽、切り返し装置(堆肥クレーン)、吸引通気設備、アンモニア回収装置などから構成される(図8)。従来の吸引通気法(Willson, 1983)で課題として残されていた送風機の腐食対策のほか、堆肥原料の前処理や吸引通気の見詰まり対策、堆肥化過程で発生するアンモニアの回収と利用方法などについて改良が重ねられ、堆肥化過程でのアンモニア揮散を抑制しながら、圧送通気方式と同等の堆肥生産が可能なが確認されている(阿部ら, 2008a)。現在までに、本方式の堆肥化施設は国内で4施設、海外で1施設が稼働している。

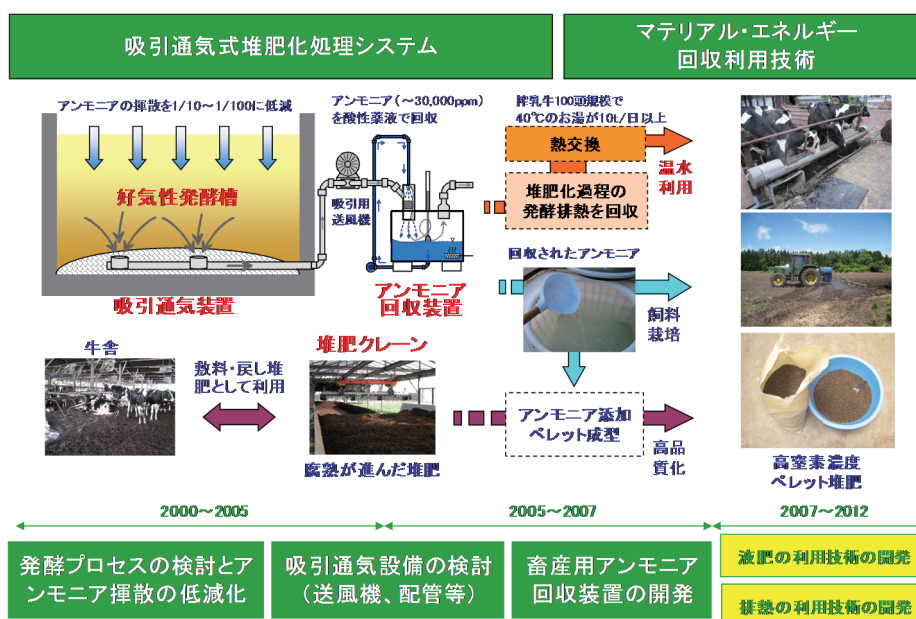


図 8 吸引通気式堆肥化システムの概略図

4) 本リポートの目的

今まで述べたように、日本の酪農業では、経営規模の拡大と経営の効率化が進められてきたが、その過程では特に中小規模の生産者が減る一方で、大型経営体はその生産基盤の受け皿となってきた。北海道のように、乳牛とともに経営耕地の集積が可能であれば、家畜ふん尿を飼料作ほ場で有効利用でき、資源循環型の酪農経営を有利に展開できるものと考えられる。

しかし、飼料生産基盤の脆弱な都府県の場合には、経営耕地の集積は難しく、ふん尿処理の方針が定まらない限りは、このふん尿の扱いがボトルネックとなって大型酪農経営が立ち行かない。その結果、都府県では中小規模に区分される経営体の乳牛飼養総頭数が減る一方で、大型経営体では飼養頭数が頭打ちとなってこれ以上の増頭が難しく、結果的にここ 20 年余りの間は都府県の飼養頭数が直線的に減少を続けているものと考えられる。

そこで、本リポートでは、今後の都府県での酪農経営の主要なタイプとなるであろう、家族経営による大型酪農経営(表 1 のタイプ A)のほか、企業型の大型酪農経営(表 1 のタイプ C)について、作物一家畜ふん尿の循環機能を生かしながら酪農経営を实践する 2 つの事例調査をもとに、現状の問題点や今後の展開条件を整理する。今回取り上げた事例では、堆肥が資源循環の原動力として位置付けられている点や、良質な堆肥を生産するために吸引通気式堆肥化システムが導入されている点に共通点がみられる。これらの共通点を踏まえて、吸引通気式堆肥化システムが循環型酪農経営に与える影響や効果についても技術面から検討を加える。

第2章 資源循環機能を生かした個人型大型酪農経営の調査結果

1) A 牧場の経歴

栃木県那須塩原市にある A 牧場についての経歴は中澤の報告に詳しい(中澤、2010)。この報告によると、A 牧場は初代の X 氏が 1962 年に東京から単身で就農(入植)したことをきっかけに、搾乳牛 1 頭から酪農業が開始された。その後、乳製品の需要の高まりとともに補助事業などを活用しながら増頭を続け、1970 年に 30 頭の繋ぎ飼い式牛舎を建ててから経産牛 40 頭規模になるころまでに酪農経営の基盤が形作られた。

その後、1989 年にフリーストール牛舎(56 頭)が竣工して以降は、1994 年と 1999 年、および 2006 年に増築を重ねて現在の 132 床の牛舎にまで拡張した。搾乳作業は 1998 年に導入された平行形 10 頭単列のミルクングパーラで対応している。2006 年には長男に経営が委譲されて、現在の酪農経営は 2 代目に引き継がれている(表 3)。

A 牧場の特徴は、土-餌-牛の間の物質循環を重視した経営理念にある。品質の高い牛乳を生産するためにはまず牛の健康管理が基本であり、牛の健康を良好に維持するためには良質な粗飼料生産が重要であり、良質な粗飼料を生産するためには健全な土壌が不可欠であるとの考え方である。さらには、物質循環をより円滑に機能させるための基盤技術が堆肥化処理にあるとされる。

繋ぎ飼い式牛舎の時代のふん尿処理方法は自然流下式のスラリー処理であったが、このときは自家生産された粗飼料中の硝酸態窒素の潜在的なリスクを感じていたことから、フリーストール牛舎が竣工してからは堆肥化処理に変更し、1994 年には堆肥クレーンで自動切り返しを行うふん尿処理方式が採用されている(伊吹ら、1999)。その後、2008 年に当時開発されたばかりの吸引通気式堆肥化システム(阿部ら、2008a)が(財)畜産環境整備機構の「家畜排せつ物利用促進等技術開発普及事業」の一環で A 牧場に導入されて以来、現在もこの方式で堆肥化処理が行われている。

表3 A 牧場の経歴¹⁾

経営 画期	年次	労力 ²⁾ 人	経営耕 地面積 ³⁾ Ha	飼養頭数			出荷乳量		主要事項
				経 産 頭	育 成 頭	和 子 頭	総量 t/年	頭当 kg/頭	
I 創業期	酪農模索	1962	0.8	1	-	-	0		・開拓地に入植(62) ・開畑・作付・飼養(62) ・住宅、牛舎新築(62) ・結婚、牛舎増築、トラクタ共同利用(67)
		
		1967	1.5	2	3	-	25	5,000	
II 形成期	専業酪農経営	1970	3.8	12	8	-	65	5,400	・繋ぎ式牛舎新築(70) ・地下式サイロ新築、通年サイレージ(72) ・粗飼料研究会創設、会長就任(73)
		
		1972	4.5	22	10	-	128	5,800	
		
III 成立期	酪農経営の 変革	1978	6.0(1.0)	26	20	-	173	6,700	・牛群検定実施(78) ・離農跡地購入(78) ・住宅新築(78~82) ・FSについて米国に調査、後継者就農(88)
		
		1987	8.0(2.0)	38	24	-	329	8,600	
IV 転換期	酪農経営の 変革	1988	8.0(2.0)	44	25	-	397	9,000	・パソコン簿記開始(90) ・FS牛舎新築、共同育成牧場新設(89) ・育成牧場入牧(91) ・TMR調整、堆肥切り返し作業の自動化(94) ・牛舎増築(94)(95) ・サイロ、98PSトラクタ等の増資(97) ・ミルクングパーラ10単列新築(98)
		1989	8.0(2.0)	49	26	-	467	9,400	
		1990	8.0(2.0)	57	35	-	489	8,600	
		1991	8.0(2.0)	60	40	-	508	8,500	
		1992	8.0(2.0)	65	43	0	562	8,600	
		1993	8.0(2.0)	71	39	9	608	8,500	
		1994	10.0(4.0)	74	47	9	635	8,600	
		1995	10.0(4.0)	78	55	12	678	8,700	
		1996	10.0(4.0)	87	51	17	820	9,400	
		1997	10.0(4.0)	89	54	5	850	9,500	
V 達成期	循環型酪農経営	1998	10.0(4.0)	90	58	11	826	9,100	・牛舎改装、育成牛舎取得(99) ・離農跡地購入、ロータリハロー導入(00)
		1999	11.4(4.9)	111	79	6	1,060	9,500	
		2000	12.8(6.3)	116	81	10	1,149	9,900	
		2001	12.8(3.9)	123	80	18	1,197	9,700	
		2002	13.0(3.7)	129	82	10	1,255	9,700	
VI 委譲期	経営委譲	2003	13.0(3.7)	124	88	14	1,218	9,800	・第二堆肥舎新築、ホイールローダ、ミルカ更新(05) ・マニュアスプレッタ更新、フリーバーン牛舎増築、ミキサー購入(06) ・吸引通気方式導入(08) ・サイロの増資(10)
		2004	13.0(3.7)	123	90	20	1,171	9,500	
		2005	13.0(3.7)	125	83	24	1,156	9,200	
		2006	13.0(3.7)	121	74	28	1,125	9,300	
		
		2008	13.0(3.7)	125	40	30	1,335	10,700	
...			
2012	2(2)	13.0(3.7)	131	70	20	1,339	10,200		

1) 中澤(2010)の報告を抜粋、2006年以降を実地調査で補完 2) カッコ()内は雇用労働力で内数

3) カッコ()内は借地で内数

2)A 牧場の経営概要

A牧場の現在の経営概要について表4にまとめた。A牧場の飼養頭数は、経産牛が131頭であり、牛舎はすでに搾乳牛で過密な状態にあることから、乾乳牛は2006年に増築されたフリーバーン牛舎で飼養される。育成牛は70頭であり、近隣の生産者が共同で出資している北海道白老町にある育成牧場(北那須組合)に預託され、ここで育成終盤にET(黒毛和種)による受胎が確認されてからA牧場に戻される。このほか、生後6か月未満の子牛20頭程度とET産子20頭ほどが経営内で哺育される。

最近の牛群検定結果をみると、2012年12月現在で過去1年間の出荷乳量は1339t、平均乳量は32.6kgであり、1頭あたりの年間成績10,240kgは牛群検定参加農家の全国平均よりも13%ほど高い水準である。フリーストール牛舎飼養での飼料効果2.7はほぼ中位にある。平均搾乳日数は200日前後、平均産次は2.7~2.8で安定しているが、平均分娩間隔が430~470日と長く、年平均の受胎率は40%を切っているため、高泌乳化に伴う繁殖技術や飼養管理技術が検討されている。

経営する耕地面積は13.0ha(うち借地は3.7ha)であり、以前はこれを3分割して、早まき・晩生トウモロコシ→ライムギ→遅まき・中生トウモロコシ→イタリアンライグラス+ライムギ→エンバクの3年5作の輪作体系(年間作付延べ22ha)が採られていた。その後、2010年に高消化性ソルガムの有効性を確認してからは、除草・防除作業の軽減や外来雑草対策を考慮して、ソルガム(年2回刈り)→ライムギの二毛作体系(述べ26ha)に変更されている。

飼養方式は1989年からフリーストール牛舎を導入して、牛舎に併設されたミルクングパーラで朝晩2回の搾乳が行われる。給餌は、自動給餌装置(チェーンコンベヤ型セルフプロペルドフィーダ)でTMRが1日5回給与され、TMRの構成は、地下型サイロで調製したサイレージと単味飼料(ヘイキューブ、ビートパルプ、チモシー乾草)を主とする粗飼料のほか、配合飼料とサプリメントなどである。サイロクレーンで地下型サイロから取り出された粗飼料に対し、TMR調製室内、あるいは給餌ライン上の二軸スクルーで配合飼料とサプリメントが所定の割合で混合されて、ベルトコンベヤで牛舎内に設置された自動給餌装置に送られる。

現在の労働力は、経営者である長男のほか、次男と2人の雇用労働力を加えて合計4人であり、経営委譲後からはX氏夫妻にかわる外部の労働力に依存している。長男は経営部門と生産部門のマネジメントのほか、乳牛の繁殖と育種を主に担当し、次男は牛舎管理やふん尿処理のほか、決算報告を含む各種データの管理を担当する。搾乳や哺育のほか、ボロ出し作業やベッドメイキングといった定型作業は雇用労働力を組み入れて対応し、給餌や堆肥の切り返し作業に至ってはすべて機械により自動化されている。粗飼料の作付け・収穫・調製作業は今のところX氏夫妻の2人の支援を受けて、家族労働力で対応している。

表 4 A 牧場の経営概要

	A 牧場(2012.12 現在)
経産牛頭数	131 頭
未經産牛頭数	92 頭 (うち、育成預託頭数 70 頭)
乳量	32.6 kg/日 10,240 kg/頭
経営耕地面積	13.0 ha (うち、3.7 ha は借地)
飼料作付延べ面積	26ha
輪作体系	ソルガム(年 2 回刈り) → ライムギの二毛作
経営形態	家族経営
労働力	4 人 (うち、雇用 2 人)
飼料メニュー	サイレージ(ソルガム、ライムギをビートパルプで水分調整) 購入単味飼料 3 種 購入配合飼料 1 種 サプリメント 1 種
ふん尿処理	堆肥化(一部は吸引通気方式の自動堆肥化装置) 牛床のベッド資材や通路上の敷料として戻し堆肥を利用 堆肥は経営内耕地に 100%還元
搾乳方式	パラレル 10 頭単列
搾乳回数	2 回
後継牛	自家育成
繁殖判断	行動観察、コンピュータ
繁殖体系	ET 黒子(初産)→人工授精後継牛(2 産目以降)
外部への業務委託	牛群検定、飼料設計、育成、削蹄、獣医による診療

3) 吸引通気式堆肥化システムの導入と堆肥化処理の流れ

2008 年に A 牧場に導入された吸引通気式堆肥化システムを図 9 に示す。ホイスト 4 台でグラブを支持、昇降する天井走行型の堆肥クレーンが装備された堆積型の堆肥化施設であり(阿部、2008b)、堆肥クレーンの動作方向に従って約 45m³(深さ 3m)のレセプションピット(地下ピット)と約 80m³の発酵槽 5 槽が縦列に配置されている。また、堆肥クレーンの走行レールは牛舎内にも延長されており、牛床に隣接するレール下のスペースに 3 槽分の後熟槽を配置して、敷料用の戻し堆肥のストックエリアとして利用されている(図 10)。切り返しが予定される発酵槽や後熟槽の番号と切り返し日時をタッチパネルに入力すると、堆肥クレーンはそれらのスケジュールに従って自動で切り返し作業を始める。

第1～5発酵槽のうち、第1～3槽までの堆肥原料は吸引通気方式で通気され、堆肥原料の底部より吸引された発酵排気は、まずアンモニア回収装置に送られてアンモニアが回収される。続いて、排気は熱交換器に送られて発酵熱が回収され、最終的に、第4、5槽の底部に噴きこまれて堆肥脱臭処理工程(田中ら、2002)を経てから大気へ開放される。なお、A牧場では、吸引口を定期的に掃除する目的で吸引口に向けて高圧空気を噴き込むインパクトエアレーションシステムが第1～3槽に設備されている(阿部ら、2009)。

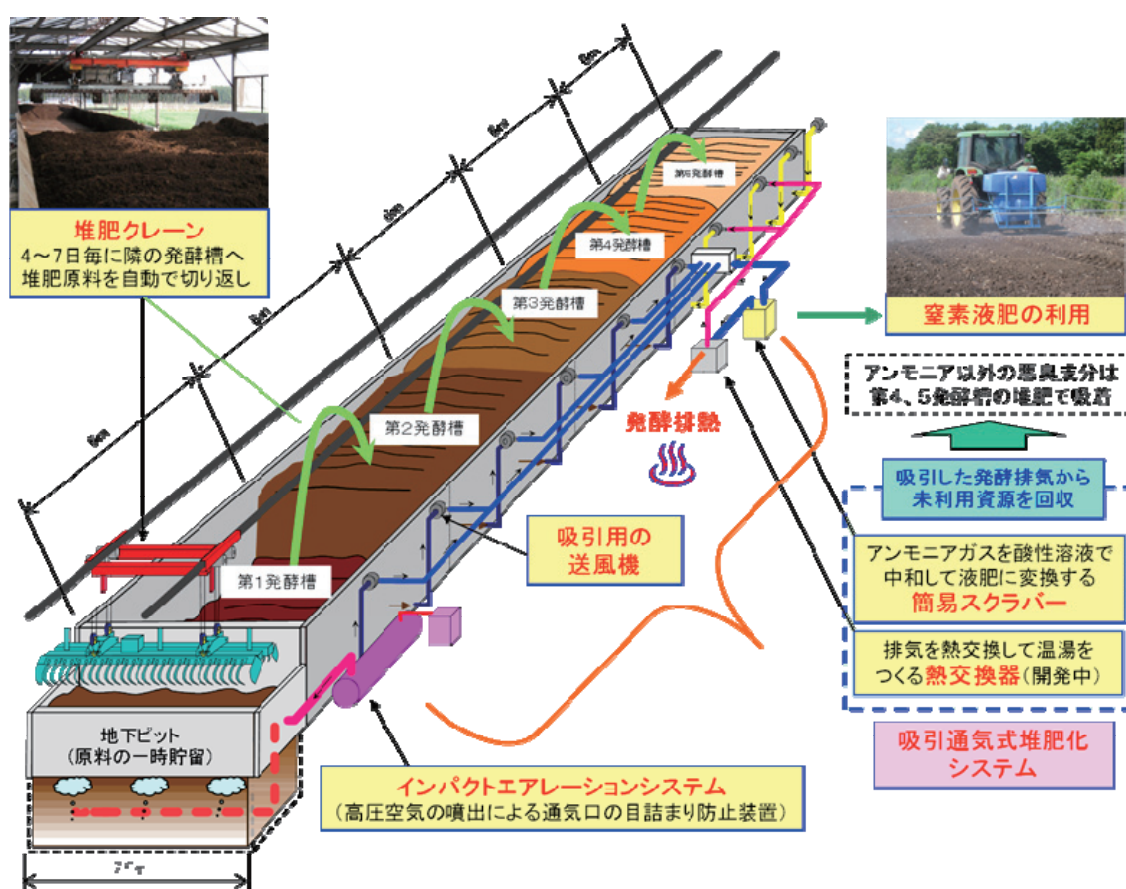


図9 A牧場に導入された吸引通気式堆肥化システムの概略図

A 牧場のフリーストール牛舎でのボロ出し作業の手順とボロ出しされる堆肥原料を図 10 および表 5 に示す。A 牧場では早朝の搾乳作業に並行してボロ出し作業とベッドメイキングを行っており、季節や飼養密度によってボロ出し原料の含水率に変動がみられることから、ボロ出し直前の通路には状況に応じて設定した量のバークが加えられる。また、ボロ出し後の通路コンクリート面には新しいオガクズと戻し堆肥が敷かれ、乳牛は牛舎内で過ごす中でこの敷料の上にふん尿を排泄することになる。写真 1 に示すように、ふん尿と敷料は、蹄耕法の場合のように牛に踏み込まれて通路上で均一に混合されることから、堆肥化の初期の立ち上がりに良い効果がみられる。

一般的に、A 牧場と同等の規模のフリーストール牛舎からは、敷料を使用する場合で 1 日あたり 8~10t/日の堆肥原料が発生するが、A 牧場での堆肥原料の発生量は約 17t/日と多い(表 5)。これは、乳房炎対策や蹄管理、滑りによる事故の防止を考慮して舎内通路の敷料の使用量を多くしているためである。

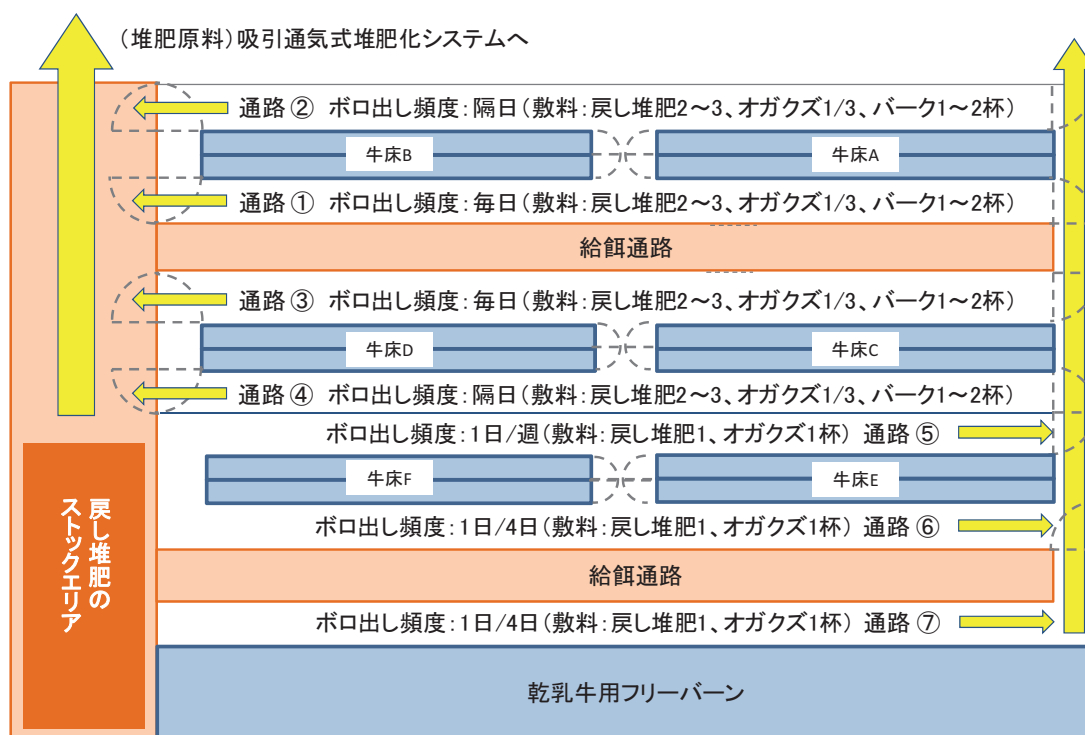


図 10 A 牧場の牛舎レイアウトと敷料の使用量、ボロ出し作業の手順
(黄色矢印が敷料(堆肥原料)の流れ、破線部分は牛の移動やボロ出し作業のための巡回柵)

表 5 A 牧場の堆肥原料の性状

発生量、t/日 ¹⁾	16.9 (14.4-19.8)
含水率、%	69.8 (65.8-71.7)
かさ密度、kg/m ³	690 (665 - 705)
堆積高さ、m	1.6 (1.5 - 1.7)
灰分、%DM	14.0 (13.8-14.5)
C/N	23.2 (22.6-23.9)

※表中数値は調査回数の平均値(最小-最大)
 1) 8 回の調査結果、ほかは 3 回の調査結果



写真 1 通路①でのボロ出し風景

牛舎から出された堆肥原料は一時的に地下ピットに 1~2 日間ストックされた後、堆肥クレーンで第 1 発酵槽に投入される。その後、発酵槽毎に 4 日間ほど堆積され、堆肥クレーンで次の発酵槽に 2 時間ほどかけて全量が切り返される。5 槽分で約 3 週間の一次発酵を経過することになる。一次発酵後の堆肥は、堆肥クレーンで戻し堆肥のストックエリアに移されて(図 10)、その後 12 日間ほどの二次発酵期間を経てから牛舎のベッド資材、あるいは通路敷料として再利用される。

図 11 に一次発酵期間における発酵槽別の堆肥温度の変化を示す。堆肥原料が 1 日おきに投入される第 1 槽では、堆肥原料の温度が常温域から高温域まで高まり、第 2 槽に切り返された後は 70~80℃の昇温ピークに達する。その後は切り返し毎に温度ピークが下がりながら、第 5 槽になると有機物の分解が落ち着き一次発酵を終了する。なお、第 5 槽の温度は 60℃付近で高止まりするが、これは第 1~3 槽からの高温の排気がアンモニア回収後に第 5 槽に通気されるためである。

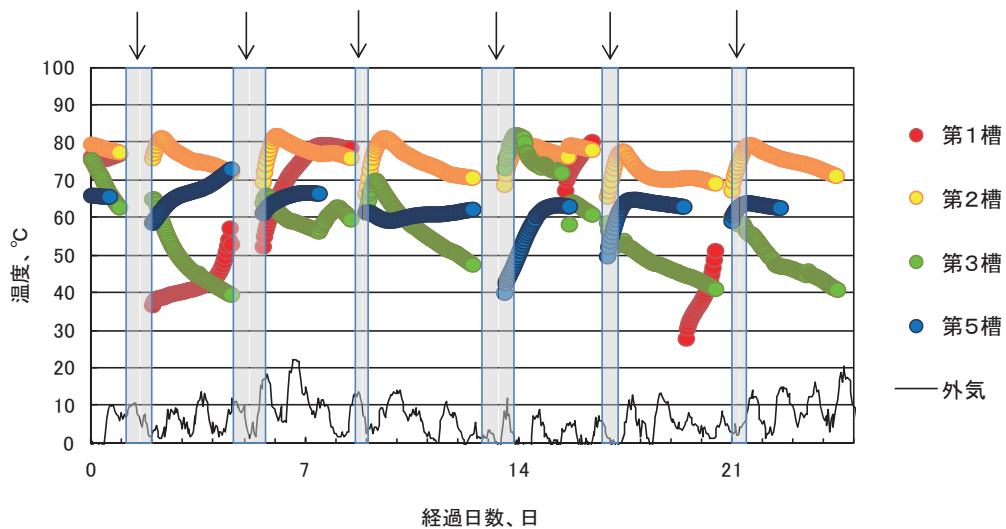


図 11 A 牧場での堆肥の温度変化(図上の↓と図中の囲い部分は切り返し作業時を示す)

4) 堆肥の品質

A 牧場の吸引通気式堆肥化システムで生産される堆肥の肥料成分は、バークなど木質系の副資材を使うことから C/N 比がやや高い傾向にあり、カリウムが全国平均並みのほかは、マグネシウム、カルシウムといったミネラル成分は全体的に低い。塩類濃度の蓄積の指標となる電気伝導度 (EC 値) はやや高い傾向にあるが、堆肥の品質推奨基準である 5mS/cm よりは低く (全国農業協同組合中央会、1993)、全国平均に近い一般的な牛ふん堆肥といえる (表 6)。

堆肥化過程の有機物分解率は、一次発酵期間中で 10%程度であり (データは省略)、一般的な牛ふん堆肥の有機物分解率の 20~30%に比べると低い。これは、堆肥化過程で分解されにくいバークや戻し堆肥を多用しているためと考えられる。ただし、表 6 の分析結果が示すように、腐熟の指標の一つである硝酸性窒素が 100 mgN/kgDM を超えてアンモニウム態窒素濃度よりも高くなっており、また、図 11 で示した一次発酵期間の堆肥原料の発酵温度を見ても、腐熟は十分に進んでいるものと思われる。

表 6 A 牧場の堆肥の品質

項目	A 牧場 ¹⁾	全国平均 ²⁾
含水率、%	65.5 (63.5 - 67.3)	52.3 (15.7-82.9)
灰分、%DM	14.9 (14.4 - 15.6)	28.7 (10.1-73.8)
pH	8.3 (8.1 - 8.6)	8.6 (7.0 - 9.7)
EC、dS/m	4.4 (4.2 - 4.6)	2.4 (0.2 - 5.6)
T-N、%DM	2.1 (2.0 - 2.2)	2.2 (0.9 - 5.6)
うち NH ₄ -N、mgN/kgDM	82.8 (59.0 -113)	—
うち NO _x -N、mgN/kgDM	110 (21.7 -295)	—
P ₂ O ₅ 、%DM	1.2 (1.2 - 1.3)	1.8 (0.5 -13.3)
K ₂ O、%DM	2.9 (2.7 - 3.0)	2.8 (0.2 - 7.7)
MgO、%DM	0.75 (0.73 - 0.75)	1.5 (0.3 - 6.6)
CaO、%DM	2.2 (1.9 - 3.4)	4.4 (0.7 -18.8)
C/N	21.4 (20.6 - 22.2)	17.6 (7.0 -40.8)

1) A 牧場の数値は 8 回の調査結果の平均値 (最小値-最大値)、いずれも畜産環境整備機構に分析依頼

2) 畜産環境整備機構 (2005b) の調査結果より

5) 堆肥の利用

A 牧場では、堆肥を牛舎の敷料として、あるいは、堆肥原料の副資材として利用するほか、肥料としても堆肥を積極的に利用する。ほ場での堆肥の施用量は、作付け毎に 4~6t/10a(8m³ のマニユアスプレッダで 1~1.5 台/10a)であり、施用履歴は経営内で毎回記録されている。カリウムの過剰施用を避けるためにこの量の堆肥の施用量を上限とし、堆肥だけでは足りない窒素成分については、トウモロコシの作付け時に粒状硫安で約 4kgN/10a(1 袋/10a)を播種時に追加で施用する。施用後のほ場作業の体系は図 12 の通りであり、プラウやプラソイラではほ場を耕起したあと、ロータリ等で耕うん・整地してから播種され、必要に応じて土壌処理剤や茎葉処理剤による雑草の防除作業が行われる。

吸引通気式堆肥化システムにより堆肥化過程で回収されたアンモニア(以降、窒素液肥)の肥料成分を表 7 に示す。窒素液肥の窒素濃度は牛ふん尿スラリーやメタン発酵消化液に比べると 10~20 倍ほど濃い状態で回収され、硫安や尿素などの化学肥料と同様に速効性の肥効が期待できる。日本の畑作では化学肥料を液状施肥する体系はほとんど見られないことから、A 牧場では農薬散布用のブームスプレーヤを代用した窒素液肥の施用方法を検討しており、今のところ作業性や作業機の操作に問題は見られない。窒素液肥は化学肥料と遜色のない効果がみられるものの、窒素液肥の原液が葉面に付着する場合には肥料焼けを起こすことなど、窒素液肥利用上の留意点も整理されつつある(写真 2)

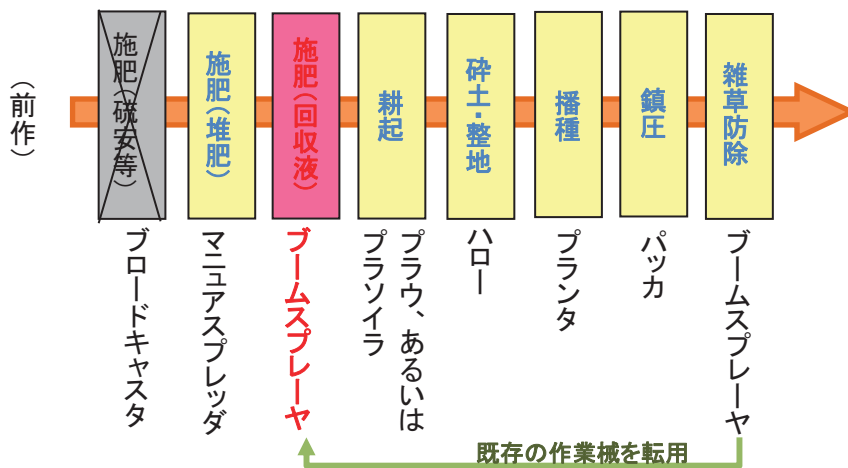


図 12 A 牧場での飼料作物栽培の作業体系の一部
(アンモニア回収液を施用する場合は、硫安等による窒素施肥を省略)

表 7 アンモニア回収液の肥料成分

回収液の種類	pH	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
リン酸アンモニウム溶液	6.6	6.3	18.9	nd
硫酸アンモニウム溶液	7.6	7.6	-	-

nd: 0.001%未満



写真 2 吸引通気式堆肥化システムで回収された窒素液肥の肥料利用

写真左: 窒素液肥は無色透明でポンプでのハンドリングが可能、写真中: ブームスプレーヤを使っての施肥作業、写真右: 5 葉期前後の追肥(窒素液肥)により肥料焼けしたデントコーン

6) 土壌の経年変化

A 牧場の土壌化学性の調査結果を表 8 に示す。1989 年より前は自然流下式の牛ふん尿スラリーがほ場に施用されていたが、これ以降は堆肥化処理に切り替わったために、前項の通り作付け毎に 4~6t/10a の牛ふん堆肥が施用されている。また、2006 年前後には、廃石膏ボード紙が堆肥の副資材の一部として利用されていた時期がある。

ここ 16 年の経過を見ると、土壌 pH は年々上昇して中性域まで達しており、この pH の高まりは交換性カルシウムやマグネシウム濃度の上昇傾向とほぼ一致している。ミネラルバランスについては、Mg/K の当量比は適性値にあるが、Ca/Mg の当量比はやや高い。

土壌 EC は pH と同様に上昇傾向にあり、水溶性塩類の集積が考えられる。交換性カリ含量や有効態リン酸といった肥料成分が目標値を超過した状況にあり、関東東海地域における飼料畑の土壌診断基準に基づく施肥対応(農林水産省草地試験場、1988)によれば、カリ肥料ならびにリン酸肥料(化学肥料)の施用中止、あるいは家畜ふん尿の施用を減少するレベルである。これらの状況から、堆肥の連年施用による土壌の肥沃化が進んでいると考えられる。

表 8 A 牧場のほ場土壌の変化

調査 年次	調査 地点	pH (H ₂ O)	EC mS/m	C/N	有効態 リン酸 P ₂ O ₅ mg ¹⁾	CEC me ¹⁾	交換性陽イオン			ミネラルバランス	
							K ₂ O	CaO	MgO	Ca/Mg	Mg/K 当量比
1997 ²⁾	不明	5.8	8.8	-	9.4	-	42	278	37	5.4	2.1
1997 ²⁾	不明	6.2	9.4	-	32.9	-	120	647	80	5.8	1.6
2006 ²⁾	①	6.5	11.9	13.0	41.9	-	29	785	53	10.8	4.7
2006 ²⁾	②	6.6	9.91	13.5	55.6	-	20	919	60	11.0	7.0
2013 ³⁾	①	7.3	17.1	-	70.7	41	109	908	88	7.4	2.0
2013 ³⁾	②	7.3	17.2	-	105	52	95	1196	104	8.4	2.6
目標値 4)		6.0			10	20	15	420	40	4	2
		~			~	以上	~	~	~	~	~
		6.5			30		50	670	120	8	8

1)乾土 100g あたり 2)畜産草地研究所の調査結果 3)十勝農協連に分析依頼(ECのみ畜産草地研究所の調査結果) 4)関東東海地域飼料畑土壌診断基準(農林水産省草地試験場、1988)火山灰土区分

7)粗飼料(サイレージ)成分の経年変化

1999～2012年までにA牧場で収穫・調製されたサイレージの主な飼料成分組成を表9に示す。飼料作物の収穫作業はダイレクトカット方式のため、いずれのサイレージ調製の場合もサイロ投入時にワゴン1台あたり100～200kg程度のビートパルプを添加して水分調整を行っている。トウモロコシサイレージは日本標準飼料成分表(農研機構、2010)の標準値に近い成分組成を示し、ここ数年来のサイレージの成分は安定している。ライムギは年次間で成分組成にやや変動がみられるが、TDNの期間平均は標準値に近い値に納まっている。ソルガムは栽培を始めてから間もないため、まだ経時的なデータが蓄積されていないが、今のところ乳生産への影響はみられない。

表10は同じA牧場のサイレージの無機物含量を示したものである。全体的にカリウム濃度が低く、その結果、K/Ca+Mgの当量比は2.2を超えることなく低く抑えられており、ミネラルバランスが取れたサイレージといえる(農林水産省草地試験場、1988)。硝酸態窒素についてもカリウムと同様に全般的に低く抑えられており、2009年度産のトウモロコシ1検体を除けば、飼料中濃度の許容限界とされる0.2%をいずれも大きく下回っている(農林水産省草地試験場、1988)。

8)発酵熱の回収と温湯利用の試み

吸引通気式堆肥化システムでは、堆肥化過程で発生するアンモニアを回収できるほかに、堆肥原料から発生する発酵排気を吸引することで、発酵熱を効率的に集めることができる。そこで、A牧

場では、生乳冷却時の省エネルギー対策技術などに加えて、この未利用エネルギーである発酵熱の回収・利用に着目し、経営内でのエネルギー循環機能についても検討を進めている。

図 13 は堆肥原料からの排気と熱の流れを示したものであり、アンモニアが回収された後の発酵排気からは、表 11 に示す仕様の熱交換器で発酵熱が温湯として回収される(写真 3)。図 14 に 2012 年 3 月から 12 月にかけて調査した堆肥原料からの排気温度と回収された発酵熱量を示す。この間、期間平均で 7.2m³/分の流量で吸引された排気の温度は外気温にほとんど影響されず 40～50℃の間で推移するとともに、20～40kW(堆肥原料 1m³あたり 80～160W)の発酵熱が堆肥原料から吸引された。

表 9 A 牧場で栽培、調製されたサイレージの主な飼料組成¹⁾

作物	調査年次	乾物 %	pH	CP %DM	CF %DM	NDF %DM	NFC ²⁾ %DM	TDN %DM
トウモロコシ ⁵⁾	1999	32.8	3.8	8.8	21.8	50.5	—	66
	2000	34.9	3.7	9.2	18.3	41.8	—	70
	2004	29.5	4.0	8.4	—	45.8	38.0	69
	2005	27.8	3.9	9.3	20.1	48.9	34.6	68
	2007	31.1	4.1	9.3	23.2	45.5	37.6	69
	2009	29.1	4.2	9.2	22.6	48.2	35.0	67
	2010	33.8	4.9	10.6	20.0	49.2	32.3	64
	平均	31.3	4.1	9.2	21.0	47.1	35.5	68
標準値 ³⁾	27.2		8.5	23.5	48.9		67.6	
ライムギ ⁵⁾	2006	20.7	3.9	10.1	35.7	63.9	18.5	60
	2009	22.9	3.8	9.6	32.5	64.6	14.8	55
	2010	26.7	4.2	11.9	27.0	55.3	25.6	59
	2012	24.5	4.5	11.0	33.2	65.9	14.0	52
	平均	23.7	4.1	10.7	32.1	62.4	18.2	57
	標準値 ⁴⁾	29.7		13.5	34.1	66.8		56.0
ソルガム ⁵⁾⁶⁾	2010	19.4	4.6	8.6	31.2	66.5	12.6	50

1) Dairy One Cooperative Inc.に分析依頼 2)非繊維性炭水化物、ハイファンは分析せず 3)日本標準飼料成分表(農研機構、2010)より、黄熟期・東日本の標準値 4)日本標準飼料成分表(農研機構、2010)より 5)水分調整のためにビートパルプを少量添加 6)高消化ソルゴークCS404(カネコ種苗)

表 10 A 牧場で栽培、調製されたサイレージの主な無機物含量¹⁾

作物	調査年次	Ca %DM	P %DM	Mg %DM	K %DM	K/Ca+Mg ²⁾	NO ₃ -N ³⁾ %DM
トウモロコシ	1999	0.25	0.25	0.17	1.51	1.3	0.02
	2000	0.24	0.26	0.17	1.28	1.3	0.06
	2004	0.32	0.27	0.17	1.45	1.3	-
	2005	0.31	0.22	0.14	1.49	1.4	-
	2007	0.36	0.25	0.15	1.29	1.1	0.02
	2009	0.45	0.29	0.19	1.42	1.0	0.23
	2010	0.40	0.31	0.25	1.63	1.0	0.00
	平均	0.33	0.26	0.18	1.44	1.2	0.07
標準値 ⁴⁾	0.24	0.25	0.13	1.65	1.9		
ライムギ	2006	0.60	0.23	0.16	1.88	1.1	-
	2009	0.61	0.26	0.20	1.78	1.0	0.00
	2010	0.71	0.19	0.16	1.66	0.9	0.08
	2012	0.73	0.28	0.20	1.95	0.9	0.00
	平均	0.66	0.24	0.18	1.82	1.0	0.03
	標準値 ⁵⁾	0.67	0.42	0.19	4.46	2.3	
ソルガム ⁶⁾	2010	0.69	0.27	0.26	3.33	1.5	0.00

1) Dairy One Cooperative Inc.に分析依頼 2) K と Ca+Mg の当量比を算出 3) ハイフンは分析せず
 4) 日本標準飼料成分表(農研機構、2010)より、黄熟期・東日本の標準値 5) 日本標準飼料成分表より
 6) 高消化ソルゴ-KCS404(カネコ種苗)



写真 3 A 牧場に設置された吸引
通気方式用の熱交換器

表 11 A 牧場の熱交換器の仕様

型式	CP250(セキサーマル社製)
方式	直交流プレートフィン型
材質	SUS 304
外寸	500×500×360 mm
容積 ¹⁾	150 L
伝熱面積 ¹⁾	18.4 m ²
伝熱面密度 ¹⁾	123 m ² /m ³
質量 ¹⁾	130kg
その他	伝熱板層数 43 枚 結露水排出口の増設

1) 2 台の熱交換器を直列設置した場合

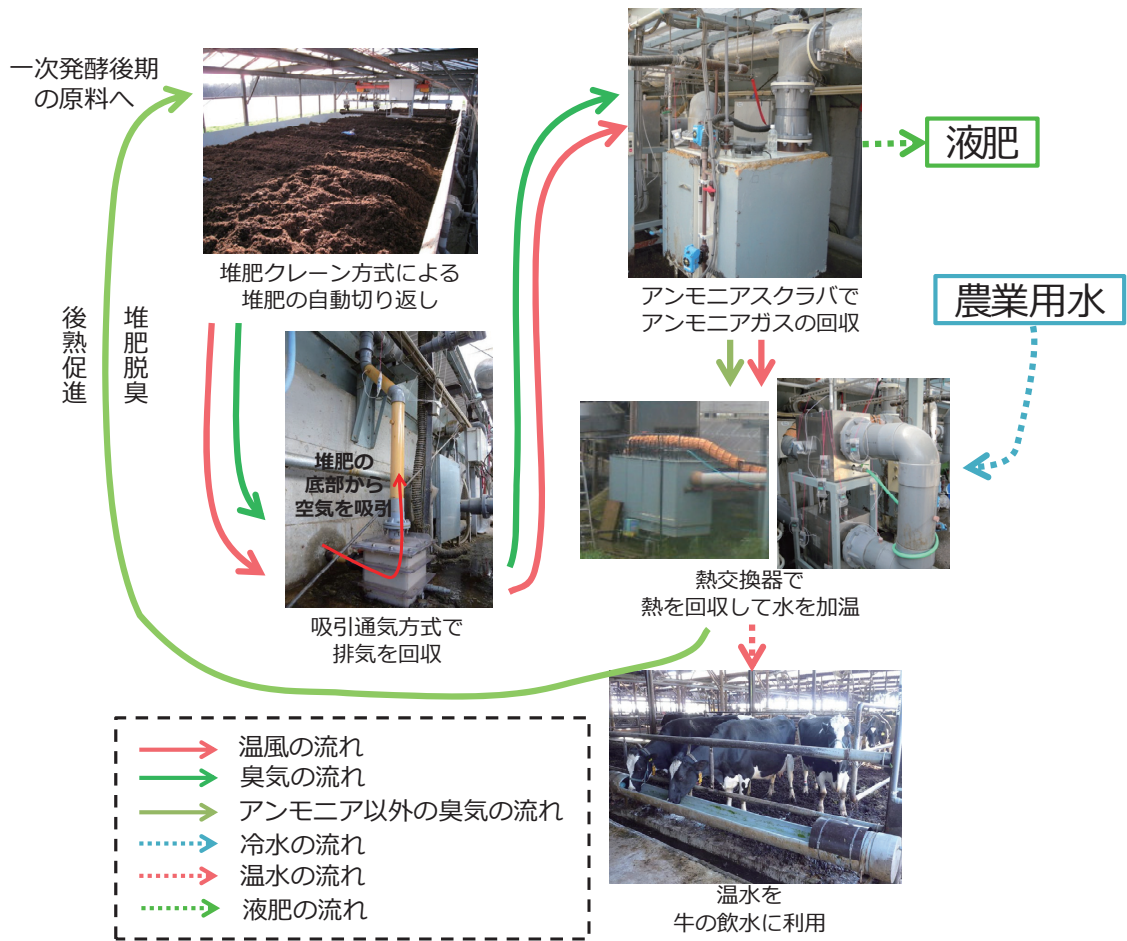


図 13 A 牧場での発酵熱回収フロー(小島、2013)

発酵排気は、工場などから出される 100~200℃の廃熱に比べて温度が低いことや、湿度が高く水蒸気に多くのエネルギーが蓄えられている特徴がある。したがって、このような発酵排気から熱を回収する場合には、主に排気の潜熱を回収することになる。熱回収の効率を高めるためには、堆肥の発酵温度をできるだけ高温に維持するとともに、潜熱回収のための熱交換器の運用方法の最適化を図る必要があり、これらの視点に立って検討が継続されている。

発酵熱を熱源にして得られた温湯を搾乳牛の冬場の飲水に利用して、牛の採食量や泌乳量の変化を調査した予備試験の結果が図 15 である。搾乳牛の 1 日あたりの飲水量を 100kg とすると、熱交換して毎日 10t 以上得られる 40℃前後の温湯は、A 牧場で飼養しているほぼすべての搾乳牛に給与可能な量であり、温湯給与による家畜の健康増進や牛乳の増産が期待される。この予備試験では、冬季に温湯を給与したことで数%の増乳効果が見られたことから、現在は農研機構畜産草地研究所のプロジェクト研究課題の中で引き続き精密な試験を実施している。

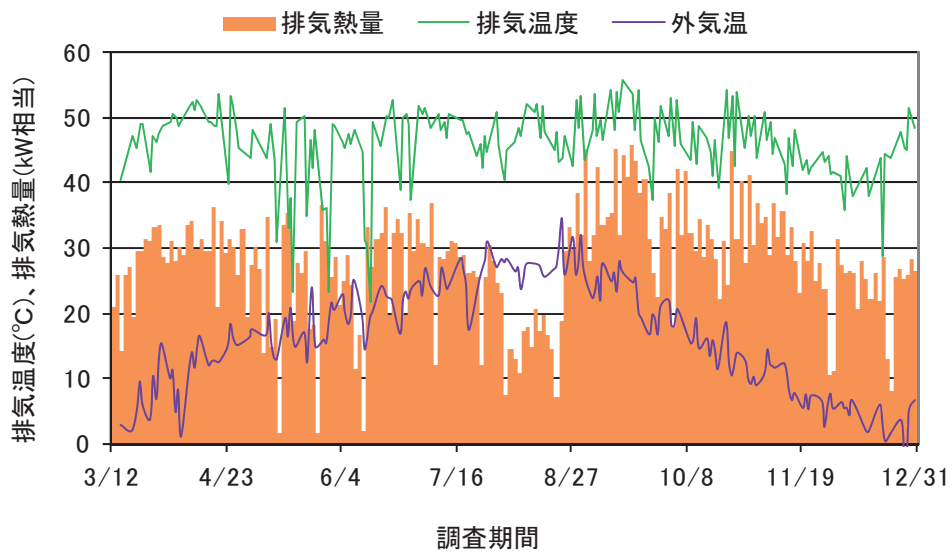


図 14 A 牧場で温湯として回収された発酵熱量の推移

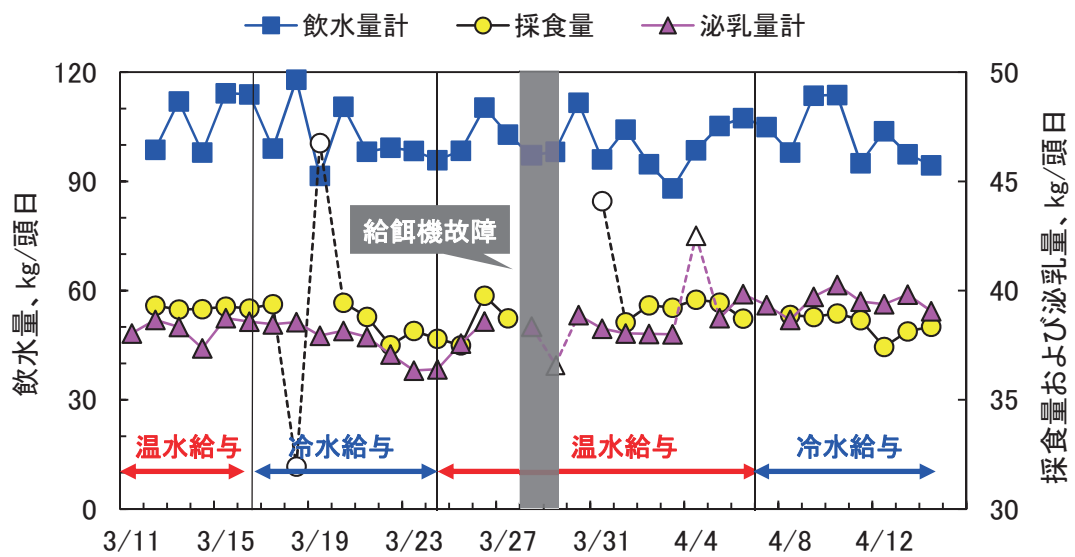


図 15 温湯を搾乳牛の飲水として給与した際の試験結果

9) 吸引通気式堆肥化システムのコスト

A 牧場に吸引通気式堆肥化システムを導入するにあたって必要となったコストを表 12 に示す。導入時は実証試験を兼ねての施設であったことから、既存施設の一部解体などを含む改造費に多くの支出がみられるが、新規に導入される場合にはこれらの費用が省かれる。一方で、システム導入後には送風機やコンプレッサを耐熱仕様や防塵仕様のものにグレードアップする必要があることや、ドレイントラップの増設、吸引通気配管や高圧空気用配管の土間コンクリートへの埋設工事など、新たな装置の導入や施工法の見直しが実証試験の過程で明らかになったことから、これらの設備関係の費用は表 12 の価格に加算される。結局のところ導入コストの総額は表 12 で示したのから大きくは変わらない。

表 12 吸引通気式堆肥化システムを導入するためにかかったコストの概要

項目	金額、千円	備考
堆肥化施設	40,000	
建屋	25,000	レセプションピット含む
堆肥クレーン	15,000	制御装置 1 式含む
設備関係	14,000	
通気配管等	7,000	
アンモニア回収装置	3,000	耐熱仕様送風機 10 台、ドレイントラップ、高圧空気用サ
発酵排熱回収装置	3,000	ージタンク、スクリーコンプレッサ含む
制御盤	1,000	
その他	10,800	設計費、改造費等
総額	64,800	

吸引通気式堆肥化システムを管理、維持する中で必要となったコストの内訳を図 16 に示す。表 12 の導入コストを機械で 7 年、施設で 20 年かけて償却することとして(畜産環境整備機構、2005a)、そのほか電気料金や人件費など堆肥化処理に必要であったランニングコストを積み上げたものである。減価償却費を除けば副資材費が最も高くなるが、これは堆肥化処理の副資材としての利用に加えて、牛舎で敷料として利用する飼養管理面の価値も含まれている(伊吹ら、1999)。また、一般的な酪農での堆肥化施設では脱臭資材を使うことがまだ少ないが、A 牧場での吸引通気式堆肥化システムではアンモニア回収のためにリン酸や希硫酸などの脱臭資材が必要であり、その費用が図 16 には計上されている。

これら経費を積算してほかの堆肥化施設と比べると、吸引通気式堆肥化システムでは堆肥原料を 1t 処理するために 2,100 円が必要であり、開放型攪拌方式や密閉縦型攪拌方式など、他の堆

肥化施設の経費が3,100～3,600円/t必要であるのに対して(畜産環境整備機構、2005a)、低コストで堆肥化处理が可能と考えられる。本システムの設計や運用方法によっては、さらに処理規模を増してスケールメリットを引き出せる可能性があり、回収されたアンモニアを地域内で利用できる共同利用型の堆肥センターなどとしての利用も考えられる。

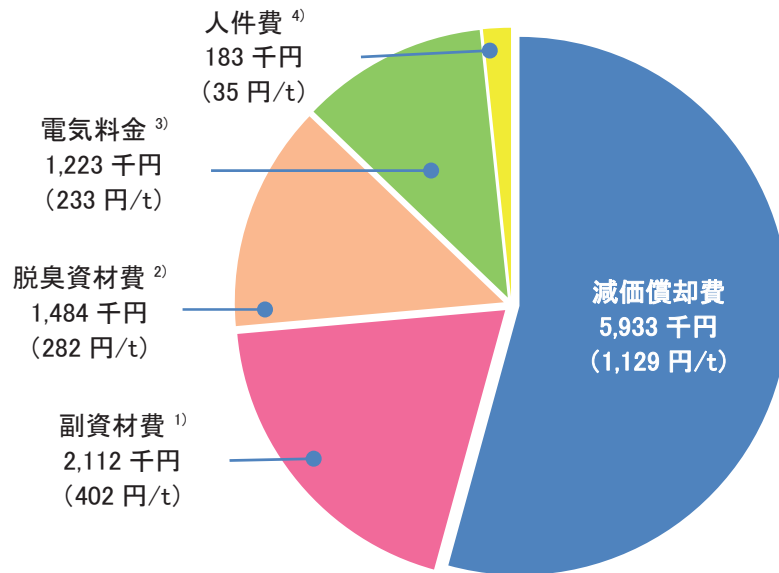


図 16 吸引通気式堆肥化システムを稼働するために必要であった1年間のコスト

- 1) バークとオガクズの購入費:約 960m³、2) 食品添加用のリン酸:7t、3) 35kW 契約、
4) 0.5 時間/人・日、図中のカッコ()内の金額は堆肥原料 1t あたりの処理に要したコスト

第3章 資源循環機能を生かした企業型大型酪農経営の調査結果

1) B 牧場の経歴

中華人民共和国(以下、中国)で企業型大型酪農経営を展開する B 牧場の設立の経緯と事業展開は大島(2011)の報告に詳しい。B 牧場の設立の動きは、2003 年に中国山東省の関係者が中国が抱える三農問題解決のため、C 法人に対して企業型農業経営を誘致したことから始まる。三農問題とは、中国における農業問題(低生産性)、農村問題(都市部との生活格差)、農民問題(都市戸籍と農村戸籍に起因する社会問題)である。

そこで、2006 年 5 月に、C 法人、D 法人、E 法人の 3 社が中国側から要請される形で企業型大型酪農経営のモデルとなる B 牧場を設立した。3 社の出資比率はそれぞれ 79%、13%、8%である。B 牧場は図 17 に示す 4 つの経営方針のもとで、B 牧場、地域、消費者の間の循環型農業モデルを打ち立ててインターネット等で公表している。

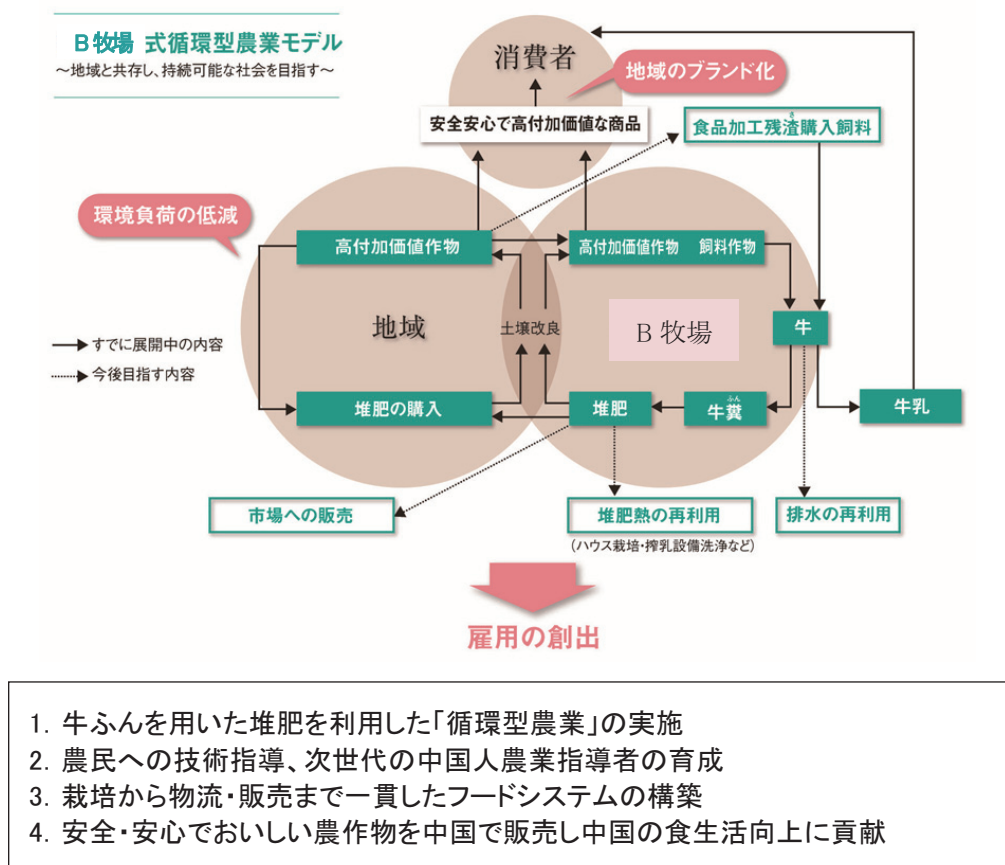


図 17 B 牧場がめざす循環型農業モデルと経営方針

B 牧場では、酪農部門で発生するふん尿を経営内で積極的に利用するため、飼料作物のほか、付加価値の高い野菜の生産も行う栽培部門を酪農部門と同列に置き、両者を有機的につなぐ資源循環部門を配している。また、B 牧場とは別会社となるが、2008 年に乳業部門が新設されたことで、生乳生産から加工、流通まで、B 牧場ブランドのもとで一貫した牛乳の生産・販売体制が築かれている。

図 18 に示す組織図のうち、総経理(社長)や副総経理(副社長)など管理部門の主要なポストはいずれも日本の C 法人からの出向社員であり、管理業務の経験者が派遣されている。一方で、乳牛部長や循環部長といった生産部門長は、かつて青年海外協力隊で海外農業指導の経験を持つ農業技術者が C 法人の外部から集められて指導にあっている。

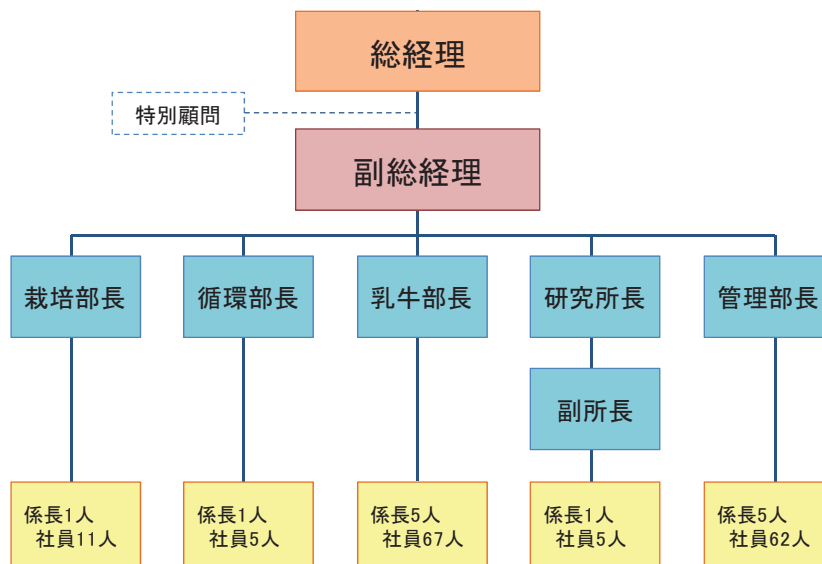


図 18 B 牧場の組織図(2012 年 12 月現在)

2) B 牧場が立地する山東省萊陽市について

B 牧場が立地する山東省萊陽市は山東半島の中部に位置し、市全体がなだらかな丘陵地帯にある。図 19 は萊陽市に近い山東省青島市の気象データであるが、山東省の夏は東京よりも涼しく、A 牧場がある那須塩原市(旧黒磯市)より暑い。冬は那須塩原市と同程度にまで気温が下がり、10 月から 4 月までの降水量は 50mm 未満と乾いた日が続く。

萊陽市の農業は食用トウモロコシ(表作)－小麦(裏作)、あるいは落花生－小麦の二毛作を中心とした畑作物の生産が主体であり、水田はほとんど見られない。また、この地域は日本向けの野

菜加工会社が多く、ホウレンソウ、コマツナ、ブロッコリー、白菜などの野菜の生産が盛んであるほか、中国では古くから「萊陽梨」が有名のように、梨や桃、リンゴといった果樹の生産も行われている(写真4)。

B 牧場の生産ほ場は、埴壤土や砂壤土、壤土が混在した土性であり、部分的に排水の悪い場所が点在する。牧場設立前の調査では、土壌の CEC は 12~19 とやや低めで、陽イオン飽和度は 95~109% であり、交換性陽イオンは全体的に不足していた。それまでの農業生産によって作土層の団粒構造が崩壊したのか、保水性や保肥力は必ずしも良好とは言えず、有機物施用などにより改善が必要な土壌であった。B 牧場周辺の農場では、農作物の生産性を高く維持するために化学肥料や農薬の投入量が年々増加する傾向にあり、現在は土壌劣化の問題が一部で顕在化している。

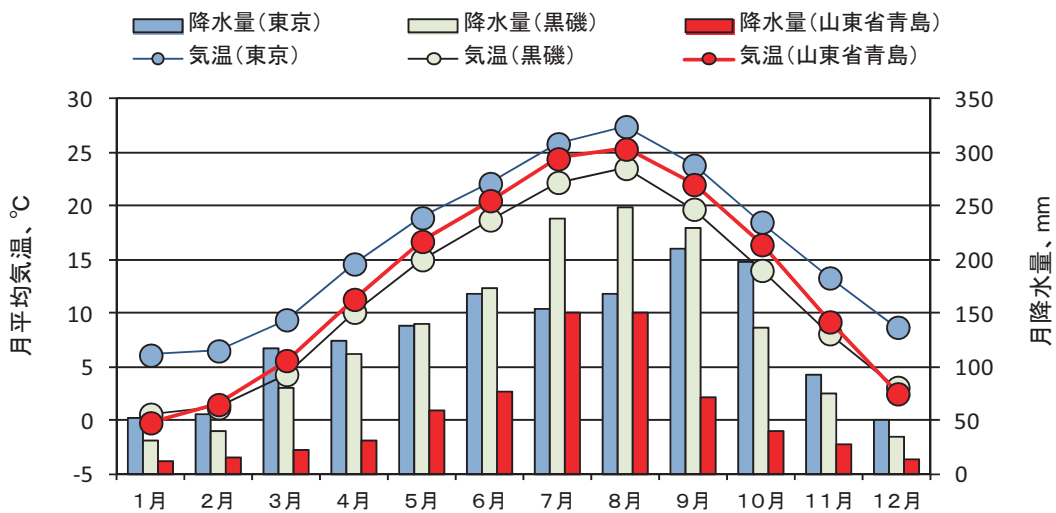


図 19 山東省(青島)の気温と降水量

東京と黒磯は 1981-2010 年の月平均値、山東省青島は 1986-2010 年の月平均値、気象庁ホームページ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)より



写真 4 萊陽市内のほ場の様子、食用トウモロコシ(左)と小麦(中央)、萊陽梨(右)の栽培

3) B 牧場の経営概要

表 13 に 2012 年現在の B 牧場の経営概要を示す。B 牧場の飼養規模は、ホルスタイン種の経産牛が 792 頭、未経産牛が 839 頭であり、2007 年にニュージーランドから約 400 頭、2008 年にオーストラリアから約 250 頭を導入して以降、その後は人工授精による後継牛を自家育成している。経営する耕地面積は 70ha であり、この他に約 230ha については堆肥施用と飼料生産を周辺の農家に委託している。経営耕地での栽培品目はデントコーン→小麦(食用)の二毛作が主であり、その他に栽培部が担当するスイートコーンなどの畑作物や施設園芸作物が含まれる。

以前の B 牧場には牛舎はなく、四方の 1 辺が給餌場となった土間のパドック計 11 牧区で搾乳牛が飼養され、牛はほとんどの時間を屋根のない野外で過ごすという、日本にはない飼養形態であった。年間の降水量が東京や那須塩原市の半分に満たないことがその理由であるが、夏場の降雨時にはパドックの泥濘化が著しく、また、パドックからのふん尿の回収が困難であったことから、最近では給餌場周辺に屋根を設置して、舎飼いの飼養形態に変更している。給餌場はトラクターけん引型の給餌用ミキサーの作業スペースが確保されており、自社調製したコーンサイレージを粗飼料にして、購入した濃厚飼料(大豆粕や圧扁トウモロコシなど)とともに朝晩 2 回給与される。搾乳時には、ミルクングパーラ(平行式 20 頭ダブル)までの 20~300m の距離を牛は歩いて移動する(図 20、写真 5)。



図 20 B 牧場の施設レイアウト(黄色部分が搾乳牛舎、赤色部分がミルクングパーラ)

表 13 B 牧場の経営概要

	B 牧場(2012.12 現在)
経産牛頭数	792 頭
未經産牛頭数	839 頭 (うち、育成預託頭数なし)
乳量	25.1kg/日
経営耕地面積	70 ha
飼料作付延べ面積	70 ha (裏作は小麦(食用)と一部加工野菜)
輪作体系	デントコーン→小麦(食用)の二毛作
経営形態	法人経営
労働力	163 人 (うち、酪農部門は 72 人)
飼料メニュー	サイレージ (デントコーン) 購入粗飼料 2 種 (アルファルファ、羊草) 購入濃厚飼料 2 種 (大豆粕、圧扁トウモロコシ)
ふん尿処理	堆肥化(一部は吸引通気方式の自動堆肥化装置) 経営内耕地、および近隣農地に 100%還元
搾乳方式	パラレル 20 頭ダブル
搾乳回数	2 回
後継牛	自家育成
繁殖判断・繁殖体系	行動観察、コンピュータ・人工授精後継牛(全頭)
外部への業務委託	デントコーン生産、および堆肥の利用 (約 230ha)

B 牧場の従業員は 163 人であり、このうち 72 人が酪農部門に配属されている。酪農部門の主な仕事は、搾乳や給餌、除ふんなど飼養管理業務であり、堆肥化処理については乳牛部と循環部で分担される。飼料の作付け・収穫作業は、野菜や施設園芸作物とともに栽培部が担当し、サイレージ調製については栽培部と乳牛部が共同で行う。契約農家での作付け計画や施肥設計、農薬散布等の栽培管理については循環部の担当であり、栽培作物の収集や堆肥の搬出、あるいは堆肥化副資材の調達も循環部が責任を持つ。

B 牧場の自社調査によると、平均乳量は 25.1kg/日であり、中国国内でみると平均よりも高い成績である。ニュージーランドやオーストラリアから導入された乳牛であることから、日本の高泌乳牛とは個体能力やその管理方法に明らかな違いがみられ、調達可能な濃厚飼料の量や質に加え、粗飼料の栽培や繁殖管理、飼養管理などの技術発展を見極めながら、B 牧場の実情に沿った牛の改良が独自に進められている。



写真5 B牧場の全風景(左上、手前のハウス群では食用トウモロコシなどを栽培、写真中央部の建物が社屋)と屋根付き牛舎に改修した後の様子(右上)、デントコーンのトラック持ち込み風景(左下)とミルクングパーラでの作業風景(右下)

4) 吸引通気式堆肥化システムの導入と堆肥化処理の流れ

2008年にB牧場に導入された吸引通気式堆肥化システムは、A牧場と同様に堆肥クレーンで切り返しを行う方式であり、農研機構畜産草地研究所や吸引通気式堆肥化システムの製造会社である岡本製作所の支援を得ながらB牧場が独自に施工したものである。約100m³の発酵槽が8槽とその前段にある60m³のレセプションピットが縦列配置され、本システムが竣工した後にレンガ造りの側壁や防風ネットの増設、目詰まりしにくい通気配管への改良などが進められた。

8槽ある発酵槽のうち、アンモニアの発生や発熱が盛んな第1～3槽までの堆肥原料は吸引通気方式で通気され(図21)、堆肥原料の底部から吸引された排気は直接熱交換器に導入される。A牧場で稼働中のアンモニア回収装置については今後整備の予定である。また、インパクトエアレーションシステムについても今のところ設備されておらず、当面は通気口表面を定期的に清掃することで目詰まりに対応する。したがって、A牧場に設置されたシステムに比べると、簡易な施設構成であり、その分だけ人力で補完する部分が多い。

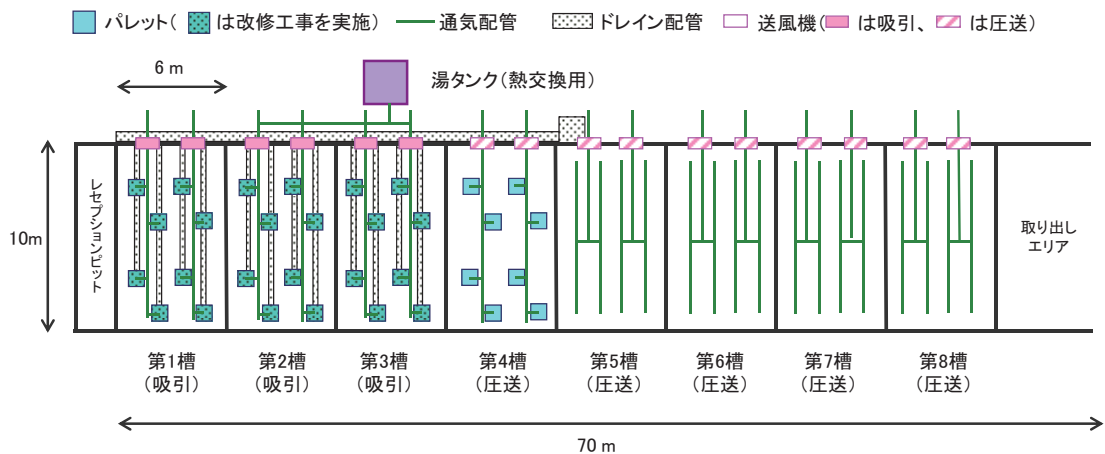


図 21 B 牧場で稼働中の吸引通気式堆肥化システムの配管図

発酵槽に投入された堆肥原料は、1 週間ほど堆積した後に次の発酵槽に堆肥クレーンで切り返され、8 槽分で約 8 週間の一次発酵を経る。図 22 中の 2 月 25 日投入のロットのように、堆肥化初期の発酵温度の立ち上がりに時間がかかる場合もあるが、発酵が始まれば堆肥は厳冬期であっても 70℃以上にまで昇温し、有機物分解率は 20～25%に達する。一次発酵を終了した堆肥はその後別の堆肥舎で堆積されて、これら堆肥の全量が経営内ほ場、あるいは契約農家のほ場で肥料として利用される。

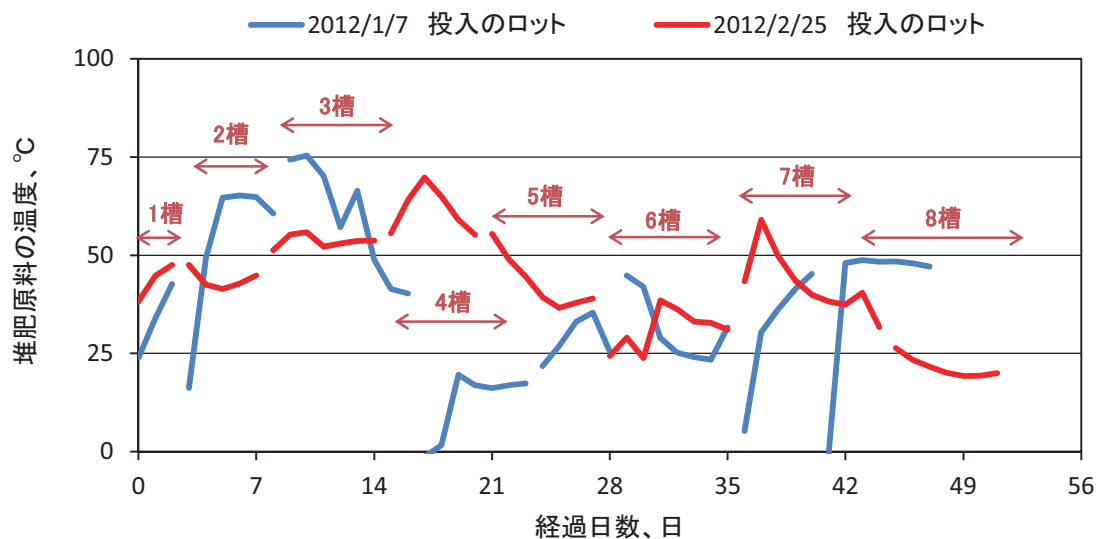


図 22 B 牧場の吸引通気式堆肥化システムでの堆肥の発酵温度
(試験期間中の最低～最高温度は、1 月：-8～2℃、2 月：-8～3℃、3 月：-1～9℃)

5) 牛舎、パドックからの牛ふんの回収

B 牧場での堆肥原料の 1 日あたりの発生状況を表 14 に示す。以前は、パドックからのボロ出し作業はシャベルと荷台を使った人力作業が中心であったが(写真 6 左)、ふんにパドックの土が混入して回収されることから、堆肥原料が灰分過多となって発酵温度の上昇が不安定となり、施設や機械への負荷が大きくなる不都合が生じた。現在はボロ出し箇所を給餌場周辺に限定してこの部分に土間コンクリートを打設し、毎日ホイロードでボロ出しする方式となっている(写真 6 右)。

表 14 パドックからの牛ふんの回収量とその性状

堆肥原料の発生量、t/週	127
t/日	18.1
うち、ふんの回収量、t/週	109
うち、副資材投入量、t/週	18.4
含水率、%	85.2
全窒素、N%	1.05
全リン酸、P ₂ O ₅ %	0.54
全カリウム、K ₂ O%	1.05



写真 6 シャベルと荷台によるボロ出し作業と(左)、ホイロードによるボロ出しのためにコンクリート土間打ち、屋根掛けされた給餌場周辺(右)

6) 副資材の検討

山東省萊陽市は、オガクズやバークなどの木質系の副資材の入手が極めて困難な地域であり、利用可能な副資材の確保は堆肥化処理の成立を左右する大きな課題である。そのため、山東省萊陽市周辺で今後も安定的に入手が可能な資材について、農家や企業に聞き取り調査を行い、

入手できたサンプルは肥料成分等の分析を行った(表 15)。

フスマや魚粉、あるいはリンゴ粕といった食品残さは肥料成分が高いが高価であり、量の確保という点でも副資材としての利用は難しい。オガクズについては、含水率が高く高価であり、こちらも食品残さと同様に量の確保が難しい。一方で、小麦ワラや落花生殻など農産残さは、含水率がやや高いものの比較的安価であり、大口ロットで入手可能なことから、現地で調達できる副資材として有望である。

表 15 副資材の調達に関する可能性調査

調査品目 ¹⁾	価格 元/t	かさ密度 t/m ³	形状	肥料成分 ²⁾			含水率 %	pH (H ₂ O)	入手難易
				全窒素 N%	有効態リン酸 P ₂ O ₅ %	全カリウム ³⁾ K ₂ O %			
小麦ワラ	150～600	0.050	刈取り渡し	0.47	0.27	1.3	38	7.9	易
小麦カラ	150～600	-	殻状	-	-	-	-	-	中
落花生殻	150～600	0.23	自然粉碎	-	-	-	50	-	中
トウモロコシ乾燥茎	-	-	立枯れ	1.0	0.36	1.03	15	7.8	中
オガクズ	500～1500	0.28	粗い粉状	-	-	-	60	-	難
フスマ	800～2000	-	粉状	2.0	1.37	0.75	13	6.5	中
魚粉	3000～6000	-	粉状	6.0	1.4	0.60	-	-	難
リンゴ粕	1000～2000	-	成型品	1.3	0.87	0.50	12	3.6	難
骨粉	3000～5000	-	粉状	1.2	14.4	nd	-	-	難

1) C 法人による山東省萊陽市周辺の農家、企業への聞き取り調査 2) 反復のない分析結果のため参考値、いずれも乾物あたりの濃度 3) nd: 検出限界未満

小麦ワラ(平均長:32.2cm、細断品長:5～10cm)、落花生殻、および対照としてオガクズを牛ふんに混合して堆肥化試験を行った際の温度変化を図 23 に示す。100 L 容量の発泡スチロール内に堆肥原料を充填した実験室規模の試験ではあるが、堆肥原料のかさ密度を 0.6 t/m³ に調整すると、いずれの条件でも堆肥化に伴う温度上昇がみられた。細断しない小麦ワラの場合は初発の温度がやや低かったものの、いずれの副資材でもオガクズに比べて同等かそれ以上に昇温した。

さらに、副資材として最も有望な細断した小麦ワラについて、6 週間にわたる堆肥化を追試した結果が図 24 である。こちらにも 100 L 容量の発泡スチロール容器を用いた実験室規模の試験ではあるが、かさ密度を 0.4 t/m^3 に調整すると堆肥原料の温度は 70°C 程度にまで昇温し、4 週後には切り返しを行っても昇温しないほどに腐熟が進んだ。現在は、荷受けの形状や副資材の前処理方法、それらに要するコストを検討している。

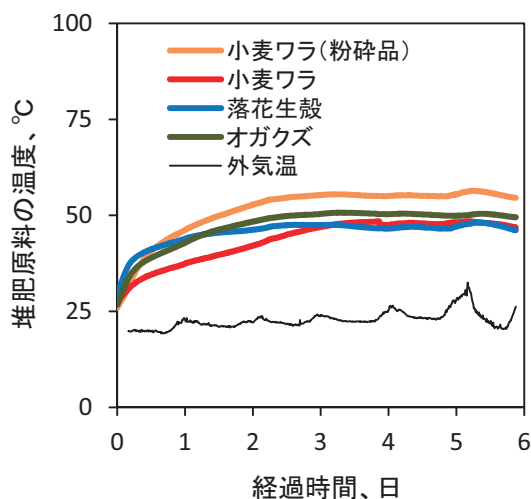


図 23 副資材による発酵温度の違い

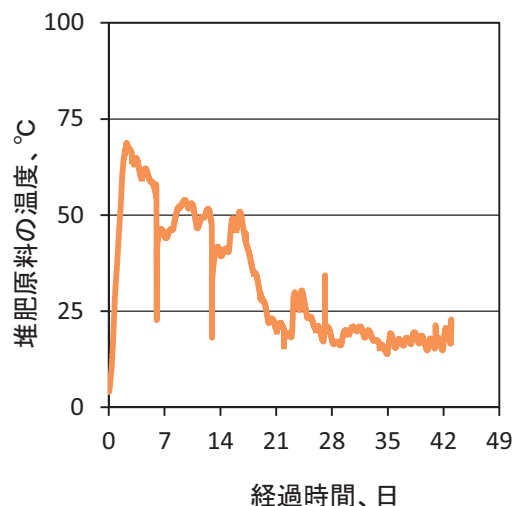


図 24 小麦ワラ(粉碎品)を混合した堆肥原料の発酵温度の変化

7) 堆肥の品質

表 16 は、表 6 に示した A 牧場や日本国内で生産される堆肥の肥料成分に加え、B 牧場での調査結果について併記したものである。前述の土間パドックから牛ふんを回収したときのデータであるため、堆肥原料に土が混入して堆肥の灰分が高く、窒素やリン酸、カリウムについては日本の平均的な牛ふん堆肥と同程度であり、マグネシウムやカルシウムはやや低い特徴がみられる。中国の有機質肥料基準である「中国農業行業標準(有機肥料)」では、全窒素と全リン酸、全カリウムの肥料成分の合計が乾物濃度で 5%以上とされるほか、pH は 5.5~8.5 の範囲にある必要がある。病害虫や病原性菌、あるいは重金属など土壌への危害要因についても基準が設けられているが、B 牧場の堆肥はこれらの基準を満たす(表 17)。

また、この基準では堆肥の含水率が 30%未満とされるため、牛ふんを原料とする堆肥化施設では通常は乾燥工程が必要になるところ、B 牧場では堆肥化過程の発酵乾燥だけで含水率 30%未満を達成できているため、今のところ乾燥工程を考える必要はない。この点は、水分蒸発に有利な吸引通気式堆肥化システムを導入したメリットとして特筆できよう(阿部ら、2008a)。

B牧場の堆肥は、70haの経営耕地に2~5t/10aが利用されるほか、小麦ワラやデントコーンとの物々交換のために、約300haの近隣農家のほ場でも利用される。収益性の高いリンゴやナシの栽培農家には、将来的に高品質な堆肥を選別して販売する計画である。2010年からは、堆肥の連年施用の調査を開始したところであり、土壌改良への効果や粗飼料を中心とした作物栽培への影響についてデータを蓄積している。

表 16 B牧場の堆肥の品質

項目	B牧場	A牧場 ¹⁾	全国平均 ¹⁾
含水率、%	25.5	65.5	52.3
灰分、%DM	54.7	14.9	28.7
pH	7.4	8.3	8.6
EC、mS/cm	3.7	4.44	2.4
T-N、%DM	1.8	2.1	2.2
うち NH ₄ -N、mgN/kgDM	—	82.8	—
うち NO _x -N、mgN/kgDM	—	110	—
P ₂ O ₅ 、%DM	1.6	1.2	1.8
K ₂ O、%DM	2.2	2.9	2.8
MgO、%DM	0.4	0.75	1.5
CaO、%DM	2.0	2.2	4.4
C/N	—	21.4	17.6

1) 表 6 から引用、日本の平均値

表 17 堆肥の危害要因の調査結果と中国での基準値

	測定値 ¹⁾	基準値 ²⁾
虫卵死亡率(%)	100	95 以上
大腸菌群数(個/g)	2.3	100 未満
As (mg/kgDM)	nd	75 未満
Cd (mg/kgDM)	nd	10 未満
Pb (mg/kgDM)	7.0	100 未満
Cr (mg/kgDM)	nd	150 未満
Hg (mg/kgDM)	nd	5 未満

1) nd: 検出限界未満 2) 中国農業行業標準(有機肥料)より

8) 発酵熱の回収の試み

B 牧場では、A 牧場と同様に、堆肥原料から発酵熱を回収する検討が進められている。すでに図 21 で示したように、発酵熱を回収する際の排気と熱の流れは A 牧場とほぼ同じで、吸引した排気に含まれる発酵熱を温湯に熱交換して回収する方式である。発酵熱を回収するための熱交換器は写真 7 に示すタンクコイル型であり、その仕様は表 18 の通りである。この熱交換器は、温湯の貯留槽も兼ねていることから A 牧場よりも大型な装置であるが、伝熱面積や伝熱面密度は A 牧場の熱交換器よりも小さい。

発酵熱を熱源にして得られた温湯の温度と熱収支に関する調査結果を図 25 に示す。夏季の調査であったことから、発酵排気の温度は A 牧場よりもやや高く 50~60°C で推移する中で、熱交換器内の水温は排気温度に近づく形で高まった。熱回収時期が後半に差し掛かると、排熱温度と水温の温度差が小さくなって温湯として獲得される熱量は少なくなるが、これは本熱交換方式の特徴である。得られた温水については、今後、牛舎管理用水や施設園芸ハウスの熱源としての利用を検討する予定である。



写真 7 B 牧場に設置された吸引通気方式用の熱交換器

表 18 B 牧場の熱交換器の仕様

型式	試作品
方式	タンクコイル型
材質	タンク部: SUS444 コイル部: SUS304
外寸	2,000 × 2,000 × 2,000 mm
容量	8.0 m ³
伝熱面積	2.9 m ²
伝熱面密度	0.363 m ² /m ³
質量	490 kg
その他	伝熱管長 16 m 伝熱管容量 130L

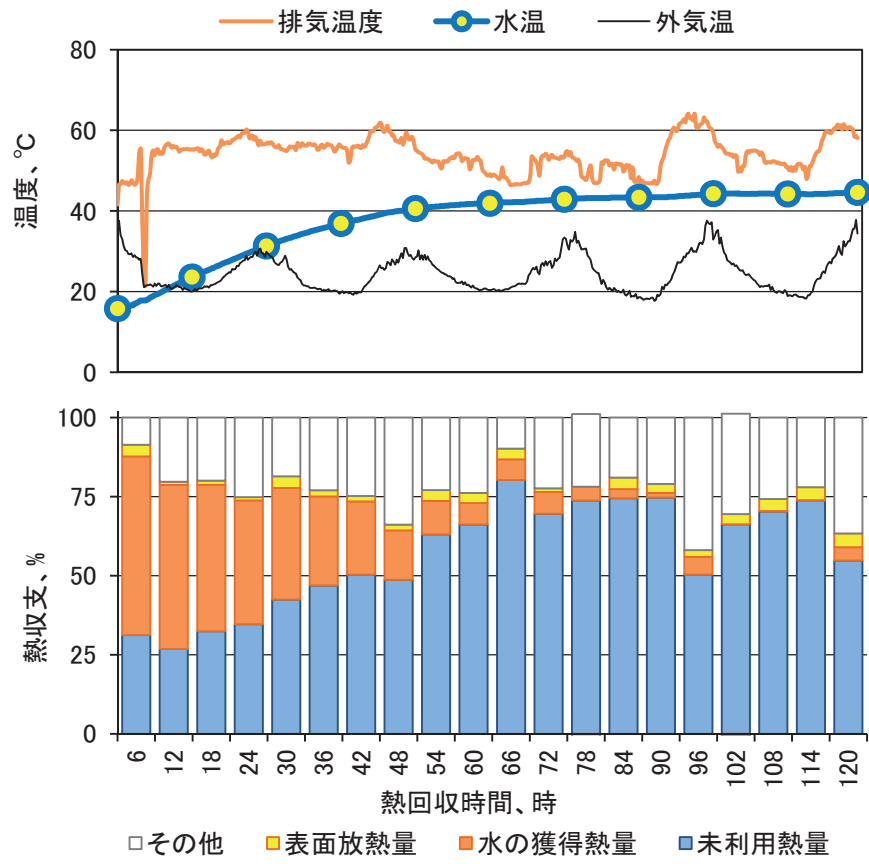


図 25 発酵熱を熱交換した際の水温の変化と熱収支

第4章 資源循環機能を生かした大型酪農経営の今後の課題と展開条件

1) 大型酪農経営での堆肥化処理

(1) 堆肥化処理のコストの考え方

最近の化学肥料価格の高騰や有機農産物の需要拡大などに連動して、家畜ふん堆肥への関心は高まっているものの、堆肥の販売益を畜産経営内の売上の柱としている生産者はほとんどみられない。堆肥化処理のコストと堆肥の販売額とが釣り合えば上出来である。一方で、堆肥化処理は化学肥料の代替効果など目に見える効果のほかに、土壌改良や畜舎周辺の環境保全といった定量化が難しい効果も確かに存在する。では、酪農経営において堆肥化処理に許容されるコストはどのくらいなのか。こういった率直な疑問に対する議論は以前から耳にするが、経営体の立地条件や飼料作物の作付け条件、乳価や飼料費など、経営を取り巻く様々な条件を加味して統一的に評価できる尺度はまだ整備されていない。

第2章のA牧場の事例では、図16に示したように堆肥化のコストの半分以上は施設や設備の減価償却費であり、家畜排せつ物法の完全施行前までは国からの補助金やリース事業によってこの負担を軽減できた。しかし、今後の酪農経営では、補助金に多くを望めないとの見方が大方であることから、経営の現状を踏まえつつ、堆肥化処理に必要な機能を見極め、施設の能力を慎重に検討して、必要最小限の支出に抑える姿勢が不可欠である。一方で、すでに導入された堆肥化施設であれば、償却年数が伸びるほど堆肥の生産コストの低減につながることから、施設や設備の維持管理や延命策(道宗、2011)に注意を払うことも忘れてはならない。

また、A牧場のケースでは堆肥化処理に要する人件費の割合が小さく(図16)、これは堆肥原料の切り返しや搬入出作業の自動化による効果大きい。家族経営を対象に調査した事例では、堆肥原料の搬入出や切り返し作業などに1日あたり2~3時間を要していることを考えると(杉本、2007)、大型酪農経営でこの部門の自動化を図ることは、経営により注力でき、売り上げに直結する部門へ労働力を集中できるメリットが得られ、労働生産性を高める上では合理的な判断と思われる。第2章でみたように、A牧場では実際にこの方式で20年近く安定した経営を実践している。単に安価な施設を求めるだけでなく、新しい技術を経営内に取り込んで、生産技術の発展と経営基盤の強化を両立していく視点も大型酪農経営では重要である。

(2) 堆肥化処理の技術的課題

前項でも触れたように、堆肥化処理施設の償却期間を延長するためには、施設や設備の維持管理方法や延命策を見直す時期にある。たとえば、通気配管が詰まって通気できない状態で送風

機が無駄に稼働しているケースや、屋根や側壁が壊れて堆肥が風雨に曝されている施設など堆肥化施設の機能を十分に発揮できていないケースがみられる。グリスアップや塗装によって機械の損耗や腐食の進行を抑える対策や、チェーンやVベルトの緩みや異音を早期に発見して大きなトラブルを未然に防ぐ日常管理は、軽視されがちではあるが大切な作業である。これらに必要な技術や労力を経営内に整備することが望まれるが、メーカーとメンテナンス契約を取り交わして外部化を図ることも考えられる。

経営規模が小さな場合はホイールローダ1台で対応できる作業であっても、大型酪農経営の場合は大きなロットで原料や資材を扱う必要がある。機械の大型化はもちろん必要になるが、コンベヤやクレーンなどで堆肥や資材の搬送ラインを組んで、施設機能の集約化や自動化を図る経営者の視点やセンスは重要である。しかし、特に個人型の大型酪農経営では、増頭増築を重ねて現在の経営規模に到達したケースが多く、その場合、牛舎や堆肥化施設などが分散配置されているために、ボロ出しから堆肥化処理・利用のための作業体系が効率的に組めないことは今後に残された課題である。その点、数戸合併型や企業経営型の大型酪農経営では、発展過程の段階で施設の新設や更新を図るタイミングに恵まれ、最新技術を導入した機能的な施設や作業体系に改善しやすい。

今回の事例で調査した吸引通気式堆肥化システムの脱臭方式は、牛ふんの堆肥化プロセスが順調であれば、悪臭成分の中でもアンモニアが特異的に発生することに着目して、開放型堆肥化施設でのアンモニア回収に力点を置く簡易な方法である。すべての悪臭成分を完全に無臭化することは想定されていないが、回収したアンモニアの有効利用が図れば、堆肥化処理における簡易ながらも効果的な悪臭対策技術といえる。また、脱臭装置に限れば、堆肥脱臭のほか、ロックウール脱臭や土壌脱臭などハードの選択肢は充実してきている(中央畜産会、1990)。ただし、悪臭問題は、従来からの技術的課題であるとともに、農場立地の地理的、地域的な要因に大きく影響を受ける問題でもある。立地する地域の悪臭に対する許容範囲や周辺の地形や風向き、悪臭の濃度や質など、経営体がおかれた状況に応じて個別に検討を要する案件であることは以前と変わりはない。

(3) 副資材の調達

都府県の酪農では、牛舎の敷料や堆肥化の副資材にオガクズやバークなど木質系資材を利用するケースが多く、ほとんどのマニュアルや指導書はこれらの木質系資材の利用を前提にして堆肥化処理の技術論を展開する。しかし、近年は木材の素材の取扱量がピーク時の半分以下となっており(図26)、オガクズの供給量もまた激減しているものと推測される。しかも、地球温暖化対策の

一環として木質バイオマスのエネルギー利用が推進されており、これと競合関係にある畜産への仕向け量が減少して、敷料や副資材の入手がますます困難な状況にある。

A 牧場もこの例外ではないが、敷料や副資材の一部を 10 年以上前から戻し堆肥で代替していることから、今のところ敷料や副資材の供給が止まる最悪の事態には至っていない。また、戻し堆肥の敷料利用は牛舎内の衛生管理、たとえば大腸菌をはじめ乳房炎の原因菌の抑制に有効であることや(細田ら、1997)、敷料資材を自給生産できる点でふん尿処理のみならず経営全般に優れた効果を発揮している(伊吹ら、1999)。ただし、A 牧場もまた、質の高い乾いたオガクズやバークの安定入手が困難な状況にあることから、特に冬季の堆肥原料の含水率が高くなり、そのために堆肥化過程だけでは敷料に求められる含水率まで戻し堆肥を乾燥できないことが今回の調査で確認されている。堆肥化処理後に戻し堆肥の乾燥工程を新たに増やすか、あるいは、オガクズやバークの一部を代替する新たな資材の導入を真剣に検討する段階にある。

一方、B 牧場は畑作地帯にある立地を生かした堆肥化副資材の選定を行ってきた。その結果、現在では堆肥との物々交換により地域内で小麦ワラ等の副資材を調達できている。小麦ワラは日本の酪農でもよく使われていたが、最近では競走馬用途の需要も高く、敷料としては比較的高価な資材である。B 牧場周辺の耕種農家で収集された小麦ワラは耕種農家の手で B 牧場へ搬入され、しかも、持ち込み時期を B 牧場が指定できる好条件で物々交換が行われる。B 牧場にとっては副資材のストック場所も最小限で済むことになり、畑作地域に立地するメリットを最大限に引き出している。

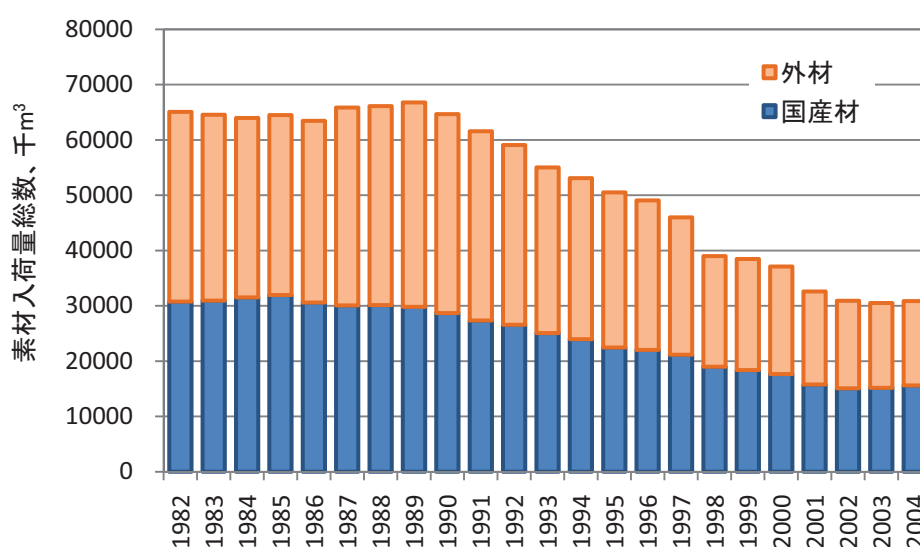


図 26 木材の素材入荷量総数の年次変化(農林水産省統計部、2007)

2)大型酪農経営と循環型酪農経営の両立

(1)ほ場面積と立地条件

日本での持続的な酪農経営のためにはどれくらいのは場が必要か、という問いに対して、飼料自給率を改善するマクロな視点を始め、家畜排せつ物処理と良質な粗飼料生産を両立する飼養管理の視点、周辺環境を保全する視点、大型化する酪農経営の視点など様々な切り口から議論が交わされてきた(農林水産省草地試験場、1988;酪農総合研究所、1999;寶示戸ら、2003;畜産草地研究所、2003;市川、2007)。このような議論がある中で、2011年には国の「酪農環境負荷軽減支援事業」が開始され(農林水産省、2012)、経産牛1頭あたり北海道では0.4ha、都府県では0.1ha以上の飼料作物作付延べ面積を有する酪農家等が支援対象となった。飼料の作付面積が農業環境規範の一つの要件として具体化されたものである。農林水産省から提示された作付面積は、北海道、都府県いずれも図5、6で示した大規模酪農経営での経営耕地面積の現状に沿ったものであり、集水域や地下水への溶脱程度によっては地域的な見直しは必要になるものの、日本ではこれらの支援条件が当面の必要な耕地面積の目安になるものと思われる。

A牧場は131頭飼養で13haの経営耕地面積であるから、経産牛1頭あたり0.1haの経営耕地面積(作付延べ面積で0.2ha/頭)となり、上記事業の支援対象であるとともに、都府県にある大型酪農経営の経営耕地面積に比べ1.4倍を有する(表3、図6)。A牧場は土―餌―牛の資源循環を酪農経営の理念に掲げていることは第2章で述べた通りであり、増頭とともにほ場の集積にも意識が高かったことが経営する耕地面積に表れている。A牧場の堆肥全量が施用されたほ場では、サイレージ調製したものではあるが、硝酸態窒素が低くミネラルバランスも取れた良質な粗飼料が生産されている(表10)。土壌中の交換性陽イオンや有効態リン酸の経年的な集積については、将来的な対策が必要なものの、A牧場の堆肥施用と飼料作物栽培の体系は20年にわたり継続されており、今のところ飼養頭数と耕地面積とのアンバランスによる問題は見られない。

一方、B牧場は経産牛792頭飼養で70haの経営耕地面積であるから、1頭あたり0.09haの経営耕地面積となり、図6で示した都府県の大型酪農経営の実情に近い。ただし、第4章で述べたように、堆肥と麦ワラの間々交換や堆肥の供給を前提にした耕種農家との飼料作物の委託栽培(約230ha)を行っており、これらを加味した正味の作付面積は0.38ha/頭となって、これは北海道の大型酪農経営の平均に近い水準である。多くの中小家畜経営と同様に、大型酪農経営も今後は飼料購入が有利な土地に集中することが考えられるが、B牧場のように副資材の入手が容易で、堆肥の流通、利用先の選定に苦労しない立地の選定もまた、経営存続に必須の条件になろう。

(2) 堆肥化処理の外部化の可能性

家畜排せつ物法の施行に前後して、国内では多くの堆肥センターが設置された。これらは堆肥化処理を個別経営より外部化して酪農経営を支援するとともに、堆肥を地域内で循環利用しようとするものである。しかし、その多くは市町村や農業団体などからの資金的な支援を受けて運営されており、処理経費の徴収や堆肥の販売益だけで黒字を計上している堆肥センターはわずかである。

第 1 章で述べたように、家畜ふんの堆肥化処理はふん尿の処理機能と肥料の生産機能との二面性を持つことになり、まずはこの機能を整理、認識してから外部化への対策を講じる必要がある。ふん尿を廃棄物として処理する視点であれば、産業廃棄物処理業者が汚泥や食品系の廃棄物を受け入れるケースが一つの目安になるが、酪農経営ではコスト的に成り立たない選択肢である。一方、肥料生産の視点に立てば、堆肥そのものの市場評価は低く、ばら販売で 3,400 円/t、袋詰めで 170 円/10kg(17,000 円/t)とされ(農林水産省統計部、2005)、図 16 に示した A 牧場での原価計算や流通コスト、数十円/袋かかる袋代のほかに梱包費用を考えると、現状では堆肥部門の独立した経営はとてもしんどい。

レイヤーの鶏ふんを原料にした例ではあるが、普通肥料(加工家きんふん肥料)の製造、販売により堆肥部門だけで粗収益を上げている畜産生産者が知られている(村上、2008)。ここでのポイントは、窒素濃度を高く維持した堆肥生産技術を強みにして、県内のエコファーマーを中心に固定のユーザーを確保したことである。ふん尿処理施設を「肥料製造工場」と明確に位置付けて、ユーザーのニーズをくみ上げる努力を惜しまない経営姿勢も特筆できよう。こういった取り組みであれば堆肥化処理の外部化の可能性が見えてくるが、決して多くの生産者が真似できる方法とはいえない。むしろ、堆肥の生産作業のほかにも、堆肥の販売促進や技術開発に人員配置が可能な堆肥センターなどがこういった事例を分析し、酪農経営体への支援強化を図っていくことが期待される。

(3) 酪農経営での耕種部門の内包化の可能性

堆肥センターなど、堆肥化処理が外部化される動きがある一方で、B 牧場のように堆肥の生産、利用部門を経営内に内包する例が国内の大型酪農経営体でも見られるようになった。稲作と大家畜飼養を複合的に経営する例は以前から知られているが、これらは稲作に使われていた役畜が家族経営の中で酪農や肉牛生産に拡張されたものである。しかし、今回の B 牧場の事例は、大型酪農経営体が収益性の高いスイートコーンなど野菜生産に新たに進出しているものであり、しかも、それらはマネジメントの下で戦略的に運営される点に特徴がみられる。

日本の農業では家族経営を単位にしてそれぞれの作目で専門化が進み、効率的な生産構造

が築かれてきたが、作目間の縦割りが強くなり、横のつながりである耕畜連携が進まない背景ともなってきた。その反面、大型酪農経営の場合は、集約化、大型化された資本とマネジメント機能を基盤にして、労働力や資材の流れを柔軟に再編できる点で経営内での耕畜連携の実現性は高い。また、畜産経営での耕種部門の内包化は、経営外への堆肥の流通、販売のための負担を軽減して立地条件の制限を緩和するとともに、経営内の生産品目の多角化による経営の安定化という潜在的なメリットも存在する。

一方で、耕種部門を内包化するためには、酪農以外の高度な栽培技術や機械・施設を導入し、それらを経営内に定着させる必要がある、そこには高い技術力とマネジメント機能の発揮が求められる。家畜ふん堆肥の肥効が化学肥料のように一定でないことや、堆肥との相性がよく収益性の高い作目を発掘、選定することなど技術的に超えなくてはならないハードルはまだ多いが、B 牧場の新たな試みの成果が待たれる。

3) 技術開発の方向性

(1) 堆肥の高機能化、高付加価値化

有機農産物の需要の拡大や特別栽培農産物の認証制度の整備が進み、これらは最近の堆肥需要を後押ししている。さらには、2012年8月には肥料取締法にある普通肥料の公定規格が見直され、肥料の種類に「混合動物排せつ物複合肥料」と「混合堆肥複合肥料」が加えられた。今まで肥料メーカーは、有機入り配合肥料などの普通肥料の有機物原料として、普通肥料登録された魚カス粉末や油カス類などを使用する必要があったが、今回の見直しにより、牛ふん堆肥や豚ふん堆肥についても普通肥料の原料として扱うことが可能となった。言い換えれば、家畜ふん堆肥に窒素肥料など不足する肥料成分を混合して肥効を調整することが可能となり、堆肥の利便性が大きく向上する。同時に、家畜ふん堆肥を原料にした新肥料の開発とその利用方法を確立するための技術ニーズが発生する。

家畜ふん堆肥の肥効や機能性に着目した既往の研究では、ブロードキャスタなど耕種農家が所有する農作業機械で堆肥施用を可能とするペレット成型化技術(原、1999;薬師堂、2000)や、堆肥に含まれる腐植性物質と堆肥化方式との関係解明(谷ら、2009)、あるいは、土壌病害抑制や浄化処理での堆肥由来微生物の利活用(鈴木ら、2010;小島ら、2011)などが取り組まれてきた。今後は、このような堆肥に関わる科学的な知見をさらに積み上げ、堆肥の付加価値に転化して堆肥の新たな需要の発掘や有利販売に向けた取り組みも重要になろう。

(2) 堆肥とエネルギー

図 16 で示したように、堆肥化過程では繰り返しや通気に多くの電力を消費し、このことは堆肥生産のためのコストを高める要因になっている。そのため、堆肥化処理で省エネルギーを図る観点から、独立型太陽光発電を採用した堆肥化施設(道宗、2003)や、パッシブ通気や間欠通気による省電力型の通気方法が検討されてきた(田中、1998;小山、2007)。東京電力福島第一原子力発電所事故後の電力事情が非常に厳しい中では、これらのエネルギー消費とランニングコストを抑えた堆肥化処理技術の重要性が再認識されるとともに、その実効性が強く求められるものと考えられる。

また、第 2 章と第 3 章で吸引通気方式の発酵熱回収技術について紹介したように、未利用エネルギーの活用もまた、省エネルギー対策と並んで関心の高い技術開発の方向性である。ちなみに、吸引通気方式では発酵熱を熱源にして温湯が回収でき、低熱源ではあるがその回収熱量は乳牛 120 頭規模で 18.5kW(A 重油換算で 1.2kL/月)に及ぶことが明らかになっている(小島、2013)。この発酵熱の回収技術は吸引通気式堆肥化システムだけを対象にしたものではなく、普及台数の多い密閉縦型堆肥化装置での応用も期待される。当面は農研機構畜産草地研究所のプロジェクト課題の中で、発酵熱の回収で得られた温湯を家畜の飲水に利用する飼養管理技術の開発に引き継がれるが、将来的には、発酵熱を熱源にした熱電発電やバイナリー発電など、電気エネルギーへの変換技術への展開も考えられる。

最後に、家畜ふん堆肥を肥料用途以外の新たなバイオマス燃料として利用する技術に対して期待が高まっている。宮崎県には、県内で発生するプロイラーふんを主な燃料源にしたボイラー施設や発電施設が稼働しており、いずれも株式会社として運営されている(甲斐、2007)。家畜ふんを燃料にした事業は 2011 年現在で九州管内で 3 件、発電出力にすると計 15,000kW に及ぶとされ(田中、2011)、2012 年から始まった再生エネルギー固定価格買取制度の後押しもあって、今後もこれらの事例は増えるものと思われる。また、セメント製造時の原燃料としても家畜ふん堆肥の利用が検討されており(阿部、2012)、堆肥の肥料利用を介した耕畜連携の枠をさらに広げて、物質循環とエネルギー循環を介した工畜連携も模索されている。

【引用文献】

- 阿部佳之、伊吹俊彦、宮竹史仁、本田善文(2008a):吸引通気式堆肥化处理技術の開発(第3報)、農業施設、38(4)、p249-262.
- 阿部佳之、本田善文、宮竹史仁、岡本富夫(2008b):地下ピットに対応できる電動ホイストを活用したクレーン式堆肥切り返し装置、農研機構 畜産草地研究所、
<https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2011/index.html>
- 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、11、p2-6.
- 阿部佳之、澤村篤、君田美智雄(2012):セメント製造向けの燃料用家畜ふん堆肥の生産技術の開発、畜産草地研究所技術レポート、11、p1-43
- 畜産環境整備機構(1997):家畜ふん尿処理利用の手引き、p5.
- 畜産環境整備機構(2005a):家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック(堆肥化施設処理施設編)、p74-249.
- 畜産環境整備機構(2005b):堆肥の品質実態調査報告書、p14-52.
- 畜産草地研究所(2003):自給飼料で牛は何頭飼えるのかー飼料自給率向上のための低減(試案)ー、p1-100.
- 中央畜産会(1990):畜産における臭気とその防止対策、中央畜産会、p131-180.
- 中央畜産会(2003):堆肥化施設設計マニュアル、p1-246.
- 中央畜産会(2010):畜産環境保全支援指導マニュアル、p28.
- 道宗直昭(2003):自然エネルギー活用型堆肥化装置、畜産の研究、57(2)、p267-271
- 道宗直昭(2011):堆肥センターのストックマネジメント、堆肥センターだより、23、p2-4.
- 原正之(1999):成型家畜ふん堆肥(ペレット堆肥)、農業技術体系(畜産編第8巻環境対策)、農山漁村文化協会、p184-14~19
- 寶示戸雅之、池口厚男、神山和則、島田和宏、荻野暁史、三島慎一郎、賀来康一(2003):わが国農耕地における窒素負荷の都道府県別評価と改善シナリオ、日本土壤肥料学会誌、74、p467-474.
- 細田紀子、渡辺工一(2007):環境性乳房炎の予防ー一次発酵堆肥の敷料利用ー、畜産の研究、51(2)、p290-294.
- 伊吹俊彦、畠中哲哉、斎藤雅典、関澤音朗(1999):自動切返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化处理、草地試験場研究報告、58、p38-57.

- 市川治(2007):資源循環型酪農・畜産の展開条件、農林統計協会、p1-273.
- 甲斐敬康(2007):宮崎県における鶏ふん焼却によるバイオマスエネルギーの利活用、畜産環境情報、36、p7-16
- 小島陽一郎、松田従三(2011):下水汚泥と家畜ふんを原料とする浄化槽用シーディング剤、農業機械分野におけるバイオマス研究最前線、農業機械学会、p151-154.
- 小島陽一郎(2013):低温熱源である堆肥発酵熱を回収して温水へ変換するシステム、農研機構研究成果情報(畜産・草地)、
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/220d0_01_49.html
- 小山太(2007):インバータとタイマーの併用による通気式堆肥舎の低コスト・省エネルギー化、畜産技術、624、p10-13.
- 村上圭一(2008)、鶏ふんのペレットたい肥化による利用の促進、平成 20 年度耕畜連携たい肥利用推進研修会(東海農政局)、
<http://www.maff.go.jp/tokai/seisan/tikusan/manure/manure201111.html>
- 中澤功(2010):真鳴酪農場の発展過程～家族労働力主体の循環型大規模酪農経営の発展と経営者の思考・行動～、農研機構 北海道農業研究センター 水田作研究領域発行、p1-31.
- 農業機械化研究所(1979):堆肥製造の機械化に関する研究、農業機械化研究所研究成績、53(5)、p 1-27.
- 農研機構(2006):農業技術事典 NAROPEDIA、農文協、p1509.
- 農研機構(2010):日本標準飼料成分表(2009年版)、中央畜産会、p1-287.
- 農林水産長期金融協会(2005):北海道における酪農とメガファームの展望に関する調査報告書、
<http://www.nokinkyo.or.jp/pdf4/megafarm-17zisyu.pdf>
- 農林水産省(2011):畜産統計(H4～23)、<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/#1>
- 農林水産省(2012):酪農環境負荷軽減支援事業の手引き、
<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyotaisaku/>
- 農林水産省草地試験場(1988):関東東海地域飼料作物畑土壌診断基準作成検討会報告書、p1-40.
- 農林水産省統計部(2005):たい肥等特殊肥料の生産・出荷状況調査報告書、
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kankyozittai/taihi/index.html>
- 農林水産省統計部(2007):木材需給報告書、<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/>
- 大島一二(2011):朝日緑源の到達点と今後の発展方向にかんする報告、山東朝日緑源農業高新技术有限公司、p7-14.

- 酪農総合研究所(1999):大型酪農経営における乳牛飼養管理技術の諸問題とその改善策に関する調査研究、酪総研調査研究報告書、87、p1-60.
- 杉本清美、大泉長治(2007):簡易・低コスト堆肥化施設の現地事例、千葉畜セ研報、7、p47-52.
- 鈴木啓史、村上圭一、黒田克利、加藤直人(2009):トマト根腐萎凋病を抑制する堆肥中微生物の最小菌密度、関西病虫害研究会報、51、p33-35.
- 田中章浩、薬師堂謙一、嶋谷智佳子(2002):堆肥吸着による脱臭システム、農研機構 研究成果情報(畜産・草地)、
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2002/konarc02-14.html>
- 田中章浩(2011):九州地域における家畜ふん尿を用いた発電および熱利用の事例にみる利用拡大の可能性、畜産コンサルタント、47(12)、p30-33.
- 田中康男(1998):土木用排水資材を利用したパッシブ通気堆肥化の可能性に関する検討、日本畜産学会報、69(12)、p1106-1110.
- 谷昌幸、李香珍、加藤拓、宮竹史仁、藤嶽暢英、小池正徳(2011):大規模堆肥化処理方式が牛ふん尿堆肥の腐熟度と腐植化に及ぼす影響、農業施設、42(1)、p8-17.
- 矢坂雅充(2001):酪農メガファームにおける個と集団、畜産の情報(国内編)、143、p4-13.
- 薬師堂謙一(2000):乳牛ふんの堆肥化方式と堆肥のペレット化、九州農業研究、62、p19-24.
- Willson, G. B. (1983): Forced aeration composting, Wat. Sci. Tech., 15, p169-180.
- 全国農業協同組合中央会(1993):堆肥の品質推奨基準、
http://www.chikusan-kankyo.jp/taihiss/taihi/S01/1_3_3.htm

謝辞

この技術レポートは、農研機構畜産草地研究所とアサヒグループホールディングス（株）との共同研究「吸引通気式堆肥化システムによる温室効果ガス発生低減効果の検証と改善技術の開発」（2009～2012年）の中で得られた成果を中心にまとめたものである。共同研究を立ち上げ実施するにあたっては、農研機構本部研究管理役の本田善文氏（当時上席研究員）、（株）アサヒビールフィールド代表取締役社長の宮原照夫氏（当時アサヒビール（株）豊かさ創造研究所長）、アサヒビール（株）吹田統括工場長の青木賢吉氏（当時アサヒグループホールディングス（株）R&D センター所長）、アサヒグループホールディングス（株）R&D センター所長の大竹康之氏から格別なるご支援を賜った。また、本レポートで取り扱った吸引通気式堆肥化システムは、農林水産省プロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル研究」（2002～2006年）、「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」（2007～2011）に参画し、有限会社岡本製作所との共同研究の中で開発され、（財）畜産環境整備機構「家畜排せつ物利用促進等技術開発普及事業」により実証展示機の導入と普及に向けたブラッシュアップを図ることができた。

本レポートを取りまとめるにあたっては、農研機構畜産草地研究所の家畜飼養技術研究領域の塩谷繁研究領域長、アサヒグループホールディングス（株）豊かさ創造研究所の川村公人所長より、ご多忙な折に丁寧なご校閲をいただいた。農研機構畜産草地研究所の須永義人主任研究員と松山裕城主任研究員からは、作物栄養や乳牛の専門家として多くの助言をいただいた。那須塩原市の酪農家眞嶋雄二氏からは、乳牛の飼養管理や飼料作物栽培について酪農経営者の立場から貴重な助言をいただいた。山東朝日緑源農業高技術有限公司の三原大輝氏からは、中国の農業事情やB牧場についての情報提供を多数いただいた。

本技術レポートの発行に際し、ご協力いただいた関係者各位に厚くお礼申し上げます。

本技術リポートから転載・複製を行う場合は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所の許可を得て下さい。

技術リポート 14 号

資源循環機能を生かす堆肥化処理技術

－大型酪農経営への導入に向けた課題と展開条件－

発行日 2013 年 9 月 30 日

発行 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
畜産草地研究所

〒 305-0901 茨城県つくば市池の台 2
Tel 029-838-8600 (代表)

著者 阿部佳之 (農研機構畜産草地研究所)
小島陽一郎 (農研機構畜産草地研究所)
天羽弘一 (農研機構畜産草地研究所)
浜崎隆史 (アサヒグループホールディングス(株) 豊かさ創造研究所)
白井建史 (アサヒグループホールディングス(株) 豊かさ創造研究所)
高崎智子 (アサヒグループホールディングス(株) 豊かさ創造研究所)

