

【論 文】

貯留中の乳牛ふん尿スラリーから発生する環境負荷ガスを抑制する撥水加工肥料資材の開発と評価

坂本直久*・谷 昌幸**・小池正徳**
倉持勝久**・岸本 正**・梅津一孝**

【要 旨】 本研究では、貯留中の乳牛ふん尿スラリーから発生する環境負荷ガスを低減するため、化学肥料を撥水加工した革新的なカバー資材を開発し、その抑制効果の評価とメカニズムについて検証した。スラリーは、メタン発酵前と発酵後の2種類を用いた。資材は、スラリー上に浮かべることができるようにし、また農地還元する上で不足する植物養分を補給するために、微粉碎した化学肥料に疎水性シリカを混合することにより調製した。実験室規模で13日間のガス発生量を測定した。アンモニアやメタンの積算発生量はメタン発酵後のスラリーの方が発酵前のそれよりも高かった。本資材を供試することにより、スラリーから発生するガスの吸着またはスラリーの発酵挙動が変化し、アンモニアやメタンの発生量が著しく減少した。さらに、資材の一部が溶解してスラリーの養分量が増加するので、本技術は農作業の効率化が図られるとともに、畜産廃棄物の有効利用に役立つと考えられる。

キーワード：畜産廃棄物、スラリー貯留槽、アンモニア、温室効果ガス、環境汚染

1. はじめに

近年、畜産経営の規模拡大と、混住化社会の進展などに伴って悪臭や水質汚濁などの畜産環境汚染が問題となっている¹⁾。また、このような人間の感覚で捉えられる典型的汚染問題の深部に、畜産業のあり方そのものが根本的に問われるべき大きな問題が潜んでおり、中でも不適切なふん尿処理の現状が指摘されるようになった。最近ではさらに、温室効果ガス、酸性雨、オゾン層破壊といった地球環境に影響を及ぼす気体についても、家畜ふん尿の寄与を指摘する声もある²⁾。

家畜ふん尿は、日本全国の産業廃棄物総排出量の約2割、特に北海道においては約5割を占めているが、必ずしも適正な管理がされているわけではない³⁾。北海道の

草地型酪農地帯では、特にフリーストール牛舎から排出される水分含量が高い乳牛ふん尿を対象に、スラリーにして処理する方式が多く見られるようになってきた⁴⁾。この方法では、ふん尿を草地に圃場還元するまでスラリーストアーと呼ばれる貯留槽に貯められるが、貯留槽は上部開放型のため、農地還元するまでの貯留中には、臭気および環境負荷ガスを広く環境中に拡散している^{5,6)}。わが国では、スラリーストアーから発生するこれらガスについての規制は定められていない。一方、欧州では貯留中の家畜ふん尿に対しても環境規制が定められており、ドイツのガイドラインにおいては、ふん尿の屋外貯留には密閉タンクの使用を命じている⁷⁾。しかし、既存のスラリー貯留槽を密閉化することは容易ではなく、多くの費用を要するため、現実的ではない⁸⁾。そこで、簡易カバー資材を用いた研究が行われており、油、麦わら、発泡スチロール、粘土資材などをスラリー上部に積層させることにより、アンモニアやメタンなどの環境負荷ガスの低減効果が報告されている⁸⁻¹¹⁾。しかし、このようなカバー資材を用いた場合には、環境負荷低減効果は期待できるものの、畜産業の経営メリットはなく、環境規制がない状況下においてはその利用が普及すると

原稿受付 2007.6.1 原稿受理 2007.11.19

* 榊モリタ 環境科学研究所

** 帯広畜産大学

連絡先：〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地

帯広畜産大学地域環境学研究部門 谷 昌幸

E-mail: masatani@obihiro.ac.jp

は思えない。

一方、著者らは、これら欧州での研究とは視点を換え、化学肥料を撥水加工した革新的なカバー資材を考案した。この技術については特許として出願されており、現在公開中である（特開 2007-21295）。本カバー資材は、乳牛ふん尿スラリーを草地還元する上で不足する窒素、リン酸などの植物養分を補うべく、リン酸二水素アンモニウムと硫酸アンモニウムの混合物を原料とし、スラリー上に積層させるために疎水性シリカを添加するとともに微粉碎処理を施した。その結果、貯留中の乳牛ふん尿スラリーから発生するアンモニアやメタンといった環境負荷ガスを抑制するとともに、カバー資材がスラリーとの界面で緩やかに溶解することによるスラリー中養分含有量の増加を認めた¹²⁾。しかし、上記の研究では乳牛ふん尿スラリーを草地還元することを想定したため、窒素とリン酸を含む化学肥料を撥水加工した資材のみを供試したが、対象とするスラリーの原料や処理方法ならびに、圃場において栽培する作物種によってはスラリーの養分調整に用いる化学肥料の種類が多岐にわたる可能性が高い。この場合、前報¹²⁾と同じ環境負荷ガスの抑制効果を得られるとは限らない。

そこで本研究では、乳牛ふん尿スラリーを農地還元する上で不足するリン酸やカルシウムなどの植物養分を含む化学肥料を、前報と同様に処理した撥水加工肥料資材（カバー資材）を供試し、乳牛ふん尿スラリーへの積層状況ならびに環境負荷ガス発生抑制効果の評価するとともに、抑制メカニズムについて検証することを目的とした。

2. 試料および方法

2.1 供試試料

乳牛ふん尿スラリーは、帯広畜産大学附属畜産フィールド科学センターのバイオガスプラントにおいて採取した。バイオガスプラントに投入する前の未発酵スラリー（以降、発酵前スラリーと記載）を原料受入槽から、メタン発酵後の発酵済スラリー（以降、発酵後スラリーと記載）をメタン発酵槽から採取した。採取した試料は実験を開始するまで 2℃ で保存した。

本研究ではカバー資材となる化学肥料の原料として以下の 3 点を供試した。前報と同様に①窒素とリン酸をスラリーに供給するために、リン酸二水素アンモニウムと硫酸アンモニウムの混合物（重量比約 1:1）を、②リン酸とカルシウムを供給するためにリン酸肥料として一般的に用いられている過リン酸石灰を、③カルシウムを補給するために土壌酸性矯正資材として広く用いられて

表 1 撥水加工肥料資材（カバー資材）の概要

資材名	原料に用いた化学肥料	資材に含まれる肥料成分含量*		
		N	P ₂ O ₅	CaO
① NP	リン酸二水素アンモニウム 硫酸アンモニウム	15	25	—
② SP	過リン酸石灰	—	16	19
③ CC	炭酸カルシウム	—	—	52

*肥料成分量は肥料取締法に基づく表記法に準じ、窒素は N、リン酸は P₂O₅、カルシウムは CaO として表記した

いる炭酸カルシウムを供試した。次に、化学肥料の総質量に対して 8 wt.% の疎水性シリカ剤を添加し、同じ粉碎条件のもと、微細な疎水性粉末からなる撥水加工肥料資材（カバー資材）を試作した。なお本報では、①リン酸二水素アンモニウムと硫酸アンモニウムの混合物、②過リン酸石灰、③炭酸カルシウムを原料として製造したカバー資材を、それぞれ① NP、② SP、③ CC と表記した。カバー資材の名称、カバー資材に用いた肥料原料、カバー資材の肥料成分を表 1 に示した。

試作したカバー資材の形状は、粒度分布の測定と、走査電子顕微鏡による表面観察により評価した。粒度分布測定は、マイクロトラック（Leeds & Northrup 社製 FRA9220、測定方式：レーザー回折 / 錯式、測定範囲：0.12 ~ 704 μm、溶媒：エタノール）を用いた。表面観察には、電界放射型走査電子顕微鏡（日立製作所製 S-4500、加速電圧：10 kV、撮影方法：二次電子像、撮影倍率：30,000 倍）を用いた。

2.2 実験方法

乳牛ふん尿スラリーから発生するガスの採取と濃度の測定は、図 1 に示した実験器具を用いて以下の手順で行った。まず、5L 容のセパラルフラスコ（以下、容器と記載）に供試試料スラリー 2.5 L を入れ、その上に 400

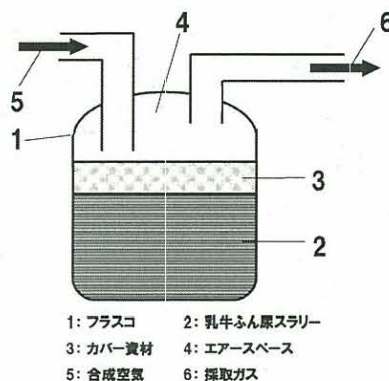


図 1 実験器具の概略図

mL のカバー資材（スラリー容量比 16%、積層高さ 23 mm）を静かに加えた。なお、カバー資材を加えない容器も対照として用意した。次に、容器を 30℃ の恒温槽に入れて保温した。容器上部の空間に 1 L/日流量で二酸化炭素を含まない合成空気を連続的に供給するとともに、排出されたガスをテドラバッグに捕集した。捕集されたガス試料に含まれるアンモニア、メタン、二酸化炭素、亜酸化窒素、硫化水素、メチルメルカプタンおよび n-酪酸のガス濃度を測定した。試料の採取とガス濃度の測定は、試験開始から 1 日後、7 日後、13 日後とした。アンモニア濃度はガス検知管法により、その他のガスはガスクロマトグラフ法により測定した。さらに、実験前後のスラリーについて、カバー資材の溶解に伴う肥料成分量の変化を測定した。

3. 結果および考察

3.1 撥水加工肥料資材の形状と特性

マイクロトラックによる粒子径測定の結果、カバー資材 NP の平均粒子径は 55.6 μm 、資材 SP は 30.9 μm 、資材 CC は 10.5 μm であった。次に、走査電子顕微鏡によるカバー資材の表面観察の結果を図 2 に示した。いずれのカバー資材も粒子径が数 10 μm 程度の一次粒子である肥料の表面に、数 nm の非常に微細な疎水性シリカが均一に付着している様子が観察された。本研究に供試したカバー資材は、いずれもスラリー上に浮いた状態で積層させることが可能であった。また、実験期間中にその一部がスラリーに溶解したが、実験終了時においてもその大部分がスラリー上に浮いた状態で残っていた。以上の結果から、水に溶けやすい肥料であっても、スラリー表面に浮いた状態で積層可能なカバーとするためには、原料に用いる化学肥料を数 10 μm 程度の粒子径に粉砕し、その表面上に疎水性シリカを均一に付着させることが重要である。したがって、今回供試した肥料以外についても同じ処理を施すことで、スラリー上を覆うカバー資材として使用可能となる。



図 2 電解放射型走査電子顕微鏡による撥水加工肥料資材（カバー資材）の表面観察画像（撮影倍率 30,000 倍）

3.2 乳牛ふん尿スラリーから発生する環境負荷ガスの経時変化

一般的に、乳牛ふん尿スラリーを貯留槽に入れ、曝気や攪拌を行わずに放置すると有機物の分解に溶存酸素が消費されるため、スラリー内部は嫌気的な状態となる¹³⁾。本実験においても曝気は行わず、また微生物活性などを促進するために 30℃ 条件下としたため、試験容器内はより嫌気的な条件となっている。

カバー資材を使用しなかった発酵前後の乳牛ふん尿スラリーから発生した環境負荷ガスの累積発生量の経時変化を図 3 に示した。なお、本実験条件において採取した気体試料に含まれる亜酸化窒素は、検出限界値（ガスクロマトグラフ法、熱伝導度検出器「TCD」、検出限界値：0.5 vol%）以下であり、メチルメルカプタンおよび n-酪酸においても検出限界値以下または極微量の検出であったため、本研究では論議の対象から外した。

アンモニアについては、発酵後スラリーの累積発生量が発酵前スラリーより顕著に高かった。累積発生量の経時変化については、試験開始時に急激に増加し、その後は緩やかに増加、ないしは、変化しなかった（図 3a）。乳牛ふん尿のメタン発酵では、嫌気性発酵に伴って易分解性有機態窒素の無機化が進行し、発酵後スラリー中のアンモニウム態窒素が増える¹⁴⁾。また、メタン発酵に伴う揮発性脂肪酸の減少とアンモニウム態窒素の増加によってスラリーの pH 値が上昇する。すなわち、試験開始時に発酵後スラリーに見られたアンモニア発生量の急激な増加は、スラリー自体に多く含まれていたアンモニアが揮散したことによると考えられた。

メタンについてもアンモニアと同様に、発酵後スラリーの累積発生量は発酵前スラリーよりも高かった。一方、経時変化についてはアンモニアと異なり、いずれのスラリーともほぼ直線的に増加した（図 3b）。先に述べたとおり、乳牛ふん尿スラリーは曝気や攪拌を行わずに放置すると、有機物の分解に伴って溶存酸素が消費され速やかに嫌気的な状態となる。つまり、メタン発酵後スラリーだけではなく、発酵前スラリーも嫌気的な状態であり、その結果として本実験条件下では両スラリーからメタンが生成され発生し続けたと考えられた。発酵後スラリーについては、メタン生成に関与する嫌気性微生物の活性が高かったことにより、メタンの発生量が発酵前スラリーよりも多かったと推測される。実用規模のバイオガスプラントでは、原料となるふん尿が一定量発酵槽へ投入され、それまで発酵槽にあったスラリーと混ざり合いながら、一方では投入されたふん尿とほぼ同量のスラリーが排出される。つまり、発酵槽内には滞留日数を異なるふん尿が混在しており、完全には発酵しきらない

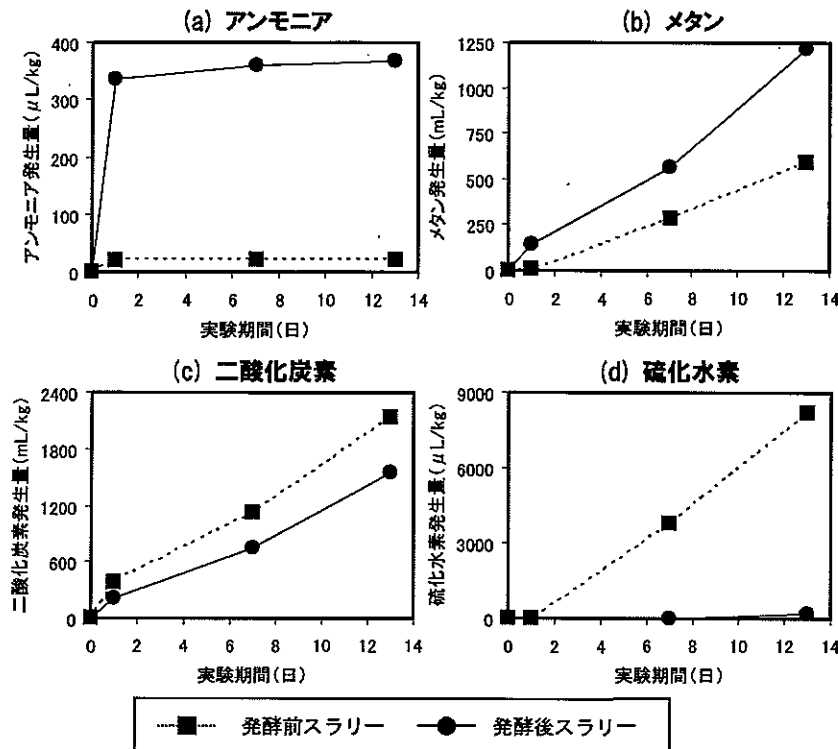


図3 カバー資材未使用の場合における発酵前後の乳牛ふん尿スラリーから発生した環境負荷ガスの累積発生量 (a) アンモニア, (b) メタン, (c) 二酸化炭素, (d) 硫化水素

スラリーが排出されることになる¹⁵⁾。したがって、実用規模のバイオガスプラントから排出された発酵後スラリーは、その後の貯留槽においても依然として発酵に関わる微生物の活性が高く、二次的により多くのメタンが発生し続ける結果となる。

二酸化炭素については、発酵後スラリーの累積発生量が発酵前スラリーよりやや少なかった。累積発生量の経時変化は両スラリーとも試験開始時からほぼ直線的に増加した。他のガスに比べると両スラリー間の差は極めて小さかった(図3c)。発酵後スラリーについては、メタン発酵に伴って易分解性有機物が分解され、二酸化炭素の発生源となる基質が減少したことにより、発酵前スラリーより二酸化炭素発生量が少なかったと考えられた。

硫化水素については他のガスとまったく異なり、発酵後スラリーからの発生量が極めて低かった(図3d)。硫化水素は、ふん尿中のたんぱく質が分解することにより発生する¹⁶⁾。バイオガスプラントでの嫌気発酵では、ふん尿中のたんぱく質の分解に伴う含硫化合物の還元が促進されて硫化水素が発生するため、発酵後スラリーには硫化水素の発生源となる含硫化合物が少なかったと考えられた。発酵前スラリーについては、貯留中の緩やかな嫌氣的な発酵に伴って、残存する含硫化合物の還元によ

り硫化水素が生成されて発生したと考えられた。

以上の結果より、バイオガスプラントでの処理を経て貯留される発酵後の乳牛ふん尿スラリーは、硫化水素の発生量は少ないものの、未発酵のまま貯留されている乳牛ふん尿スラリーより、アンモニアとメタンの発生量が著しく高いことが認められた。

3.3 撥水加工肥料資材による環境負荷ガスの抑制

撥水加工肥料資材(カバー資材)による環境負荷ガス発生抑制効果を比較するために、カバー資材を加えなかった容器から13日間で発生したガス積算発生量を100としたときの、カバー資材を加えた発酵前スラリーおよび発酵後スラリーから発生した環境負荷ガス発生率を表2に示した。なお、発酵前スラリーから発生したアンモニアならびに発酵後スラリーから発生した硫化水素については、いずれも積算発生量が極めて低く、カバー資材による抑制効果の信頼性が低いと考えられたため、本研究では議論の対象から外した。

3.3.1 アンモニア

カバー資材 NP または資材 SP を発酵後スラリーに供試することにより著しくガス発生量が減少した。しかし、カバー資材 CC にはガス発生抑制効果は見られなかつ

表2 撥水加工肥料資材（カバー資材）による乳牛ふん尿スラリーからの環境負荷ガス発生抑制効果*

資材名	発酵前スラリー				発酵後スラリー			
	アンモニア**	メタン	二酸化炭素	硫化水素	アンモニア	メタン	二酸化炭素	硫化水素**
① NP	—	30	108	125	12	31	484	—
② SP	—	35	94	5	21	55	369	—
③ CC	—	102	123	69	98	117	82	—

*抑制効果は資材なしの対照区から発生した13日間の累積発生量を100としたときの相対値で示した

**発酵前スラリーのアンモニアおよび発酵後スラリーの硫化水素については対照区からの累積発生量が極めて少なかったため、資材によるガス発生抑制効果は評価しなかった

た。ガス発生を抑制したカバー資材 NP および資材 SP の原料に用いた肥料はいずれも酸性塩であり、抑制効果が認められなかったカバー資材 CC の原料に用いた炭酸カルシウムは塩基性塩である。これらの結果から、アンモニアはスラリー中の水分を介して酸性塩であるカバー資材 NP や資材 SP に吸着され、ガス発生量が抑制されたと考えられた。

3.3.2 メタン

発酵前スラリーならびに発酵後スラリーともに、カバー資材 NP および資材 SP を供試することにより著しくガス発生量が減少した。しかし、カバー資材 CC はガス発生量が増加した。アンモニアと同様、酸性塩のカバー資材に抑制効果が認められたが、メタンは中性かつ親水性が低いため、アンモニアの抑制メカニズムとは異なることが予想される。今後の検討が必要ではあるが、酸性塩のカバー資材がメタンの発酵挙動に何らかの影響を及ぼした可能性があると考えられた。

3.3.3 二酸化炭素

発酵前スラリーについては、カバー資材 SP はガス発生抑制効果は認められず、カバー資材 NP および CC を供試するとガス発生量が増加した。発酵後スラリーについては、カバー資材 CC に抑制効果は認められなかったが、カバー資材 NP および資材 SP を供試することにより、対照区と比べて発生が促進されてしまった。先に述べたとおり、乳牛ふん尿スラリーを貯留槽に入れ、曝気や攪拌を行わずに放置すると有機物の分解に溶存酸素が消費されるため、スラリー内部は嫌気的な状態となりメタンが生成する。一般的に、メタンは酸素の存在下においてメタン酸化菌により酸化される¹⁷⁾。メタンを著しく抑制したカバー資材 NP と資材 SP がいずれも二酸化炭素の発生量を増加させていることから、これらの資材を供試した場合には、カバー資材の空隙に存在する酸素を介してメタン酸化が活発となり、二酸化炭素に変換されている可能性が考えられた。

3.3.4 硫化水素

発酵前スラリーについては、カバー資材 NP を供試することによりガス発生量が増加した。しかし、カバー資

材 CC には抑制効果が認められ、さらにカバー資材 SP については著しく発生量を抑制した。硫化水素はアンモニアと同様に親水性は高いが、弱酸性の無機物質である。本実験のこれまでの結果から推察すると、酸性塩のカバー資材であれば同じ抑制メカニズムを示すと考えられたが、カバー資材 NP と資材 SP は異なる結果となった。本カバー資材による硫化水素のガス発生抑制メカニズムについては、さらなる検証が必要である。

3.4 撥水加工肥料資材の溶解に伴う肥料成分の変化

実験後の乳牛ふん尿スラリー中の肥料成分量については、カバー資材 NP の窒素量およびリン酸量の増加が最も顕著であった。カルシウムについては、カバー資材 SP およびカバー資材 CC とともに増加量が少なく、特に発酵後スラリーについてはカルシウム量の増加があまり認められなかった。また、すべてのカバー資材において、発酵後スラリーにおける肥料成分の増加量が発酵前スラリーより少ない傾向が認められた。これは、発酵に伴うスラリーの乾物率と炭素含有量の減少、pH 値の上昇など、スラリー理化学性の変化が影響していると考えられた。

4. ま と め

本研究において供試したカバー資材 NP および資材 SP については、貯留中の乳牛ふん尿スラリーから発生するアンモニアとメタンを著しく減少させたが、二酸化炭素は発生量が増加した。メタンと二酸化炭素はともに地球温暖化ガスであるため、温室効果係数（二酸化炭素：メタン = 1:21）¹⁸⁾ をそれぞれのガス発生量に乗じてその効果を評価した。その結果、発酵前スラリーについては、カバー資材 NP が約 60%、資材 SP は約 56% の温室効果ガスを削減し、発酵後スラリーについてもカバー資材 NP は約 43%、資材 SP は約 27% の温室効果ガスを削減した。本実験では乳牛ふん尿スラリーから発生する可能性のある温室効果ガスとして亜酸化窒素（温室効果係数は二酸化炭素：亜酸化窒素 = 1:310）¹⁸⁾ の測定も実施し

たが、今回の測定では検出限界値以下の発生量であったため、カバー資材の有無による温室効果抑制の影響は少ないと考えられた。

また概算ではあるが、本実験結果（メタンと二酸化炭素の発生量）を北海道東地域の平均的な乳用牛のふん尿スラリー貯留槽（100頭規模）に換算すると、メタン発酵後のスラリーの場合、貯留中に約7,000kg-CO₂/槽・年の発生となり、カバー資材NPを供試することで約4,000kg-CO₂/槽・年となる。この温室効果削減量を一例として太陽光発電と比較すると、パネル面積約200m²の20kW太陽電池（インシャルコスト：約2,200万円、CO₂削減効果：8,100kg/年¹⁹⁾の約4ヶ月分に相当することとなる。

乳牛ふん尿に含まれる肥料成分の成分バランスには偏りがあり、特にカリの含量が高く、リン酸の含量が低い。ため、乳牛ふん尿スラリー単独では十分な肥料成分を補うことはできず、結果的に、化学肥料との併用などにより肥料成分の調整を行うことが必要となる¹⁴⁾。本研究により、化学肥料を原料とした撥水加工肥料資材が、乳牛ふん尿スラリー上に積層可能であり、カバー資材として貯留中に発生する環境負荷ガスを抑制することが認められた。また、カバー資材がスラリーとの界面で緩やかに溶解することにより、スラリー中の肥料成分含有量の増加も可能とした。特に、乳牛ふん尿スラリーの肥料成分に不足しているリン酸を原料としたカバー資材が、悪臭の原因となるアンモニアと温室効果を抑制した。一方、今回の実験において、発酵前スラリーの硫化水素以外に顕著なガスの抑制効果が認められなかった炭酸カルシウムを原料としたカバー資材については、今後、酸性塩資材との混合などを試み、それぞれの資材特性を活かしたカバー資材を試作して乳牛ふん尿スラリーの環境負荷ガス抑制の効果を検証する予定である。

酪農をはじめとする畜産業における家畜排せつ物は、経営規模の拡大とともに適切な処理と利用が課題である。飼養している家畜からは毎日莫大な量のふん尿が排出されるので、酪農経営はふん尿との付き合いといっても過言ではない。

本研究は、家畜ふん尿を「農地還元」という一見適切と思える言葉のもとでの単なる処理的な使用ではなく、有用な農業資材として適切に利活用することを前提とした。本カバー資材を導入するのは酪農家であり、実践するには何らかの経営メリットが必要となる。第一には、家畜のふん尿貯留槽にカバー資材を適用することでスラリー散布と肥料施肥の2つの作業工程を1つにまとめて簡素化できること、特に北海道の大規模農業においては、限られた施肥期間で広大な農地への散布回数が減ること

は労力の低減となる。次に、家畜ふん尿の肥効成分を加味したカバー資材（種類、積層量）を選定することで、家畜ふん尿の肥効成分を有用に活用させることとなり、結果、化学肥料の使用量削減が可能となる。また、カバー資材がアンモニアの発生量を抑制することで悪臭も低減できる。一方、実用化においてはカバー資材導入のコスト（撥水加工肥料資材ならびに搬送・散布費用）が酪農経営の維持・存続の条件を満たすことが不可欠となる。これについては、著者らが有する撥水加工処理技術を活かすこと、また搬送・散布についても地元の廃棄物処理業者等との連携を図ることでコストの低減化を引き続き検討する。

家畜ふん尿をバイオガスプラントで処理すると、あとは「環境に優しいもの」になると思っている人は少なくない。家畜ふん尿から再生可能なエネルギーの生産を目的としたバイオガスプラントは、その発酵前後における貯蔵中のスラリーから発生する環境負荷ガスについても適切に処置することが真のバイオマス利活用システムであると著者らは考える。

参考文献

- 1) 藤田秀保, 志賀一一: 環境保全を考えた乳牛ふん尿処理と利用, 酪農総合研究所, pp. 9-23 (1997)
- 2) 代永道裕: 悪臭と有毒ガス, 畜産環境対策大辞典第2版, 農山漁村文化協会, pp. 27-41 (2004)
- 3) 小野貴弘, 古市 徹, 谷川 昇, 石井一英, 稲葉陸太: 家畜ふん尿の堆肥化・バイオガス化に伴う臭気及び温室効果ガス低減に関する考察, 第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 375-377 (2006)
- 4) 志賀一一, 藤田秀保, 徳永隆一, 吉原大二: 酪農における家畜ふん尿処理と地域利用, 酪農総合研究所, pp. 32-36 (2001)
- 5) W. Berg and I. Pazsiczki: Mitigation of Methane Emissions during Manure Storage, International Congress Series, Vol. 1293, pp. 213-216 (2006)
- 6) B. Amon, V. Kryvoruchko and T. Amon: Influence of Different Methods of Covering Slurry Stores on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions, International Congress Series, Vol. 1293, pp. 315-318 (2006)
- 7) G. Hörnig, M. Türk and U. Wanka: Slurry Covers to Reduce Ammonia Emission and Odour Nuisance, Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 73, pp. 151-157 (1999)
- 8) P. Balsari, E. Dinuccio and F. Gioelli: A Low Cost Solution for Ammonia Emission Abatement from Slurry Storage, International Congress Series, Vol. 1293, pp. 323-326 (2006)
- 9) J. Martinez, F. Guiziou, P. Peu and V. Gueutier: Influences of Treatment Techniques for Pig Slurry on Methane Emissions during Subsequent Storage, Bio-

- systems Engineering, Vol. 85, No. 3, pp. 347-354 (2003)
- 10) R. P. Sharpe and L. A. Harper : Methane Emissions from Anaerobic Swine Lagoon, Atmospheric Environment, Vol. 33, pp. 3627-3633 (1999)
 - 11) S. Portejoie, J. Martinez, F. Guizoiu and C. M. Coste : Effects of Covering Pig Slurry Stores on the Ammonia Emission Processed, Bioresource Technology, Vol. 87, pp. 199-207 (2003)
 - 12) N. Sakamoto, M. Tani and K. Umetsu : Effect of Covering Digested Slurry Store on Ammonia and Methane Emissions during Subsequent Storage, International Congress Series, Vol. 1293, pp. 319-322 (2006)
 - 13) 押田敏男, 柿一徳英, 羽賀清典 : 畜産環境保全論, 養賢堂, pp. 60-62 (1998)
 - 14) 谷 昌幸, 坂本直久, 岸本 正, 梅津一孝, 池滝 孝, 近藤 錬三 : 廃棄粉末消火薬剤を用いた乳牛ふん尿スラリーの肥料成分調整, 農作業研究, 第 39 巻, 第 3 号, pp. 143-150 (2004)
 - 15) 松中照夫, 成瀬往代, 熊井実鈴 : 乳牛ふん尿のメタン発酵処理に伴う性状変化, 日本土壌肥科学会誌, 第 73 巻, 第 3 号, pp. 297-300 (2002)
 - 16) H. Schulz and B. Eder : バイオガス実用技術 (浮田良則監訳), オーム社, pp. 24-30 (2002)
 - 17) 伊藤雅之, 大手信人, 勝山正則, 木庭啓介, 川崎雅俊, 谷 誠 : 温帯森林地域におけるメタンフラックスの時空間変動, 水文・水質源学会誌, 第 18 巻, 第 3 号, pp. 244-256 (2005)
 - 18) 有田正光, 石村多門, 白川直樹 : 環境問題へのアプローチ, 東京電気大学出版局, pp. 46-62 (2001)
 - 19) 栃木県地域新エネルギービジョン, 栃木県発表資料 <http://www.pref.tochigi.jp/kankyoseisaku/home/keikaku/archive/shinenergy/pdf/1.pdf>

Use of Hydrophobic Fertilizers to Cover Dairy Slurry Stores to Reduce Emissions of Greenhouse Gases and Other Polluting Gases

Naohisa Sakamoto*, Masayuki Tani**, Masanori Koike**, Katsuhisa Kuramochi**
Tadashi Kishimoto** and Kazutaka Umetsu**

* Institute of Environmental Science, Morita Corporation
** Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

† Correspondence should be addressed to Masayuki Tani :
Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine
(Inada, Obihiro, Hokkaido 080-8555 Japan)

Abstract

The objectives of this study were to verify the effectiveness in reducing polluting gas emissions of novel methods for covering dairy slurry by using various types of hydrophobic fertilizers and to evaluate the mechanisms for reducing gas emissions from this slurry before and after methane fermentation. The hydrophobic fertilizers were prepared by mixing finely-ground chemical fertilizers (SP: super-phosphate, CC: calcium carbonate, and NP: a mixture of ammonium phosphate and ammonium sulfate) with hydrophobic silica (8wt. %) to make a moisture-proof cover that could float on the slurry. Laboratory trials were carried out for 13 days using a pilot-scale device. The hydrophobic fertilizers composed of SP and NP reduced NH_3 and CH_4 emissions from the digested slurry remarkably. However, we did not observe any suppression of gases when we applied the hydrophobic fertilizer composed of CC. The effect of the novel covers on the emissions of greenhouse gases and other polluting gases varied with the types of chemical fertilizers depending on acidity-alkalinity, solubility and ability to adsorb these gases. The hydrophobic fertilizer coverings and partial dissolution of their nutritional constituents affected the fermentation process of dairy slurry during storage and consequent gas emissions.

Key words: animal waste, slurry store, ammonia, greenhouse gas, environmental pollution