

# 放し飼い牛舎に対応した牛ふん尿のスラリー化利用システム

小菅 定雄\*

(社)日本畜産施設機械協会, 東京都千代田区永田町1丁目11番35号, 全国町村会館 〒100

## 1. 現代農業の歪と生物資源循環農業

農業における生物資源の活用の歴史は古く、特に家畜ふん尿は貴重な資源として積極的に利用されてきた。この「生物資源循環農業」とも言うべき生産システムは、農業をとりまく物質循環にとって有効に機能し、農業による生態系の劣化を抑制するなど、その果してきた役割は大きい。ところが、戦後の著しい農業技術の発展とその生産システムは、社会に多大な貢献はしたものの、一方で、生物資源の活用を著しく後退させ、今、現代農業は大きな歪を抱え世界的に憂慮されるに至っている。

すなわち、耕種農業における化学肥料、農薬など化石エネルギーの多量投入と土壌生態系の不安定化、生産力と安定性の問題、また膨大な家畜ふん尿生産量とその低い利用率、管理不備に起因する環境汚染の多発など畜産経営の存続をも危うくしている。家畜ふん尿の農地還元収容能力で、都府県に対して比較的優位にある本道酪農においても、局所的、投棄的農地還元や未利用のまま放置が見られるなど現状の牛ふん尿の利用率は低位にある。一方、畑作地帯では有機物欠乏状況、土壌生態系の不安定化、劣化が指摘され、作物生産に多くの問題を提起するなど、その矛盾は激化しつつある。

これらの問題は、地球的レベルの課題として提起され、我が国をはじめ、世界各国でその抜本的

施策が実施されはじめている。

家畜ふん尿など生物資源を地域農地に「適正配分」し、土壌の生物性の重視など新たな視点に立った「生物資源循環農業の再構築」によって、その解決を図ってゆくことが基本であるといえよう。

本稿は、道内において、牛ふん尿の積極的利用を阻害している要因を踏まえ、近年普及の方向にあるフリーストールなど放し飼い牛舎で生産される牛ふん尿を、地域の優れた生物資源として、積極的に循環利用を図るための手段の一つとしての「スラリー化利用システム」を概説する。特に、「フリーストール牛ふん尿の物理的性状特性と液化システム」とその問題点を明らかにし、「スラリーかんがい」について概説するなかで、このシステムが「生態系と経営経済が調和する新しい農業のしくみ」の確立に果たす役割について述べようとするものである。

## 2. 牛ふん尿、堆きゅう肥の積極的利用に対する阻害要因

### (1) 一般的阻害要因

- ①資源的評価、②牛ふん尿の性状と取扱い性、③草地における堆きゅう肥の分解速度と利用率、④牛尿の化学的成分組成と土壌の塩基バランス、⑤現有設備と投下労力、⑥耕種と畜種の営農特性と施用システムの整合性、⑦流通性、搬送性、⑧牛ふん尿の施用と実際の施肥設計など応用技術、⑨牛ふん尿の生産量と農地還元収容能力、⑩営農者の意識レベル

牛ふん尿、堆きゅう肥の利用を促進させるため

北海道家畜管理研究会報, 第29号, 1993年, 21~34

\*SSE, スラリーシステムエンジニアリング(株)

にはこれらの阻害要因を克服する必要がある。

畑作地帯においては、堆きゅう肥の土壌生態系安定化、活性化機能について、その評価は高まりつつあるが、牛スラリーの利用経験は少なく、含有肥料成分の把握が困難との認識もあり、肥料効果に対する期待度は低い。草地型酪農においても、この誤認は少なからず存在し、より一層理解を深める施策の実施が望まれる。

(2) 草地型酪農における阻害要因とその対策

ここでは、フリーストール牛ふん尿と堆きゅう肥について、この問題を整理してみる。

① フリーストール牛ふん尿の特性と取扱い性

フリーストール牛舎の構造特性に起因する牛ふん尿の物理的性状特性が処理利用を困難にしている場合が多い。すなわち、フリーストール牛ふん尿の物理的性状は、敷料の質と量、気象条件、飼料、飼養ステージ、などに支配されるが、概ね含水比500~950%、TS9.5~16%の範囲にあり、固状と液状の中間域にある。他の牛舎構造の牛ふん尿の性状と比べて特異的で、年間を通じて、含水比700~950%、TS9.5~12%と「ヘドロ状」を呈することが多い。

この性状のままでは、堆肥化処理、液肥化処理の双方とも困難である。この性状が原因となって、取扱い性、施用性に悪影響を及ぼし、素堀ラグーンなどに投入放置を余儀なくされ、嫌気条件下に置かれて悪臭の発散、地表流出など環境汚染を引き起こす結果となっている。このようなフリース

トール牛ふん尿の素堀ラグーンでの嫌氣的貯留、未利用放置による環境汚染は、アメリカの各州にも数多く見られ、その対策が急がれている。

② 堆きゅう肥の分解特性と草地における利用率  
道内における堆きゅう肥の生産量は液状きゅう肥の生産量に対して圧倒的に大きい。これは牛舎構造と飼養形態及び牛ふん尿の搬出システムによるものであるが、この偏重した堆きゅう肥化処理システムは草地における牛ふん尿の循環利用に影響を及ぼしている。

すなわち、堆きゅう肥の生産速度と草地での分解消費速度、堆きゅう肥の生産量と草地での分解消費量の不均衡の問題である。

一般に有機物の分解速度は、有機成分組成、C/N比、その他微生物の増殖環境因子に支配されることで知られているが、堆きゅう肥の有機成分組成及び分解特性から、道内草地における分解速度、分解量は小さく、結果として利用率を低下させる原因の一つとなっている。特に堆きゅう肥に含まれる副資材の種類（麦カン、バーク、オガ粉、乾草、等）と堆きゅう肥の施用時期（晩秋から初

表-1 小麦ワラの主要有機成分組成の分解速度定数 (K)<sup>(1)</sup>

成 分	K(d <sup>-1</sup> )	コメギワラの主要成分の土壌中における分解速度定数 (K) (測定は1977年の9月~1978年の8月) (HarperとLynchより)
ヘミセルロース	0.0073	有機物の分解速度 $-\frac{dA}{dt} = KA$ Aは添加された有機物の濃度、tは時間、Kは時間あたりの分解速度定数を表わす。
セルロース	0.0074	
リグニン	0.0005	

表-2 微生物増殖の温度依存性 (°C)

種 類	最低温度	最適温度	最高温度	例
好 冷 菌 psychrophile	0~10	10~20	25~30	発光細菌、海洋微生物
常 温 菌 mesophile	10~20	20~40	40~45	カビ、酵母、放線菌、一般細菌
好 熱 菌 thermophile	35~55	50~75	70~85	枯草菌、温泉菌

冬の気温)及び草地面散布施用(土と混和しない)が分解速度に影響を及ぼしている。表-1に小麦ワラの主要成分の分解速度定数<sup>1)</sup>、表-2に微生物増殖の温度依存性<sup>2)</sup>を示す。

草地への堆きゅう肥施用の実態は次のように要約できる。①通常年1回晩秋から初冬に施用、②土壌と同化しないまま翌夏の牧草収穫期まで残留、③堆きゅう肥の特性から緩効的肥料の位置づけにあり、施用頻度、施用量は制限される。これらが要因となって、草地への還元利用率を低下させている。

草地面積においては、牛ふん尿の収容能力があっても、堆きゅう肥は余剰資源となって畜舎周辺に残留し、環境汚染の原因となっている地域もある。このように草地酪農における堆肥化処理利用形態は、牛ふん尿の生産と利用との間に不均衡が生じ、草地における牛ふん尿の環境に支障をきたす。草地の肥培管理からは化学肥料に依存することとなり、草地生態系に影響を及ぼすことが考えられる。草地に対する牛ふん尿の処理利用法として、工夫が必要である。

### ③ 草地における牛ふん尿の利用率の向上対策

①牛ふん尿の草地循環利用を促進する処理利用システムの検討[スラリー化、堆肥とスラリーの併用など]、②生物資源としての価値を高める牛ふん尿の調整、③草地への適正配分を可能とする牛ふん尿の搬送、施用システムの機能と性能の整備など。

## 3. 放し飼い牛舎における牛ふん尿の性状特性と液化調整システム

「スラリーかんがい」など牛ふん尿をスラリーとして利用するためには、牛舎から搬出される牛ふん尿を合理的に液化する必要がある。この液化調整システムは、スラリー利用システム全体を支配する重要なプロセスである。ここではフリース

トール牛ふん尿を前提にした液化調整システムについて、その概要を述べる。

### (1) フリーストール牛ふん尿の物理的性状

フリーストール牛ふん尿の物理性は液性限界近傍(含水比500%、TS16%)から液状(含水比950%、TS9.5%)の範囲、すなわち、固状から液状の範囲にあり、その変動幅は大きい。変動性に及ぼす要因は飼料の質、飲水量、敷料の質と量、気象など既に述べたとおりであるが、概ね、含水比700~950%、TS9.5~12%、と「ヘドロ状」である。この性状は、図-1牛ふんの見かけとその含水比<sup>3)</sup>を見ると感覚的にわかり易い。

(草地試 新井)

特 徴	平面見取	側面見取	含水比(%)
ふんは5-8cmに切れる。			410 - 420
切れないでつながっている。層状の部分にはつきりとくぼみがある。			450 - 460
牛ふんらしい形になる。あまり盛り上らない。			500前後
上よりも盛り上らず、層状の部分はない。			550 - 600
層状の模様は、まだ残っている。			600 - 650
飛散が目立つようになる。			700前後
飛散する。ドロドロ状。			800前後
飛散はひどい。落ちたところも高くなる。			950前後

(図) 乳牛ふん(生)の見かけとその含水比

図1 牛ふんの見かけとその含水比<sup>3)</sup>

このようなヘドロ的性状を示す牛ふん尿はスラリー利用には水分が低すぎ、堆肥化には水分が高すぎる。

### (2) フリーストール牛ふん尿の液化調整システム

当該牛ふん尿の液化調整システムは次に示す2形態が基本的モデルである。

#### 1) 敷料混入牛ふん尿の場合

①牛ふん尿搬出施設+②集ふん溝+③定量搬送施設+④敷料分離施設+⑤加水調整施設+⑥攪拌

均質化施設→(スラリー分解調整システムへ)

①から⑥の方向にプロセスは進むが、この各プロセスに実際行われている機械・施設を一例として対応させると①スクレーパ(各種)、②R/C構造、勾配0%、③シャトルストローク搬送機

(油圧式)、④ピストンプレス型敷料分離機(油圧駆動)、⑤希釈用水施設、⑥R/C構造のピットとスラリーミキサーが代表的である。図-2はこれらを示す模式図である。

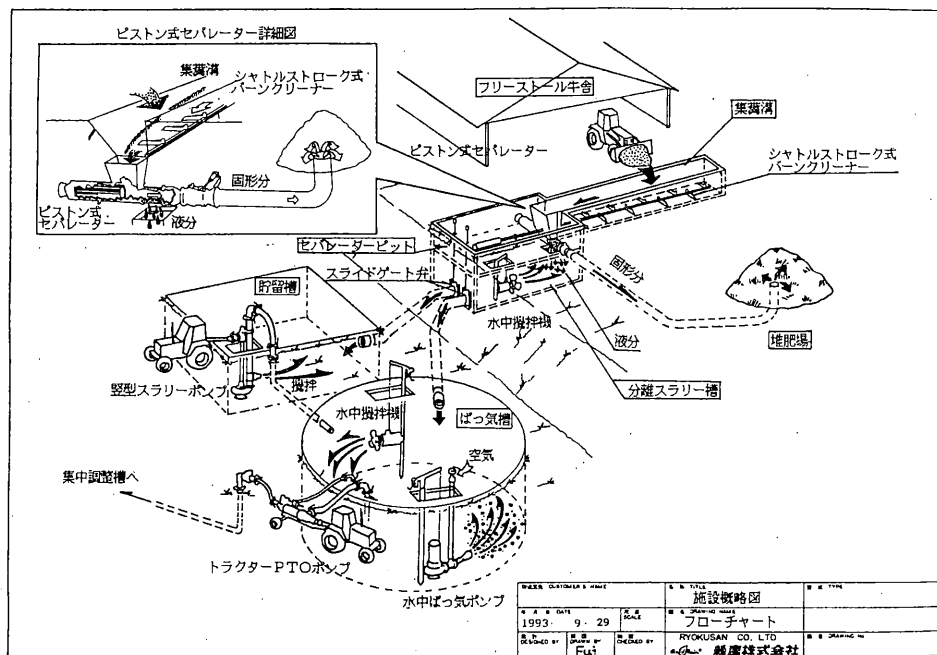


図2 フリーストール牛ふん尿のスラリー化利用システム(敷料使用牛ふん尿)

2) 敷料の混入しない牛ふん尿の場合

①牛ふん尿搬出施設+②集ふん溝+③加水施設+④仕切ゲート弁+⑤道入管+⑥攪拌均質化施設→(スラリー分解調整システムへ)、⑥の後に⑦スラリー汲上ポンプ+⑧固液分離機を設けることがある。

⑧は一部堆肥化、とスラリーの分解速度の向上、エアレータ負荷の軽減化を目的とする場合が多い。

1)と同様に、このプロセスに機械と施設を対応させれば次のとおりである。

①同上、②R/C溝、3%勾配、③同上、④手動式ゲート弁、⑤φ300ヒューム管、⑥同上または攪拌と移送兼用スラリーポンプ、⑦水中スラリー

ポンプ、⑧ローラプレス型セパレータが代表的である。⑥と⑦はスラリーポンプで兼用することができる。図-3はこれらを示す模式図である。

2)のモデルは通常敷料分離システムを必要としないため、液化システムは単純化され、システムの安全性が高く、システムに要するコストも低く、合理的である。

以上2つの基本モデルはフリーストール牛ふん尿の物理的性状特性を考慮して生まれたものであるが、液化調整システムを充分機能させるためには、次のような各プロセスに対する機能が要求される。

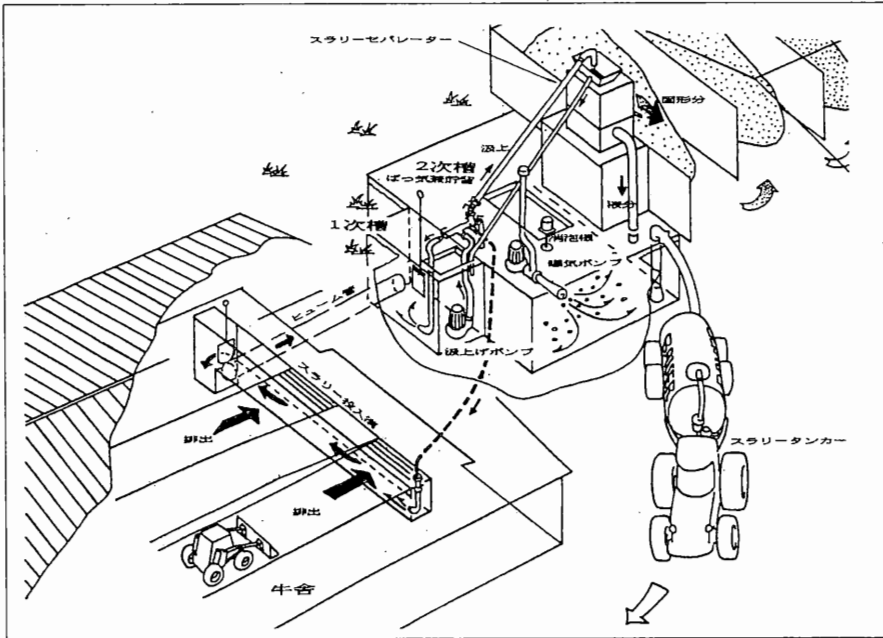


図3 フリーストール牛ふん尿のスラリー化利用システム（敷料未使用牛ふん尿）

### 3) 液化調整システムの各プロセスに求める機能とその留意点

②集ふん溝→1日2回の集ふんと搬送を基本とするが、容積は1日分のキャパシティを持たせること、(写真-1、2)、2)のシステムにおいては集ふん前に注水(水深15cm)、集ふん直後に加水が効果的、③定量搬送施設→牛ふん尿の性状変動に追従性があり、敷料分離施設に定量的に供給する機能がなければならない。敷料分離施設と並んで液化調整システムを支配する重要なプロセスである。スクリーオガーコンベヤー、チェーン&スラットコンベヤーなどが考えられるが、敷ワラ等の質と量、含水比など変動する物理的性状に対する追従性等から充分検討する必要がある。

ここでは、実施事例として、2連形シャトルストロークシステム(油圧式反復運動フラップ、写真-3)を紹介する。

④敷料分離施設→セパレータの機能。本道の液

化調整システムでは、後に述べる牛スラリーの土壌生態学的価値を減殺しないよう、敷料だけを取除き、ふんと尿はスラリーとして活用することを目的とする。すなわち、(敷料) ↔ (ふん+尿)の分離機能を理想とし、都府県の分離目的、分離概念(敷料+ふん ↔ 尿)とは本質的な相違がある。従って、敷料分離機による牛ふん尿のスラリー側への移行率が高いほど良く、敷料の種類と混入率、含水比に影響されるが、含水比900%のとき、概ね、65~70%を目安とすべきであろう。

移行率のほか敷料分離機に求める機能は、次に示すとおりである。①単位当りの牛ふん尿+敷料の排出量と処理能力の整合性、②フリーストール牛ふん尿の物理的性状変動に対する追従性、③寒冷条件下の適応性などである。これらの諸機能は分離機の分離機構、作動原理などに依存する。

#### [代表的固液分離機]

現在用いられている分離機の代表的分離機構は、次の3つを基本原理とする。



写真1 集ふん溝・敷料混入ふん尿（芽室地区）  
集ふん溝への投入直後



写真3 集ふん溝底部に設置されたシャトルストローク搬送機・2連フラップ式（芽室地区）



写真2 集ふん溝、敷料未使用（富士西麓地区）  
水深15cmに注水後牛ふん投入、直ぐ加水

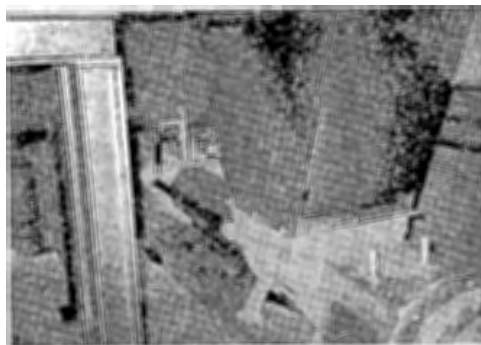


写真4 ピストンプレス式敷料分離機

[Ⅰ]メッシュ&ローラプレス、[Ⅱ]スクリーン  
&スクリュウプレス、[Ⅲ]フィルター&ピストン  
プレスである。

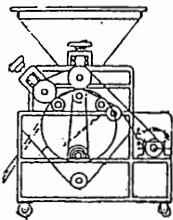
[Ⅰ]は電動モータ駆動によるローラとメッシュ  
による圧搾、地上型。[Ⅱ]電動モータまたはトラ  
クターP.T.O 駆動、スクリュウオーガとハウジン  
グによる容積率の変化による圧搾、地上型、[Ⅲ]  
油圧駆動、フィルターハウジングとピストンプレ  
スによる圧搾、地下式、分離固形物ピストン押  
出し式搬送機構、などをそれぞれの主要な特徴と

している。図-4に代表的な分離機を模式化して  
示す。

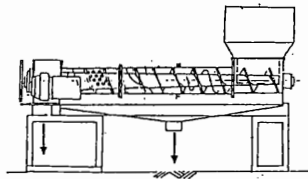
処理能力は、敷料の質及び混入率、牛ふん尿の  
含水比、等によって大きく変動する。導入計画  
の際は、牛ふん尿の性状実態調査に基づき、処理能  
力、牛ふん尿への適合性など充分検討する必要が  
ある。

ここでは、実施事例として、ピストンプレス  
（ピストン押し出し式分離機施設）を概説する。  
写真-3→シャトルストローク搬送機により、集

① ローラプレス方式



② スクリュープレス方式



③ ピストンプレス方式

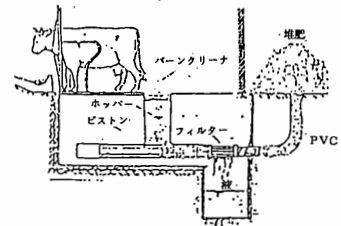


図4 代表的な分離機

ふん溝中の牛ふん尿が分離機に定量的に供給される。写真-4→中央の牛ふん尿投入口（ホッパー）を中心として左が油圧作動シリンダー（ピストン）、右サイドが圧縮ハウジングとフィルター部である。図-2右側→分離された固形物が地下埋設パイプを通して、堆肥盤上に盛り上がって堆積される状況を示す。

〔ピストンプレス式敷料分離施設の特徴〕

(1)フリーストール牛ふん尿の性状変動に追従性が高い（シャトルストロークシステム+ピストンプレスシステム）、(2)分離固形物を自動的に地下埋設管を経て堆肥盤上に搬送する機能をもつこと、(3)分離機本体の設置は地表下を原則とし、構造上からも寒冷気象条件に抵抗性がある、(4)分離固形物はパイプ搬送のため、堆肥盤など附帯施設のレイアウトに自由度が高まる、(5)分離固形物の堆積は底部からの盛り上がりによるため、寒冷時の堆肥発酵に有利。

⑤ 加水施設→敷料の混入するフリーストール牛ふん尿は、分離プロセスを経て、流動性をもつようになるが、「ふん」を多くスラリー側へ移行させる分離方式を採用するため、通常 TS8.5~11%、含水比800~1,100%の範囲にある。この性状は擬塑性流体としての上限濃度である。このような高濃度にある分離スラリーを好氣的分離調整

（通気処理）をする場合加水が必要である。高い TS 含有率が粘度を上昇させ、KLa（酸素移送における総括移送係数）に著しく影響を及ぼし、酸素の拡散抵抗を増大させる。この時、通気（ばっ気）効率は著しく低下し電力などエネルギーの不経済となるだけでなく、通気の効果は得られない。スラリーの経済的通気濃度は TS4.5~7.0%の範囲にあり、TS7%はスラリーへの酸素移送の限界値である。従って TS5~6%になるまで加水することが必要である。このように、スラリーには各システムプロセスにおける適正濃度があり、後に示すようにスラリー施用時の作物生理的適正濃度など作物生育に好影響をもたらす加水効果を含めて、合理的な加水調整機能をもたせることは重要である。

⑥ 均質化施設→加水調整された牛スラリーを攪拌によって均質化し、粘性を低下させ、生物的調整処理及びそれ以降のシステムプロセスを円滑にすることを目的とする。

一般に、家畜ふん尿は、攪拌すると粘性が低下し、しばらく静止しておいても、もとの粘度にはもどらない物理的特性がある。これは、家畜スラリーの内部構造的特性によるものと考えられている<sup>4)</sup>。牛ふん尿を流体として扱う場合、攪拌はどのプロセスにおいても重要な役割を果たし、攪拌

が及ぼすスラリーの物理的特性が応用されている。

多槽式発酵貯留槽でスラリーの流動化が機能しなくなっているケースが見られるが、これらの失敗例は攪拌機能の欠落と液化調整プロセスに起因するものが多い。このように攪拌は牛スラリーの合理的処理利用にとって極めて重要であり、留意すべき事項の一つである。

#### 4. 牛スラリーの資源的評価と「スラリーかんがい」

##### (1) 牛スラリーの資源的評価

家畜スラリーの中でも、牛スラリーは「土壤栄養学的資源価値」と「土壤生態学的資源価値」の双方を同時に保有する資源として評価できる。前者は、栄養補給機能をもつ資源として、後者は「土壤生態系を安定化、活性化」する機能をもつ資源として、とらえたものであり、土壤微生物の作用を伴って優れた機能を発揮する。両機能が一体となって機能したとき、その効果は一層大きなものとなる。このことから両機能を区別して取り扱うことは本質的に不合理である。

したがって、牛スラリーを資源として有効利用するためには、この2つの機能を同時に引き出し、その効果の最大値を活用することを基本とすべきである。

この基本的考え方のもとに実施される生物資源循環農業は、化学肥料へ依存した体質から脱却するための途を開き、付加価値生産プロセスを拡大させ、かつ生態系に調和する新しい農業生産システムであると言えよう。

##### ① 土壤栄養補給機能

化学的成分組成と有機成分組成は飼料、飼育ステージなど飼養条件に

よって、変動するが、肥料成分の含有率についてみると、乳牛スラリーの場合、現物中（無加水スラリー）に含まれる肥料成分（三要素）は、概ね  $T-N 0.3 \sim 0.8\%$ 、 $x 0.45\%$ 、 $P_2O_5 0.1 \sim 0.4\%$ 、 $x 0.2\%$ 、 $K_2O 0.2 \sim 0.9\%$ 、 $x 0.65\%$  の範囲にあり、TS含有率等によって、チッ素は直接作用、後作用を発現する<sup>5)</sup>。表-3は乳牛スラリーチッ素の特別作用<sup>5)</sup>を示す。

##### ② 土壤生態系安定化、活性化機能

牛スラリーは、その有機成分組成によって土壤の生物性を豊かにし、安定した土壤生態系の形成に機能することはよく知られたところである。牛スラリーは調整によって、セルロース類などの有機物含有率を制御でき、これらの有機成分の施用は、土壤微生物など土壤生物の種の多様化を促し、土壤生物が活性化することによって、土壤の緩衝能をはじめとする土壤の物理的・化学的機能を著しく向上させるなど化学肥料が持ち得ない機能を発現する。

図-5、6は腐植の形成、保水力など土壤の化学性、物理性の向上を示す例<sup>6)</sup>である。

##### (2) スラリーかんがいの今日的意義

「ふんと尿と水」を混合した家畜スラリーは化学肥料と同等の肥料成分をもつ一方、化学肥料が持ち得ない「多面的機能」を発揮する特異的な資

表-3 牛スラリーチッ素の特別作用<sup>(5)</sup>

(牛スラリー1:0.5の希釈のとき) 注1:3のときは10%プラス		(ロス%)	(平均ロス%)
直接作用	= 施肥されてから生長を経て収穫まで=40%		
年間作用	= 直接作用+年間の後作用=年間作用=45-50%		
全体作用	= 年間作用+翌年の後作用=65-70%		
① 腐植に固定される	: 5~10%	7.5%	
② 洗脱 (NO <sub>3</sub> -N化して)	: 0~5%	2.5%	
③ アンモニア揮散によるロス	: 20~25%	22.5%	
但し、③のロスは加水率を高めると、5~10%のロスに減少する。			
(1:1の時)			



腐植 0 - 4 cm  
対照区 = 100

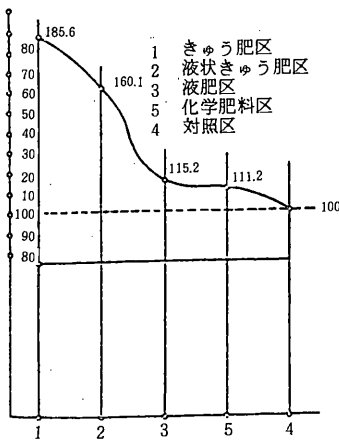


図5 牛スラリーによる腐植の形成

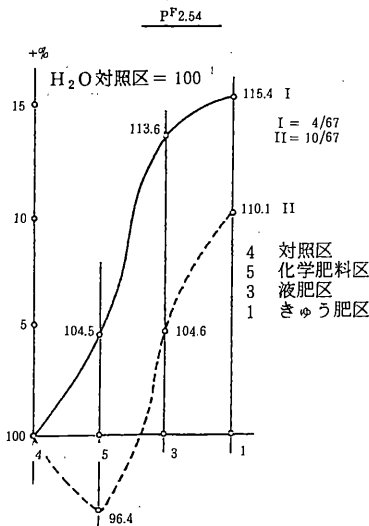


図6 牛スラリーによる土壌の保水力

源である。特に調整された牛スラリーの資源的特性を簡略化して表現すれば①無機態肥料成分と有機態肥料成分及び水分をもつ液体肥料、②根圏、非根圏微生物など多くの土壌生物の栄養源、土壌生物の作用による土壌病害の抑制、耐水性団粒の形成、腐植の形成など土壌生態系の活性化、安定化のための素材、③スラリーに加えられた「適切な水分」は、作物への水分補給作用、養分吸収の

円滑化、土壌生物の水分的生息環境の安定化など「かんがい」として重要な役割を果たす。

我が国の初期のスラリーかんがいが、畜産公害の防止、家畜ふん尿の処理労力の軽減化に重点を置いたのに対し、今日のスラリーかんがいの役割は、既述の資源的機能を用いて、現代農業の歪の是正に向けて、農業生産システムを抜本的に再構築するための戦略的手法として位置づけてゆこうとするものである。すなわち、家畜ふん尿のもつエネルギーと水のエネルギーを合成したものが「スラリーのエネルギー」であり、このエネルギーを極大にまで引き出し、化学肥料、農業に偏向依存した農業生産システムを変革し生態系と経営経済が調和する「新しい農業のしくみ」を再構築するための戦略手法の一つとして、「スラリーかんがい」が、今、新たなコンセプトをもって取り上げられ、評価され始めている。図-7は牛スラリーだけで麦の栽培は可能であるとした調査<sup>7)</sup>の1例である。

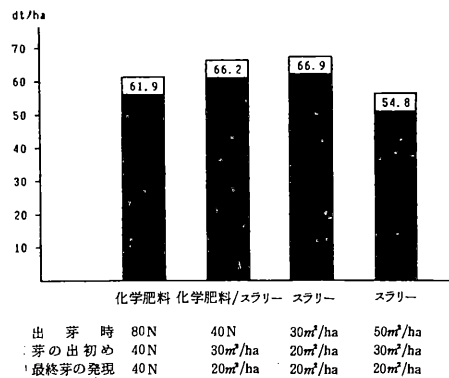


図7 種々な施肥法による大麦の収穫

- (3) スラリーかんがいシステムの概要  
1) スラリーかんがいシステムの基本形  
次の5つの各システムで構成される。

①ふん尿の搬出システム+②スラリー化調整システム [液化調整+生物的調整]+③貯留システム+④搬送システム+⑤施用システム。

このうち④、⑤搬送施用システムの基本形は次に示すとおりである。

a パイプラインシステム (定配システム、移動配管システム)、b タンカーシステム (けん引、自走型)、c パイプライン+タンカー併用システム、のほか、畑作地帯、とび地への応用として、中継タンク (スラリーストッカー) 方式が考えられている。

図-8はスラリーかんがいシステムを畑作地帯に適應させた例である。(芽室地区の構想)

2) スラリーかんがいシステムの特徴

草地及び普通畑における「スラリーかんがいシ

ステム」は牛ふん尿の利用率を向上させるなど、次のような特徴がある。[乳牛スラリーの場合]

① 一般に乳牛スラリーのC/N比は9~12程度と低く、無機化速度は速い。従って、乳牛スラリーの生産速度と草地での分解速度との関係において、バランス性が高く、牛ふん尿の循環利用を成立させることができ、草地生態系の物質循環の安定化など好影響を及ぼす。

② 適熟レベルに達した牛スラリーは、草地土壌への浸透能の向上、土壌との同質化など地表面への残留性は小さい。→堆きゅう肥と対照的、牧草収穫時の混入と品質。

③ 乳牛スラリーの肥料成分含有率から、化学肥料に対する代替性は高く、化学肥料の投入量を相対的に低減させることが可能。

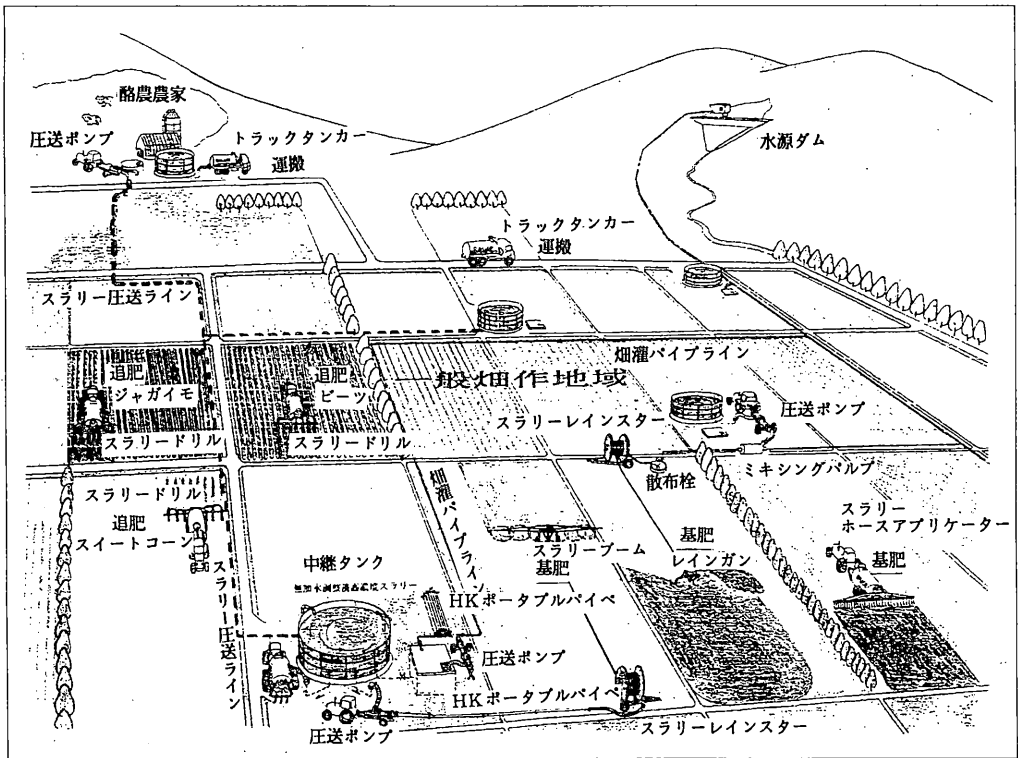


図8 スラリー灌溉システム模式図 (中継タンク型)

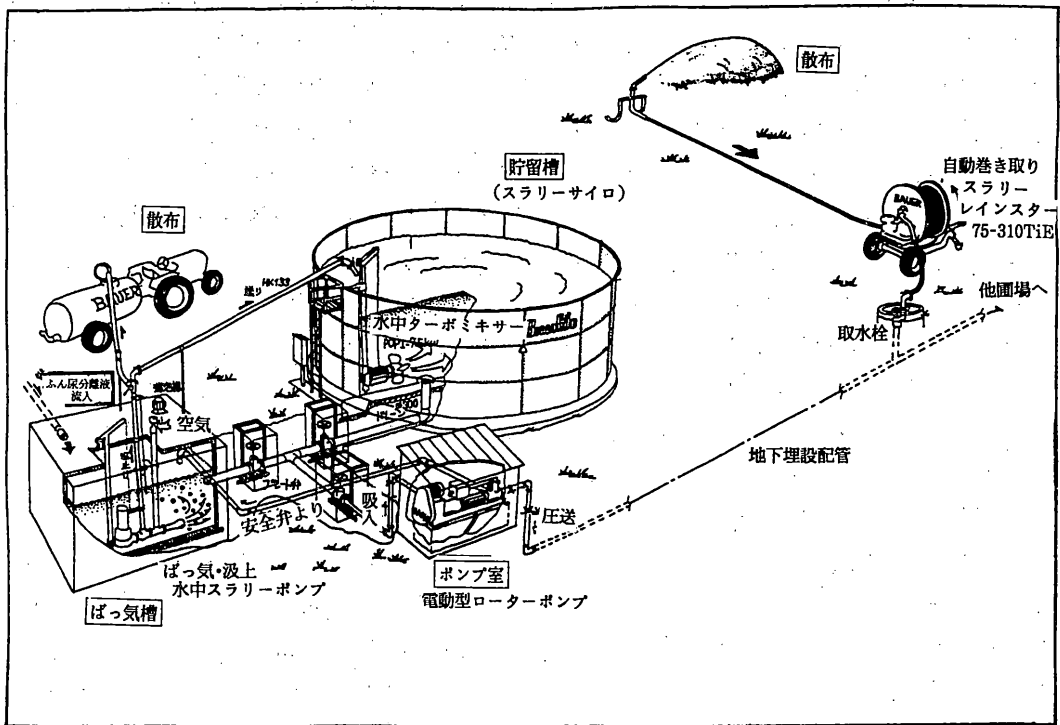


図9 草地におけるスラリーかんがいシステム

- ④ パイプラインシステムの省力効果とスラリーの草地全体への適正配分は可能となる。
- ⑤ 加水による肥料成分濃度の制御、有機成分濃度のコントロールに自由度があるため、施用時期、施用量、施用頻度など牧草栽培管理に対する適合性が向上する。
- ⑥ スラリーかんがいシステムは家畜ふん尿を流体として扱うことから、複数の経営体による共同化利用が可能であり、多くのメリットをもって実施されている。→農地への科学的配分が可能。
- ⑦ 流体としての家畜スラリーは、畑地かんがいシステムと良く整合し、畜種と耕種農業をスラリーを媒体として地域的に結合させ、地域生物資源循環農業を成立させる基本的条件を備えている。
- ⑧ 草地においては、スラリーかんがいシステムを用いることによって、牛ふん尿の草地での利用

率は著しく向上する。図-9は草地におけるスラリーかんがいシステムの1例である。

- ⑨ 畑作におけるスラリーと堆きゅう肥の併用による「共働作用効果」を引き出すことが可能となる。

### 3) スラリーかんがいシステムの応用

環境に調和するスラリーの施用、作目に適合させたスラリーの施用システムの一例を図-10に示す。

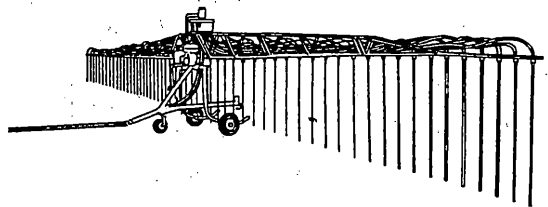


図10 スラリーブームスプレーヤー

#### (4) 牛スラリーの調整

一般に、スラリー化利用のための家畜ふん尿の調整は、①液化調整（敷料除去含む）、②加水調整、③均質化調整、④生物的分解調整、⑤臭気負荷の軽減化などを主たる内容とし、調整によって、環境及び土壤生態系への調和性を高め、スラリーシステムの円滑化、スラリーの取扱い性の向上など資源価値を高めることをその目的とする。

##### 1) 好氣的分解調整と嫌氣的発酵調整

- ① 新鮮スラリーに含まれる易分解性有機物と土壤微生物の反応、「液肥ショック」と生物的分解調整。
- ② 嫌気発酵と好氣的分解の特性（表-4）

ATPと分解速度

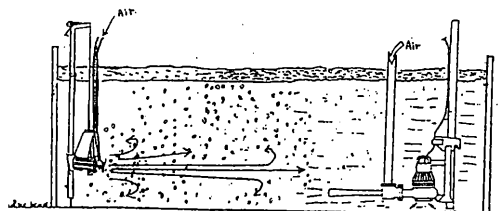
臭気成分の生成

##### 2) 好氣的分解調整システム

好氣的分解調整の機能を高めるためには、スラリーへの酵素移送効率を高め、温度など微生物の増殖環境を最適条件にすることである。

- ① 経済的通气→最少のエネルギーで、気相から液相（スラリー）へ最大量の酸素を移送し、溶解させることである。図-11に代表的なエアレーションシステムを示す。

(1) 通气濃度 TS4.5~6%、TS7%は限界値、(2) スラリー容量とエアレータの能力バランス、(3) 微小気泡と酸素移送効率の向上、(4) 通气槽内のバブルブローの重要性、最低流速0.2m/sec、(5) 攪拌



(1) 水中ターボジェットと水中ばっ気ポンプの組合せ

図11 代表的エアレーションシステム

能力と攪拌精度90~110%の範囲に、(6) 通气槽の形状、円型、1:1.5以内の角形、(7) 好氣的分解調整所要時間は4週間程度（回分式）、(8) 液温の維持、+20~40℃最適増殖温度、許容下限温度+10℃は中温菌増殖最低温度、(9) スラリーの攪拌と酸素供給が一体となって機能すると酸素移送の効率は著しく向上。

##### 3) 家畜スラリーの好氣的分解調整の留意点

次のことに注意して調整をする必要がある。

- ① 調整の主目的は、あらかじめ易分解性有機物を分解させておくことによって、液肥ショックなどスラリーのマイナス作用の生じないスラリー、マイルドなスラリーにすることである。その目標はBOD一時反応終了段階とする。その判定の目やすは、実際の営農に即した指標が必要である。
- ② 過度の調整はスラリーの資源的価値を低下させる。適熟を通過して、過度の腐熟化をしないことである。既に述べたように牛スラリーは本来、多面的資源価値をもっているが、過度の腐熟化によって、緩効性肥料成分の無機化、土壤生態系の活性機能の低下を招くことになり、資源価値は低下する。

したがって、未調整スラリーのマイナス作用の原因となる易分解性有機物を分解させるにとどめ、施用後、土壤微生物が分解作用を行うだけの充分な有機物を残しておくことが重要である。このことはスラリーの分解調整プロセスに要するエネルギーの低減化、合理化の点からも重要である。

##### 4) スラリーの加水調整

###### ① 作物生理とスラリーの加水

スラリーを作物に施用する際、無希釈スラリーを施用したときと、加水スラリーを施用したときとは、作物の収量に大きな差が生じる。図-12は、スラリーの加水の効果<sup>9)</sup>を示す。加水比1:0、1:3、1:7の差に注目する必要がある。「スラリーかんがい」の利点の一つでもある。

表-4 嫌氣的発酵と好氣的分解の特性・比較

		嫌氣的発酵調整	好氣的分解調整
1	増殖する微生物	偏性嫌気性菌、通性嫌気性菌 (アルコール発酵、メタン発酵)	通性嫌気性菌、偏性好気性菌 (分解様式の大部分好氣的)
2	分解速度 (増殖速度) ATP生成効率	遅い 好気にたいして1/3~1/5 有機化合物の酸化時に得られるΔG (自由エネルギー)の変化は右の1/20 (1molのグルコース)	速い 嫌気にたいして3~5倍 ΔG20倍 (左のグルコース)
	ATPの獲得方式 (生成様式)	菌体収率 $Y_x/s$ 0.14 (グルコースを基質とする) 主として発酵、電子受容体、供与体とも有機化合物で電子伝達鎖を通らない代謝様式	$Y_x/s$ 0.4、左の3倍 主として呼吸、電子が電子伝達鎖を通る。最終電子受容体は分子状酸素。
3	臭気成分	嫌気発酵の過程で臭気成分が生成される。 臭気負荷は大きい。 硫化水素、アミン類、VFA他複合臭気成分	アンモニアを除けば臭気成分は生成されにくい。 臭気負荷小さい。 CO <sub>2</sub> +水+硝酸イオン、硫酸イオン、NH <sub>3</sub> を主体とする単一臭気成分、VFA→CO <sub>2</sub> +水に分解
		酸発酵(液化過程)VFAなど 第一段階 ↓ メタン発酵(ガス化) 2~3段階発酵	有機物は単純にCO <sub>2</sub> 、水、イオンに分解
4	分解物の性質 土壌生態系 安定化機能	メタン発酵に到達したスラリーには有機物質含有率は低く、無機物が主体。 土壌生態系活性化、安定化機能は低い。	セルロース類、リグニンなど中位分解性、難分解性有機物を含む。左の活性化、安定化機能は高い。

② 加水によるスラリーの調整

加水率(希釈率)を決定する要因は以下の4点に集約できる。

(1) 経済的スラリー原液貯留濃度:

TS 7%、未希スラリー:水=1:1  
(S) (W)

(2) 効率的酸素移送濃度:

TS 4.5-7%、S:W=1:2~1:1  
(経済的ばっ気調整濃度)

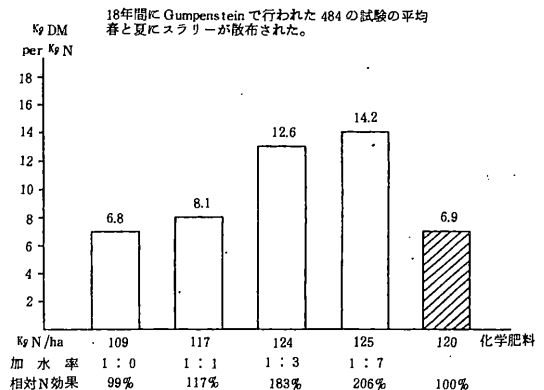


図12 スラリーの加水効果<sup>8)</sup>

(3) 経済的搬送濃度：

┌ スラリータンカー  
   TS 7%、S : W = 1 : 1  
 └ 管路輸送  
   TS 4.8~5.8%、S : W = 1 : 2 ~ 1 : 1.5

(4) 土壌及び作物生理上の適正濃度：

S : W = 1 : 3 ~ 1 : 7

(1)は、畜舎より排出されたスラリー原液を一次槽で加水調整する濃度である。(半固状の家畜ふん尿の液化調整含む) 排出時のスラリー濃度の変動巾は大きい。一次槽内の攪拌、汲み上げを前提にした経済的貯留濃度である。

(2)は、ばっ気所要時間(日数)、ばっ気所要動力、ばっ気調整槽の経済容量から求めた効率的酸素移送濃度である。TS 7%はスラリーへの酸素移送の限界値である。

(3)は、TS 4.8~5.8%最適管路輸送濃度である。スラリータンカーの性能上は、S : W = 1 : 0.5も可能であるが1 : 1以上が望ましい。TS 7.4%は管路輸送限界値である。

(4)は、土壌及び生物生理に対して、最も良好に作用する(生産性、品質)スラリー濃度は、S : W = 1 : 3 ~ 1 : 7である。この加水概念はTS %濃度だけではない。搬送施用能率を考慮して1 : 3が妥当である。

スラリーの貯留量、搬送施用作業の立場からのみ見れば、高濃度スラリー程良く、加水率を可能な限り小さくしたいところであるが、上記の加水要因からして、各々のプロセスのところ、合理的な加水をしなければならない。

以上を要約すれば、①一次槽(投入槽)でTS 7%程度になるように加水、②ばっ気調整槽では、

TS 5~6%になるように加水、③搬送段階では、TS 5~6% (管路輸送)、④施用段階で1 : 3 (= TS 4%)

④の段階では、スラリータンカー輸送は不利となり管路輸送(パイプライン)が有利である。

5. 今後の課題

- (1) スラリーによる施肥計画、施肥設計、優先権
- (2) スラリーと堆肥による共働作用効果とその実践

引 用 文 献

- 1) Soil Biotechnology, J. M. Lynch, 丸本ら共訳 博友社, 1986.
- 2) 山根恒夫、生物反応工学、産業図書, 1991.
- 3)、4) 新井、今泉、糸川、乳牛ふん尿の物理的性状、農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究、草地試、農林水産技術会議事務局, 1979.
- 5) G. Schechtner, Nahrungswirkung und Sonderwirkungen der Gülle auf dem Grünland, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 1981.
- 6) H. Kosmat, Gölledüngung und Bodenfruchtbarkeit 5. Arbeitstagung "Fragen der Güllerei, 1968.
- 7) H. Hoffman, dlz-Die Landtechnische Zeitschrift, 1984.
- 8) G. Schechtner, Economical use of slurry on glasslands without casing damages on soil, water and plants and with small odour emissions, 1986.