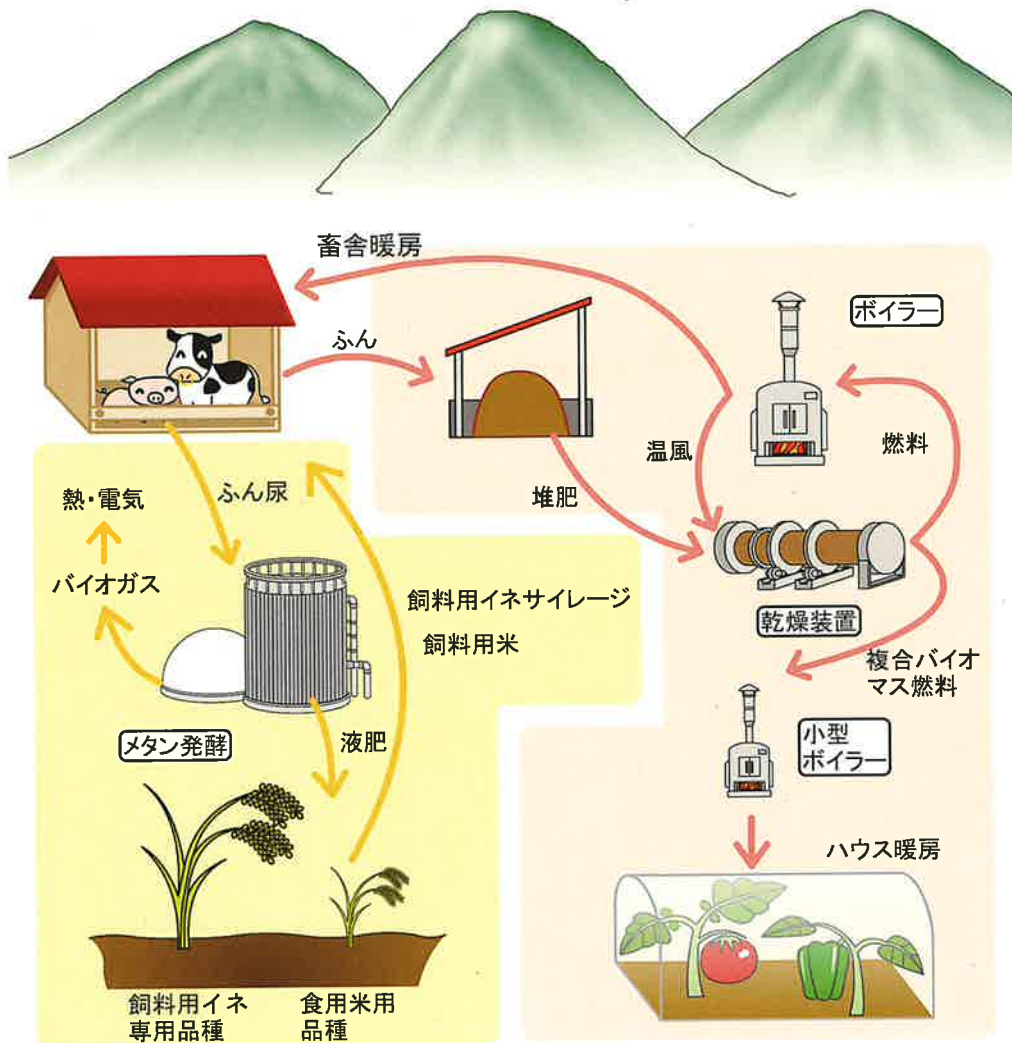


メタン発酵消化液の水田利用 および 堆肥の燃焼利用マニュアル



平成 23 年 3 月

まえがき

平成11年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が施行されて以降、家畜排せつ物の適正な管理を行うための処理施設の整備が進められてきました。また、平成19年3月には「家畜排せつ物利用の促進を図るための基本方針」が策定され、この中に家畜排せつ物のエネルギーとしての利用の推進が掲げられました。

エネルギー利用の1つであるメタン発酵は、家畜ふん尿からメタンガスを生産できる優れた技術ですが、この後に残る残渣（消化液）の処理が問題となっています。消化液は、即効性の窒素・カリを含む良質な消化液として牧草地へ散布利用できますが、北海道を除く都府県では十分な草地面積を確保できることは少ないです。メタン発酵を普及するためには、草地以外での散布利用技術を確立し、消化液の消費を促進する必要があります。そこで、飼料用イネと食用イネの栽培に利用する技術を検討し、ここにマニュアルとしました。

一方、家畜排せつ物のエネルギー利用には、燃焼による熱利用もあります。鶏ふんを燃焼した熱で発電する実規模施設が稼働しているところですが、非常に大規模なものになってしまうため、個々の畜産農家で売れ残った堆肥を燃焼するといった利用は困難です。このマニュアルには、牛ふんや豚ふんの堆肥を原料として燃料を生産し、小型のボイラーで利用する技術について検討した結果を掲載しました。

本マニュアルが、家畜ふん尿処理に活用され、畜産経営の安定の一助となれば幸甚であります。

平成23年2月

財団法人 畜産環境整備機構
理事長 堤 英隆

目次

第1章 消化液の飼料用イネ栽培への利用

1. 飼料用イネ栽培と食用米栽培の違い	2
2. 消化液の条件	2
3. 水田の条件	4
4. 水口施用による均一な散布方法	5
5. 水口施用の水量	14
6. 水口施用に要する時間	14
7. 消化液の運搬方法と費用	15
8. 消化液タンクの設置	16
9. 消化液の施用量と施用時期	17
10. その他の注意点	20

第2章 消化液の食用米栽培への利用

1. 消化液の散布方法	23
2. 精密調査	25
3. 広域調査	31
4. まとめ	38

第3章 堆肥の小規模燃焼施設による熱利用

1. この技術について	39
2. 堆肥燃焼利用の問題点	40
3. 実証プラントによる処理フロー	41
4. 問題点の解決策と試験結果	42
5. 本技術を使用するにあたっての注意点	47

引用文献

第1章 消化液の飼料用イネ栽培への利用

1. 飼料用イネ栽培と食用米栽培の違い

この章で対象とする飼料用イネとは、飼料用イネ専用品種を家畜の飼料として利用するものです（図1）。食用米の栽培では、食味が最も重視され、次いで玄米収量が追求されます。これに対して、飼料用イネでは、地上部のすべてを利用するため、バイオマス収量が高めることが栽培上の主眼となります。

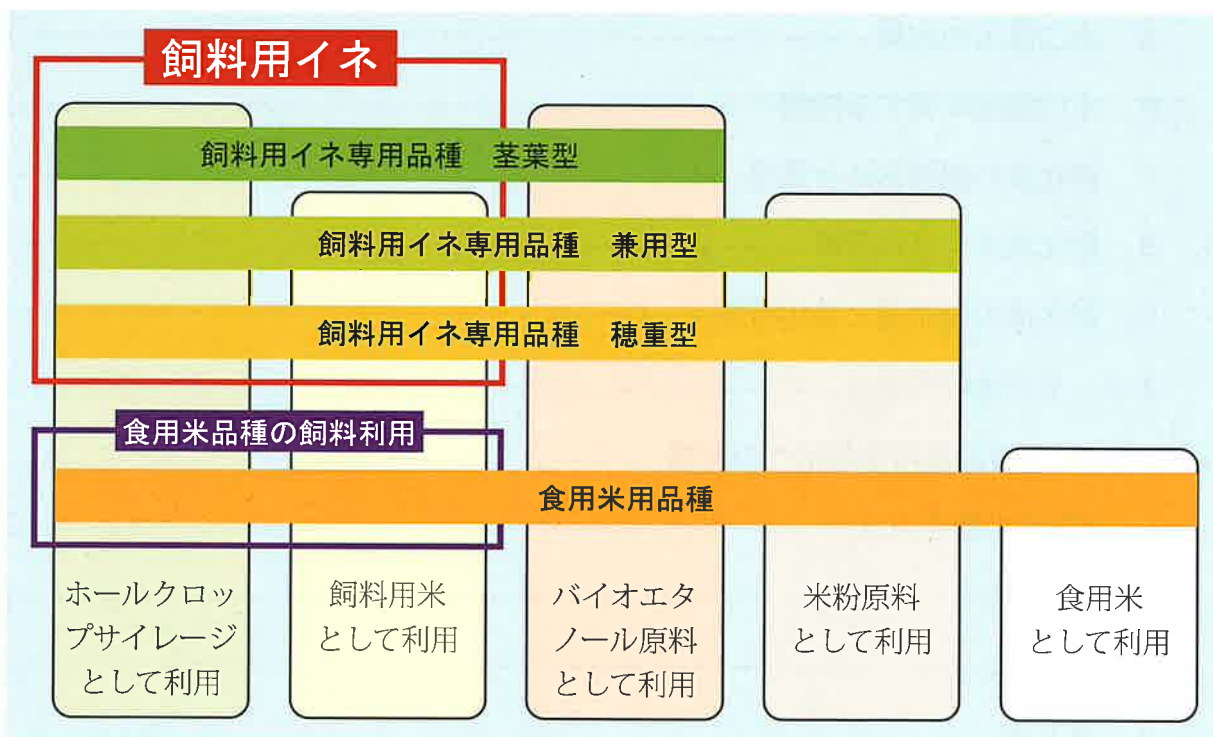


図1 飼料用イネの位置付け

2. 消化液の条件

水田に施用するためには、消化液が以下の条件を備えている必要があります。

(1) 農作物や人に害のある微生物が含まれていない

病原性微生物は、メタン発酵のみでは死滅しないため、熱による殺菌が必要です。ここでは、メタン発酵の流れ（図2）に従って、デンマークで用いられているバイオガスプラントの衛生消毒規定を示します（表1）。理学的滞留時間とは、メタン発酵槽の容積を1日あたりの原料投入量で割った値です。最低保証滞留時間とは、消化液が消毒槽に確実に滞留している時間です。

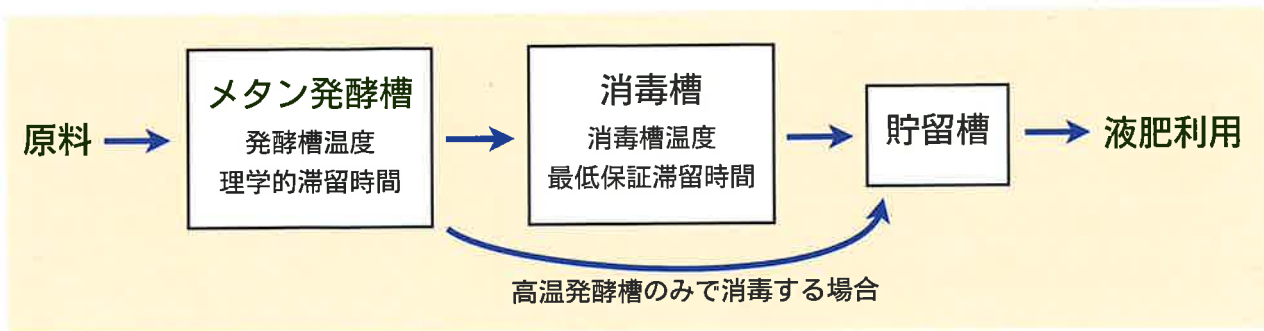


図2 メタン発酵の流れ

表1 デンマークでの衛生消毒規定

○消毒槽のみで消毒する場合

消毒槽温度	最低保証滞留時間
70℃	1時間

○高温発酵槽のみで消毒する場合

発酵槽温度	最低保証滞留時間
52℃	10時間
53.5℃	8時間
55℃	6時間

○高温発酵槽+消毒槽で消毒する場合

発酵槽温度	理学的滞留時間	消毒槽温度	最低保証滞留時間
52℃以上	7日以上	55℃	5.5時間
		60℃	2.5時間
		65℃	1時間

○中温発酵槽+消毒槽で消毒する場合

発酵槽温度	理学的滞留時間	消毒槽温度	最低保証滞留時間
20～52℃	14日以上	55℃	7.5時間
		60℃	3.5時間
		65℃	1.5時間

(2) 雑草の種子が含まれていない

水田で問題となる雑草のほかに、水田の裏作に畑地利用している場合は畑地で問題となる雑草にも注意を払う必要があります。雑草種子の多くは、60℃で3時間の熱処理で発芽しなくなりますが（文献1）、アレチウリの種子は55℃のメタン発酵でも死滅させることは難しいです（文献2）。メタン発酵の前段もしくは後段に、スクリープレス等を用いて目開き1 mm以下のスクリーンを通して、雑草種子を取り除くようにします。

(3) 農作物や環境に悪影響のある物質が含まれていない

メタン発酵の原料に、除草剤や重金属等が入らないようにします。

(4) 肥料成分の濃度が分かっている

最低限、窒素とカリの濃度は必要です。窒素については、アンモニア態窒素の濃度が重要ですが、全窒素の半分をアンモニア態窒素として施肥量を概算することもできます。

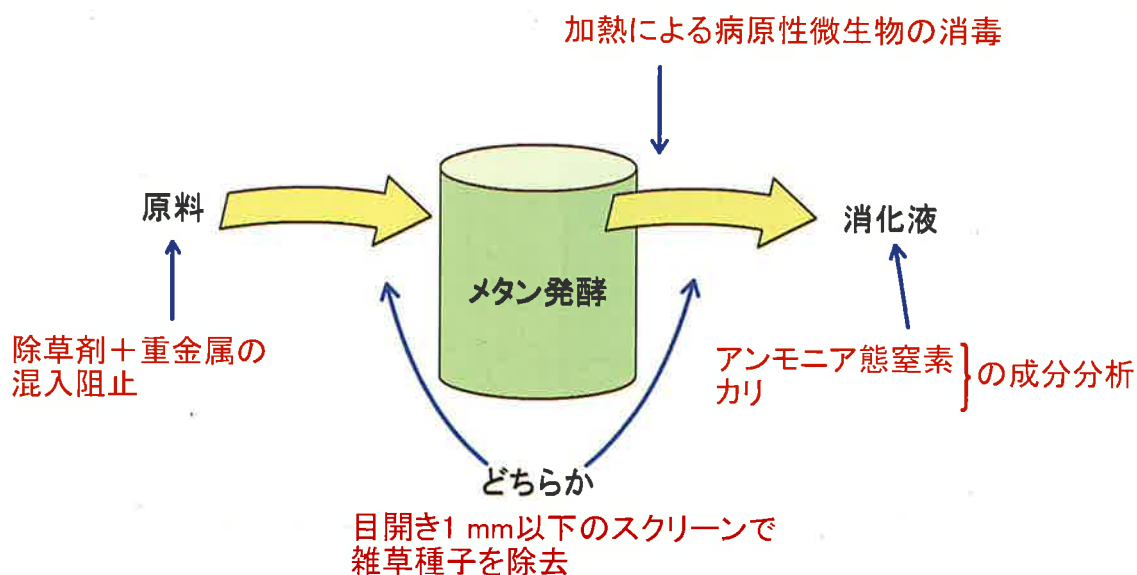


図3 農地に使える消化液の条件

3. 水田の条件

消化液の水口施用による飼料用イネ栽培に適した水田は、以下の条件をそろえているほ場です。

(1) 水口近辺に消化液を搬入できる

消化液をバキューム車等で搬入するため、重量のある車両が走行できる車道が、水田の水口まで通っていかなくてはなりません。道がない場合、ホースやパイプライン等を使って対応することも可能です。

(2) 減水深が極端に大きくない

1日の減水深が100 mmを超えるような水田（いわゆるザル田）は、水口施用による均一な散布が難しく、消化液の窒素成分が地下水に移行する可能性もあるため、適しません。

(3) 耕作面に極端な高低差がない

耕作面に高低差があると、水口施用を均一に行うことが難しくなります。どこまで許容できるかは、定植後のイネがどこまでの水深に耐えられるかと、減水深を考慮しなくてはなりません。詳しくは、7ページの「4. (2) 耕作面の高さの不均一」をご覧ください。

(4) 排水口がある

水口施用による均一な施用のためには、施用前の落水が必須です。排水口がなくても、ポンプで排水できるのであれば対応可能です。

(5) 十分な給水量がある

灌漑水の水量が少ないと、水口施用に要する時間が長くなってしまいます。水深を50 mm上げるのに6時間以上かかるような水田は適しません。

4. 水口施用による均一な散布方法

飼料用イネの栽培は、食用米で行われているほどの厳密な施肥管理を必要としません。そこで、水田の水口から水と一緒に消化液を流し込む「水口施用」が、手間がかからないことから広く利用されています。しかし、水口施用では、水田全体に均一に消化液が広がらない例がみられます（写真1）。ここでは、図4に示す試験ほ場にて行った栽培試験結果を交えて、水口施用が不均一になる要因と改善方法について述べます。



写真1 水口施用の施用ムラで生育が不揃いになった例

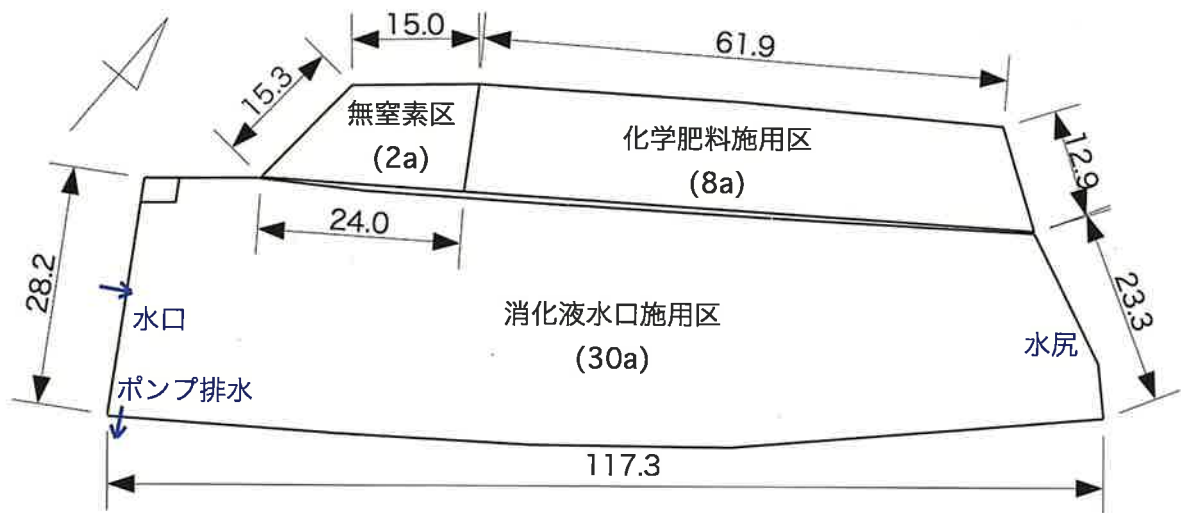


図4 試験ほ場の形状 (長さの単位はm)

(1) 水口施用後の給水

水口施用後の水口近辺のアンモニウムイオン濃度の変化を図5に示します。アンモニウムイオンは、土壌への吸着等により1日目で大きく低下し、6日目には低いレベルになりました。消化液を施用して6日間以内に水口から水を流し込むと、水口付近のアンモニウムイオン濃度が低下してしまい、施用ムラの原因になる可能性があります。施用後6日間は、給水しないようにします。

減水深が大きく、6日間に落水状態になるときは、落水状態になってから給水します。

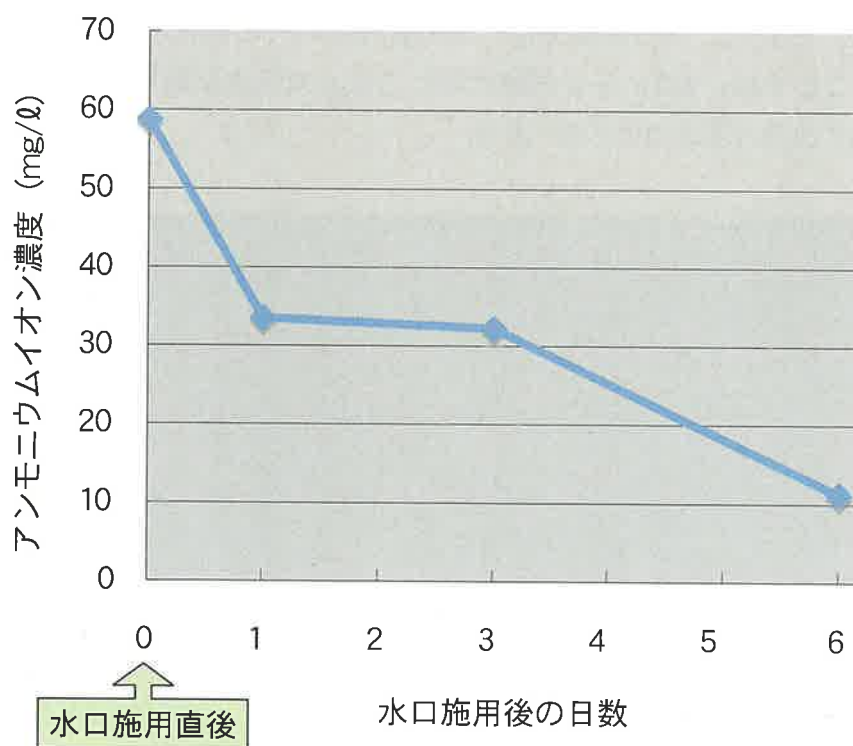


図5 水口施用後の水口近辺のアンモニウムイオン濃度の変化 (水田に30倍希釈した消化液を水深67 mmになるまで水口施用)

(2) 耕作面の高さの不均一

耕作面の高さの不均一は、水口施用後の水深の違いによる施肥量のムラの原因となります。耕作面の高さの不均一は、落水過程において観察することができます（写真2）。

図5にあるように、3日間はアンモニウムイオンが高濃度で存在することから、水口施用後3日目でも、水田の全体が湛水状態を保っていれば、耕作面の高さが不均一でも施用ムラになりにくいと考えられます。例えば、1日あたりの減水深が15 mmならば、耕作面が最も高い部分の水口施用後の水深が

$$15 \text{ mm} \times 3 \text{ 日間} = \underline{45 \text{ mm}}$$

以上になるようにすれば、施用ムラが少ないと考えられます。

どのくらいまでの高低差まで許容できるかについては、定植後に基肥を水口施用する場合、イネの苗の高さによります。例えば水深100 mmが許容限界であれば、上の例の場合、

$$100 \text{ mm} - 45 \text{ mm} = \underline{55 \text{ mm}}$$

以下の高低差であれば、水口施用に適していることとなります。



写真2 落水時に観察できる耕作面の高低差
(水田の右側中央が低いため、湛水している部分が多い)

(3) 水と消化液の混合不足

水と消化液の混合不足は、図6に示すような状態となり、施用ムラの原因になります。水田に入る前に水と消化液をよく混和して流し込むか、写真3のようにコンテナ等を利用して混合するようにします。

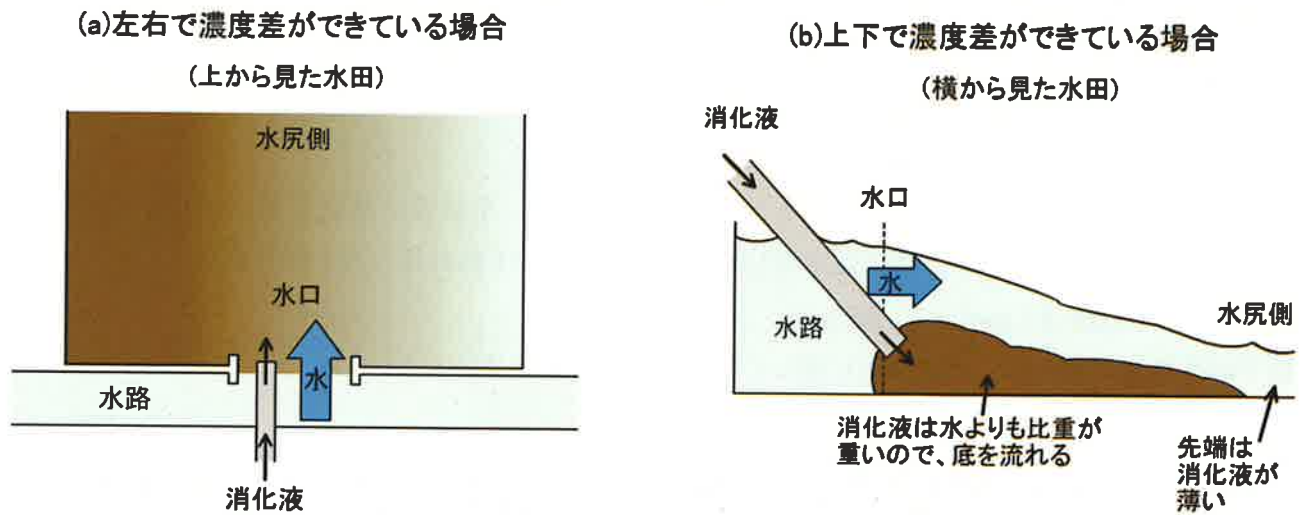


図6 水と消化液の混合不足による施用ムラのイメージ



写真3 コンテナを利用した水と消化液の混合の例

(4) 落水不足

落水不足の場合、水田に残っている水が水口施用された消化液と混ざらずに、水尻側に押し流されるため、図7のように施用ムラができてしまいます。このようなムラができると、水尻の収量が低くなります（図8）。田植機のわだちに残る程度は仕方ありませんが、極力落水してから水口施用します。なお、消化液を施用すると、水田の減水深が小さくなって、水が引きにくくなる場合があります。

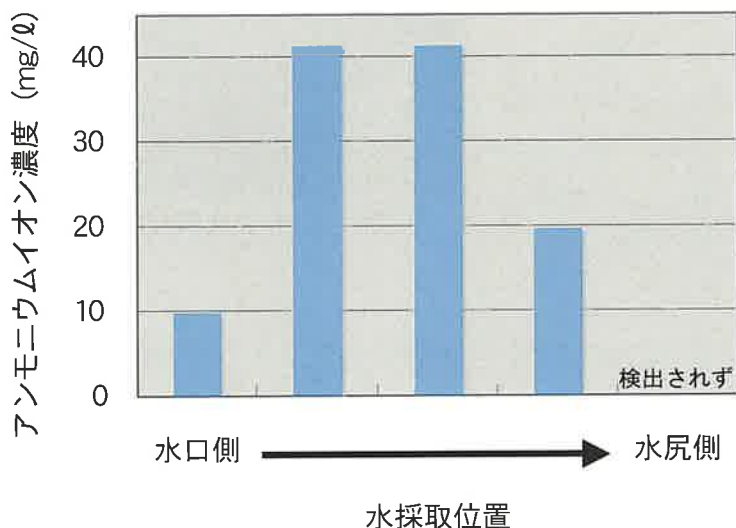


図7 図4の水田にて落水不十分で水口施用した直後のアンモニウムイオン濃度（水位が約70 mmの水田に30倍希釈した消化液を水深62 mm増まで水口施用。最後に水のみを流したため水口の濃度も低い。）

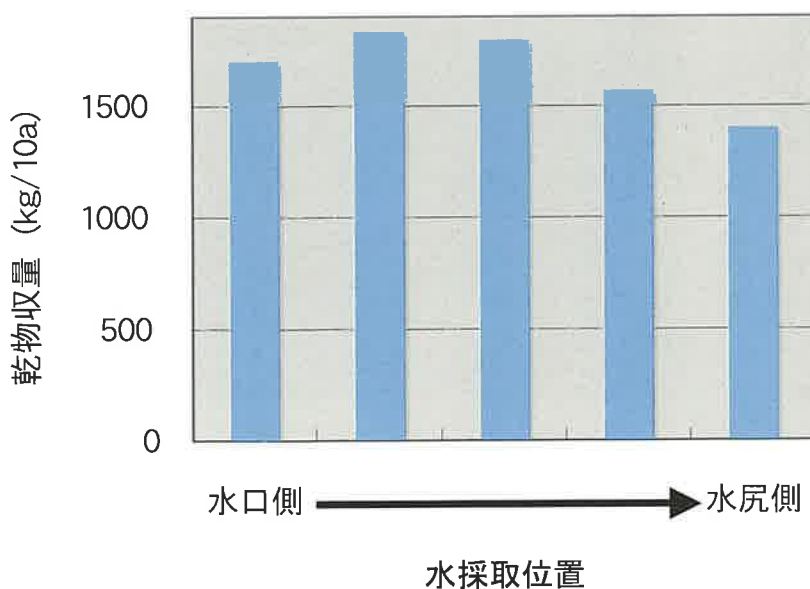


図8 図7の水口施用した飼料用イネ（リーフスター）の収量（落水不十分な水口施用により水尻側の収量が低い）

水田に藻が繁茂していると写真4のように、藻が排水側に寄り集まり、ダムのようになって排水を妨げることがあります。このような場合は、十分な時間をかけて落水します。あらかじめ、完全に落水させて藻を枯らせたり、モゲトン等の藻を枯らす農薬を使用したり等で、藻を除去すると水位調整が容易になります。藻が繁茂した場合は、土壌に過剰なリンが蓄積している可能性があります。土壌の有効態リン酸濃度を測定し、過剰に蓄積している場合は、翌年にリンの施用量を減じたり、無施用にしたりします。



写真4 繁茂した藻が排水時にダムになっている例

大量の降雨等により十分な落水ができない場合は、2つの対応策があります。1つは、湛水している水田全体の平均的な水深が浅い場合に、この水深の10倍程度の水深になる量の水で消化液を水口施用する方法です。これで図9に示した程度に施用ムラを改善できます。水位が非常に高くなるため、畔の決壊等による漏水や、定植直後ならばイネの水没に注意してください。もう1つは、水尻側に排水口がある場合に、水田に残っている水を排水しながら水口施用する方法です。この場合、排水口から消化液が流れ出る前に閉じる必要があるため、常時観察しながら作業を行わなくてはなりません。

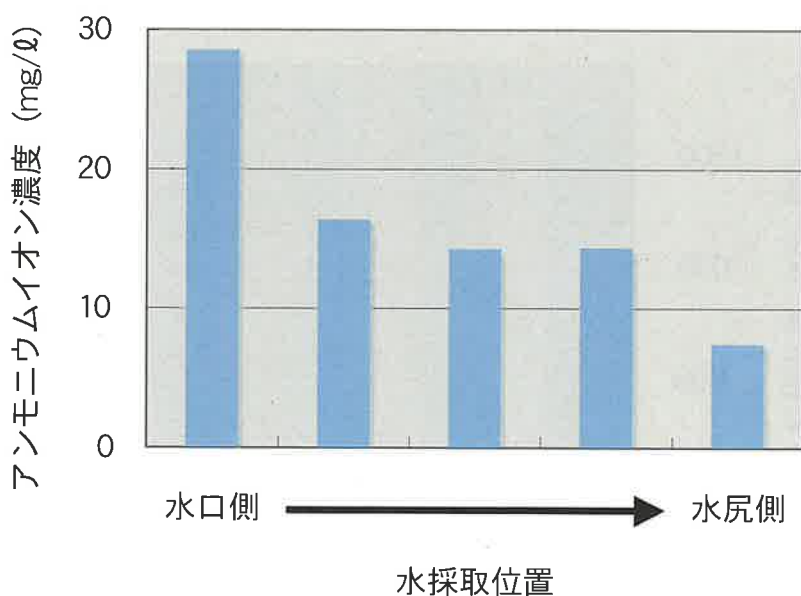


図9 図4の水田で落水不十分で大量の水で水口施用した直後のアンモニウムイオン濃度 (水位が平均して約10mmの水田に60倍希釈した消化液を水深100mm増まで水口施用。水口から100m先の水尻にもアンモニウムイオンが届いている。)

(5) アンモニアの揮散や吸着

図10は、水口施用直後のアンモニウムイオンとカリウムイオンの濃度が、水口からの距離に従って低下している状況を示したものです。カリウムイオンよりも、アンモニウムイオンは、濃度の減少が大きいことがわかります。カリウムイオン濃度の低下は、水口施用前の水田に残っていた水による希釈の影響と思われる。カリウムイオン以上のアンモニウムイオン濃度の低下は、施用された消化液が水尻方向に流れる途中で、土壤に吸着されたり、アンモニアガスとして大気中に揮散したりしたことによると思われる。

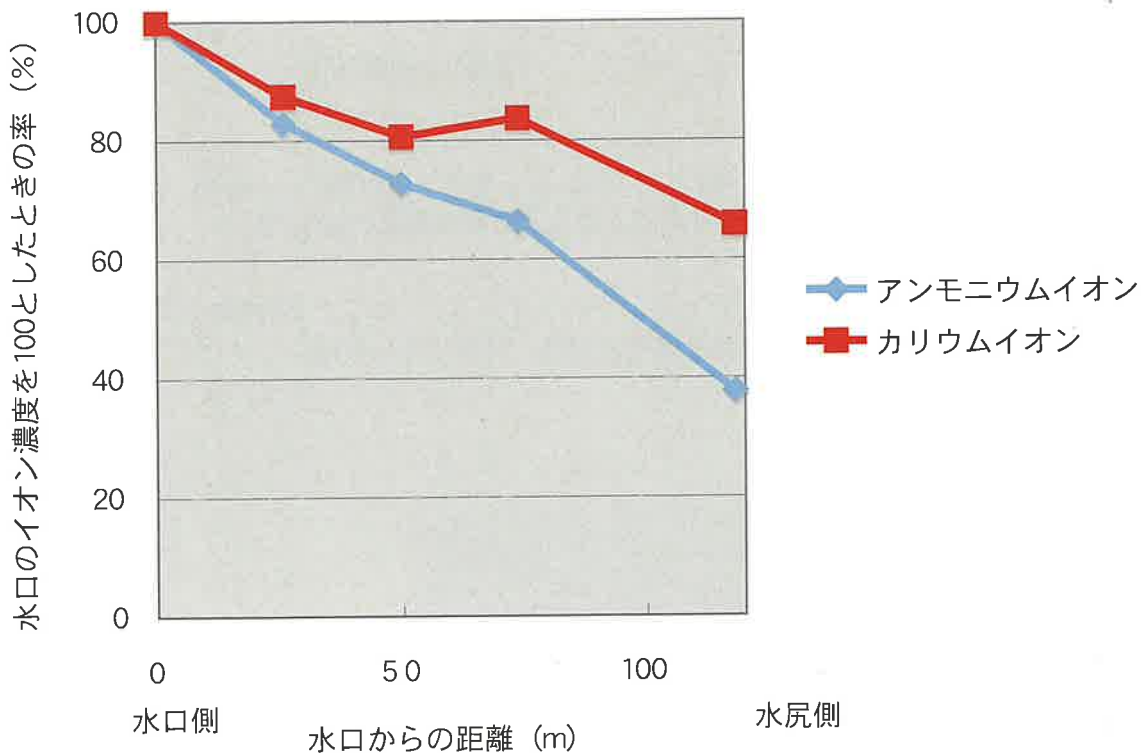


図10 図4の水田にて十分な落水後に水口施用した直後のイオン濃度
(20倍希釈した消化液を水深42 mm増まで水口施用)

揮散や吸着による水尻に向かってのアンモニウムイオン濃度の低下を避けることは難しいですが、消化液の希釈倍率を上げることで揮散量を減らすことができます。図11は、牛ふんスラリーで試験した例ですが、アンモニウムイオン濃度が低いほど、また温度が低いほど、アンモニアの揮散が少ないことを示しています(文献3)。揮散の減少は、周辺への悪臭を減らすことにもつながります。

実現できる場合は少ないですが、水尻側に投入口を増設することで、揮散や吸着によるアンモニウムイオン濃度のムラを減らすことができます。図12は、写真5のようにサニーホースと水中ポンプを使用し、投入口を水尻側に増設したときのイオン濃度です。水田全体に均一に施用されています。増設した投入口の先端は、流れを分散できるように、図13に示すような構造にしました。サニーホースの太さ、投入口の穴の径や数は、水中ポンプの能力に応じて調整してください。

木酢液を消化液に混合してpHを中性にすることで揮散量を低減している例もあります。

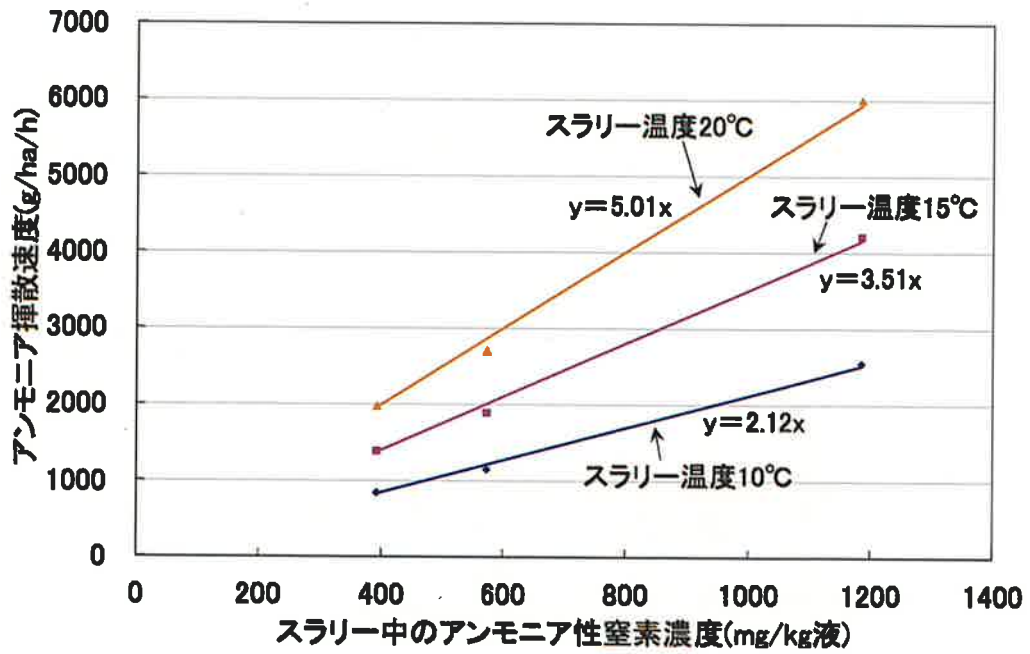


図11 牛ふんスラリーのアンモニウムイオン（アンモニア態窒素）濃度とアンモニア揮散速度の関係（文献3から引用）

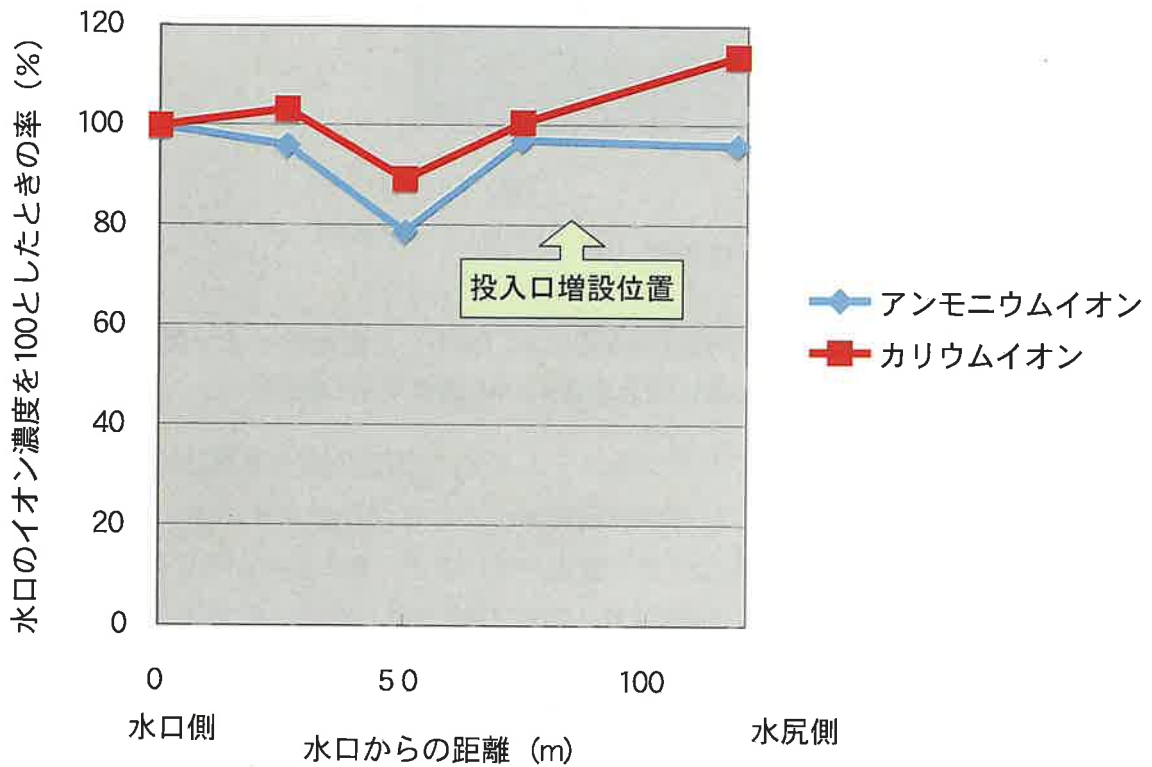


図12 図4の水田にて十分な落水後に投入口を水尻側に増設して水口施用した直後のイオン濃度
(20倍希釈した消化液を水深39mm 増まで水口施用した)



写真5 サニーホースによる投入口の増設
 (80 m先でエルボーに接続して水田の中央に投入口を設置)

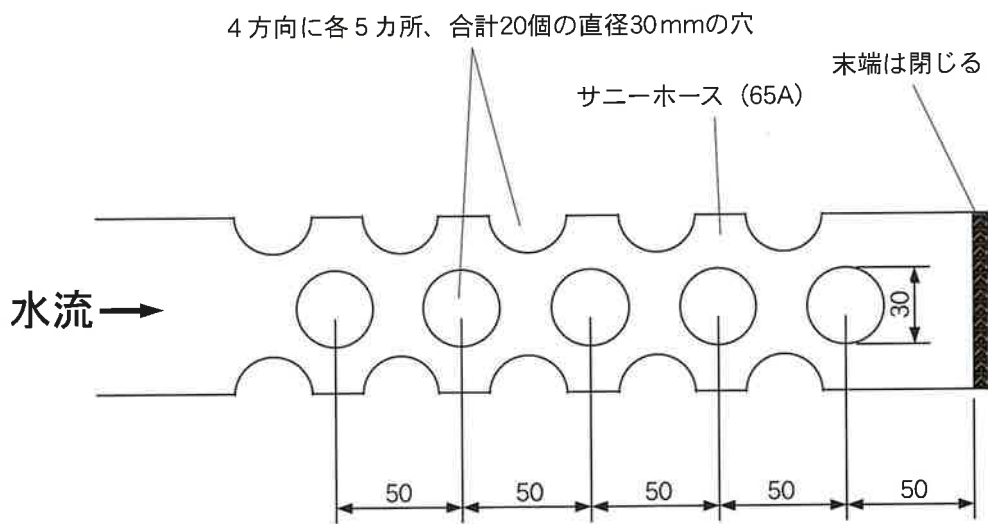


図13 サニーホースを加工した投入口の例
 (流速が300ℓ/分の場合、長さの単位はmm)

5. 水口施用の水量

水口施用時に流し込む水量は、水深をどのくらいまで増やすかによります。山鹿市バイオマスセンターでは、30 mmを目安にしています（文献4）。湛水部分が全くない状態であれば、この程度で十分ですが、7ページの「4.（2）耕作面の高さの不均一」がある場合は、これを考慮します。また、9ページの「4.（4）落水不足」に対処する場合や、11ページの「4.（5）アンモニアの揮散や吸着」に示した臭気対策を図る場合は、より多くの水量とします。田植え後に行う基肥の場合、水深を深くしすぎるとイネが水没してしまいますから、注意が必要です。

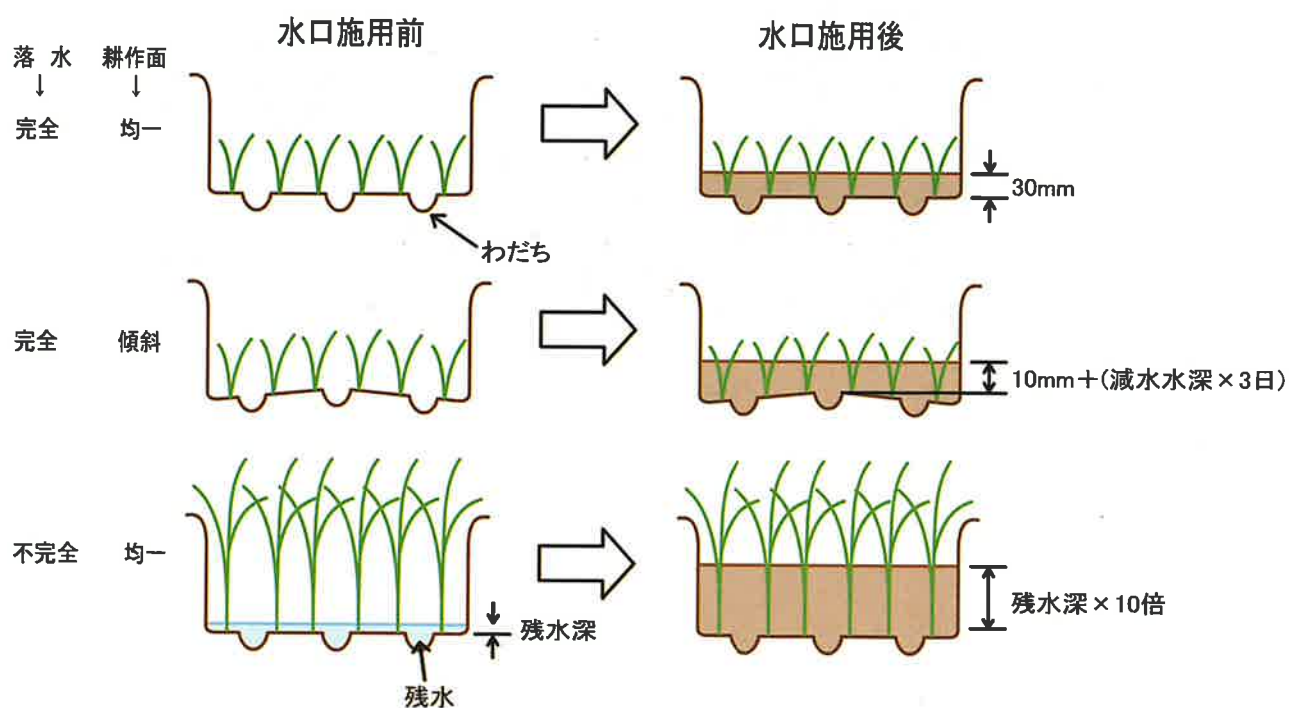


図14 水深をどのくらい増やすか

6. 水口施用に要する時間

水口施用で流し込む水量と灌漑水の水量をもとに計算します。例えば、灌漑水の水量が、水深を100 mm増やすのに6時間ほどかかる程度するとき、水口施用で水深を70 mm増やす場合は、

$$6\text{時間} \div 100\text{ mm} \times 70\text{ mm} = \mathbf{4.2\text{時間}}$$

となります。

バキューム車から消化液を流し込む速さは、灌漑水を流し込む時間（この例なら4.2時間）と消化液施用量およびバキューム車のタンク容量をもとに計算します。例えば、水田面積が1 haで、消化液を施用する量を3 m³/10aとした場合、

$$3\text{ m}^3/10\text{a} \times 10 = \mathbf{30\text{ m}^3}$$

を施用することになります。バキューム車のタンク容量が2 m³ならば、1回の運搬量を流し込むのにかける時間は、

$$4.2\text{時間} \div 30\text{ m}^3 \times 2\text{ m}^3 = 0.28\text{時間} \approx \mathbf{17\text{分}}$$

となります。バキューム車が消化液を17分で排出しきれない場合は、灌漑水の水量を減らすか、水深を増やす量を多くするかして調節します。

この例の場合、バキューム車から17分かけて水口施用する作業を

$$30\text{ m}^3 \div 2\text{ m}^3 = \mathbf{15\text{回}}$$

行うこととなります。バキューム車が搬送している間は、消化液を流し込めませんから、灌漑水の水も止めます。この間の時間も作業時間に含めなくてはなりませんから、実際の作業時間はもっと長くなります。搬送時間が長くかかる場合、バキューム車を複数台使ったり、2台のバキューム車から同時に施用できるように水口を2カ所にしたりして時間短縮します。16ページの「8. 消化液タンクの設置」で述べる消化液タンクの設置も、時間短縮に有効です。

7. 消化液の運搬方法と費用

消化液は、95～98%が水分であり、肥料成分が堆肥等に比べて薄いため、搬送する量が多くなります。例えば、窒素濃度が2,000 mg/ℓ（0.2%）の消化液で、5 kg/10aの窒素を施用する場合、

$$5\text{ kg}/10\text{a} \div 2\text{ kg}/\text{m}^3 = \mathbf{2.5\text{ m}^3}/10\text{a}$$

の消化液を運ぶこととなります。運搬には、バキューム車やタンクローリーを使います。タンク容量が大きいほど手間を省けますが、水田周辺の農道は、狭かったり地盤が弱かったりしますので、目的地まで行ける大きさのものにすることが重要です。

バキューム車の場合、周辺の住民や水田管理者等が、し尿等の汚いものを水田に流しているといった誤解をする可能性があります。あらかじめメタン発酵処理済みで衛生的に問題がないことを知らせたり、バキューム車の両側に「メタン発酵処理済み液肥」や「消毒済み有機質肥料」といった表示をしたりすることで周知するようにします。

稲発酵飼料 生産・給与技術マニュアルH18年版（文献5）に掲載されている飼料用イネの栽培実例によると、堆肥施用を除く肥料の施用にかけている費用は、1,100円～7,250円/10aの幅があり、平均で4,023円/10aでした。運搬費用をこの範囲に収めることは難しいので、ふん尿処理費用の一部として畜産農家が負担したり、速効性の窒素肥料を含む有機JAS適合資材や特別栽培用資材として付加価値を付ける等、工夫が必要です。

参考程度ではありますが、実証試験において16 kmの消化液運搬を業者に依頼したときの費用は、9,000円/m³でした。

8. 消化液タンクの設置

消化液の水口施用には、バキューム車から直接水田に流し込むのが一般的です（写真6）。しかし、流し込んでいる間もバキューム車と運転手を拘束してしまうため、費用がかさむ一因となります。水田の脇にタンクを置き、ここに消化液を一旦溜めおくことで、バキューム車の拘束時間を短くできます。また、タンクの容積が1回に流し込む消化液を溜めおくことができるならば、消化液の運搬と水口施用との日時を合わせる必要がなくなるため、時間調整が容易になります。消化液タンクを設置するときは、下記の点に留意してください。

- ・ 水田よりも高い位置に置いて自然流下で消化液が流れるようにするか、ポンプでくみ出せるようにする。
- ・ 無希釈の消化液が流れる配管は、内径50mm以上にする。
- ・ 配管に消化液が入ったまま放置すると詰るので、使用後は水で洗浄する。
- ・ 流速が調整できるようなコックを設置する。
- ・ タンクの底に沈殿物が溜まるので、かく拌できるようにする。
- ・ タンクは地盤が安定したところに置く。

消化液を施用する水田が一カ所に多くある場合、大きな消化液タンクを設置し、パイプラインで水田に送ることも考えられます。設置費用は、例えば、1 haの水田が10枚あり、飼料用イネの栽培の肥料の窒素とカリを全て消化液でまかなうとした場合、1,000 m³程度の貯留タンクとなり、送液ポンプやパイプライン敷設等を含めて、概ね2,800万円程度を要する試算結果となりました。この金額の6割以上を貯留タンクが占めるので、より安価な貯留タンクにすることで設置費用を低減できます。プラスチックシートによる自作タンクで、400 m³を90万円を実現している例もあります。

貯留タンクだけでなく、小型のメタン発酵施設を併設することも考えられます。上記の例の規模であれば、1日あたりの処理能力が2.7 m³/日となり、肥育豚ならば530頭、泌乳牛ならば46頭に相当するふん尿を受け入れる規模となります。運搬するだけでふん尿処理が完了するならば、無料で自らふん尿を運搬してくれる畜産農家が出てくることを期待できます。小規模な施設であるため、畜産農家のふん尿を処理するには、このような施設が数カ所必要となりますが、このような分散型バイオガスプラントは、搬送にかかる手間とコストを押さえるために有効かもしれません。



写真6 バキューム車から直接水田に流し込んでいるところ

9. 消化液の施用量と施用時期

(1) 消化液の肥料成分について

消化液の肥料成分は、メタン発酵槽に投入される原料によって変化します（表2）。

表2 消化液の肥料成分の濃度（%FM）

	主原料	窒素 T-N	アンモニア 態窒素 NH ₄ -N	リン P ₂ O ₅	カリ K ₂ O	石灰 CaO	苦土 MgO	出典
Aプラント	乳牛ふん尿	0.29	0.19	0.09	0.39	0.09	0.05	文献6
Bプラント	乳牛ふん尿	0.29	0.18	0.12	0.53	0.14	0.06	文献6
Cプラント	乳牛ふん尿	0.56	0.33	0.15	0.43	-	-	文献7
Dプラント	乳牛ふん尿	0.16	0.08	0.09	0.33	-	-	文献8
Eプラント	乳牛ふん尿、 厨芥	0.22	0.13	0.13	0.23	0.20	0.07	畜環研 分析
Fプラント	乳牛ふん尿、 農産物残さ	0.24	0.12	0.07	0.29	-	-	文献9
Gプラント	豚ふん尿	0.40	0.15	0.15	0.24	-	-	文献7
Hプラント	豚ふん尿	0.24	0.11	0.05	0.18	-	-	文献7

(2) 消化液の窒素成分

消化液の窒素の約半分がアンモニア態窒素で、残りが有機態窒素です。飼料用イネに水口施用する場合、アンモニア態窒素のみを肥料成分とすることが多いです。施肥設計するときは、水口施用時に一部がアンモニアガスとして揮散するため、アンモニア態窒素の7～9割が化学肥料相当分とします。アンモニアガスの揮散は、消化液の希釈の程度や水温等によって変化します。

長期間にわたって消化液を施用した場合、有機態窒素が無機化して効いてくる可能性がありますので、イネの収穫状況を見ながら窒素施肥量を調整する必要があるかもしれません。

(3) 消化液のリン成分

消化液のリン成分は、固形分に含まれており、水口施用した場合、多くが水口周辺に留まります。施肥設計するときは、消化液のリン成分を考慮せず、必要量を別途施用します。

(4) 消化液のカリ成分

家畜ふん尿が主原料の場合、窒素に比べてカリが多くなります。窒素施肥量を満たすだけの消化液を施用すると、かなり過剰なカリを施用することになります。しかし、飼料用イネ専用品

種に家畜ふん堆肥を多量施用したとき、基肥と追肥を合わせてカリ施用量が27 kg/10a（一般的には10 kg/10a前後）となっても収穫物のカリ濃度は、牛の飼料として問題ない2%以下であった報告（文献10）や、飼料用イネ専用品種に消化液を施用してカリが過剰であったが、適正なカリ施用をした化学肥料区と、収穫物のカリ濃度に差がなかった報告（文献11）があります。畜産環境技術研究所の行った栽培試験でも、消化液施用で26 kg/10aのカリを施用しましたが、収穫した飼料用イネの地上部全体のカリ濃度は、乾物あたり1.2%と、飼料用として問題ないレベルでした。

カリについては、畜ふんが主体の消化液であれば、施肥設計で問題になることは少ないようですが、濃度を測定して、どの程度の施用量になっているのかを把握しておくべきです。畜ふん以外の原料が多い場合は、カリの過不足が問題となる可能性があります。

(5) 施肥設計の例

ここでは、肥料成分濃度と施肥目標が、表3と表4に示す値であったときの施肥設計の例を示します。

表3 肥料成分の濃度 (%)

	アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	リン酸 (P ₂ O ₅)	カリ (K ₂ O)
消化液	0.18	0.12	0.23
過リン酸石灰		20.5	

表4 施肥目標量 (kg/10a)

	アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	リン酸 (P ₂ O ₅)	カリ (K ₂ O)
基肥	10	13	8
追肥	6	0	4

Nについては、飼料用イネ専用品種の多収を見込み、食用米用品種よりも基肥が2～3倍、追肥が1～2倍量を施用するとしています。

まず、消化液の施肥量を窒素施用量から求めます。消化液のアンモニア態窒素の化学肥料相当分を7割とすると、消化液の窒素の化学肥料相当の濃度は、

$$0.18\% \times 0.7 = 0.13\%$$

となります。窒素1kgの施用に必要な消化液量は、

$$100 \div 0.13\% = 769\text{kg} = 769 \ell$$

となるので、施肥目標から消化液の施用量は、

$$\text{基肥} : 10 \text{ kg/10a} \times 769 \ell \div 1000 = 7.7 \text{ m}^3/10\text{a}$$

$$\text{追肥} : 6 \text{ kg/10a} \times 769 \ell \div 1000 = 4.6 \text{ m}^3/10\text{a}$$

となります。消化液の施用量から、施肥されるカリは、

$$\text{基肥} : 7.7 \text{ m}^3/10\text{a} \times 1000 \times 0.23\% \div 100 = \underline{17.7 \text{ kg}/10\text{a}}$$

$$\text{追肥} : 4.6 \text{ m}^3/10\text{a} \times 1000 \times 0.23\% \div 100 = \underline{10.6 \text{ kg}/10\text{a}}$$

となり、施肥目標と比べて過剰ですが、このまま施用します。過リン酸石灰の施用量は、

$$\text{基肥} : 13 \text{ kg}/10\text{a} \div 20.5\% \times 100 = \underline{63.4 \text{ kg}/10\text{a}}$$

$$\text{追肥} : \underline{0 \text{ kg}/10\text{a}}$$

となります。以上の結果から、10aあたり基肥として消化液7.7 m³と過リン酸石灰63.4 kg、追肥として消化液4.6 m³を施用することになります。なお、リンの施用量は、土壌診断の結果をもとに加減してください。

(6) 消化液の施用時期

消化液の窒素成分の肥料効果は、硫安と同じと考えてください。肥効が速く、肥切れも速いです。一度に施用するよりも、複数回に分けて施用した方が高い肥料効果を得ることができます。基肥の1回目の施用は、田植えの前、もしくは田植え後1週間以内に行います。田植え前に施用する場合は、必ず田植えまで落水しないようにします。施用したアンモニウムイオンは土壤に吸着されますが、乾燥状態になると硝酸イオンに変わり、脱窒や溶脱によって失われてしまいます。田植え後に施用する場合は、窒素無施用の状態となって初期発育が遅れるため、1週間以内に落水して消化液を施用します。このとき、苗が水没してしまわないように、水口施用の消化液の希釈割合を小さくするようにします。田植え直前に苗箱を消化液に浸すことで「弁当肥」を与えると、初期発育の遅れを低減できます。

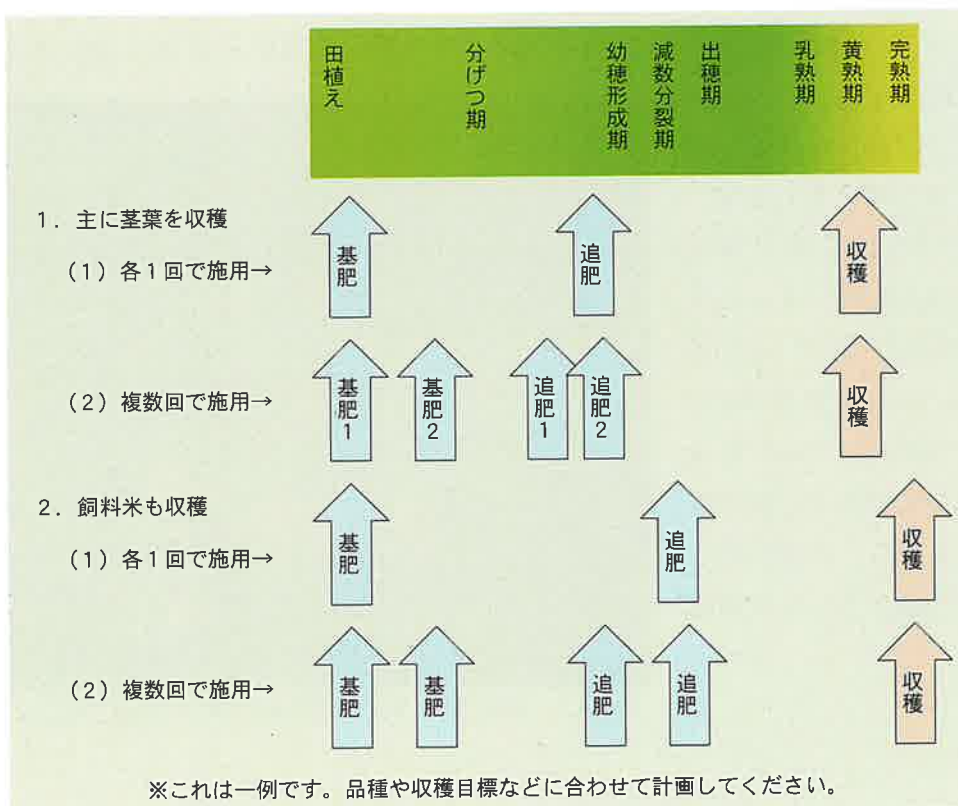


図15 施用時期の例

10. その他の注意点

(1) 窒素成分について環境への配慮

6ページの図5にあるように、消化液を水口施用してからの6日間は、アンモニア成分が残っていますから、この間に排水すると水系の富栄養化につながります。また、施肥設計であまりに過剰な窒素施肥量を設定すると、過剰分が地下に浸透し、地下水の汚染原因となるので、適切な施肥設計を心がけてください。

(2) 臭気について周辺への配慮

消化液の成分にもよりますが、消化液を水口施用するとき、多少の臭気が出ます。水田に民家等が隣接しているときは、施用の時期や回数、衛生的な処理がなされた消化液であること、有機物の循環利用で環境に良いこと等、あらかじめ知らせて理解してもらうようにします。

水口施用自体では弱い臭気しか出ませんが、作業の過程で消化液をこぼしたり、運搬車に消化液や生ふん等が付着していたりすると、強い悪臭のもとになります。水田の脇にタンクを設置して消化液を溜めおく場合は、消化液をタンクに投入するときのタンクからの排気が直接民家等に流れ込まないように配慮すべきです。また、貯留中にタンクから漏れ出ることがないようにします。

(3) 水口へのリンの蓄積

消化液を水口施用すると、水口近辺に沈殿物が見られることがあります（写真7）。消化液には、そのままでも沈殿する固形分がありますが、水で希釈すると、さらに多くの固形分が沈殿するようになります。水口施用後の水口のリン酸イオン濃度の変化を図16に示します。水口施用3日目に高い濃度が見られ、水口近辺に沈殿した固形分からリン酸が溶出していると考えられます。この3日目に、水口近辺の水を細かく分析した結果を図17に示します。水口から右側方向に2 mの地点で非常に高いリン酸濃度が見られましたが、いずれの方向でも水口から6 mまでに濃度が急速に低下していることから、固形分はこの辺りまでに沈殿していると考えられます。



写真7 消化液の水口施用後に水口近辺に見られる沈殿物

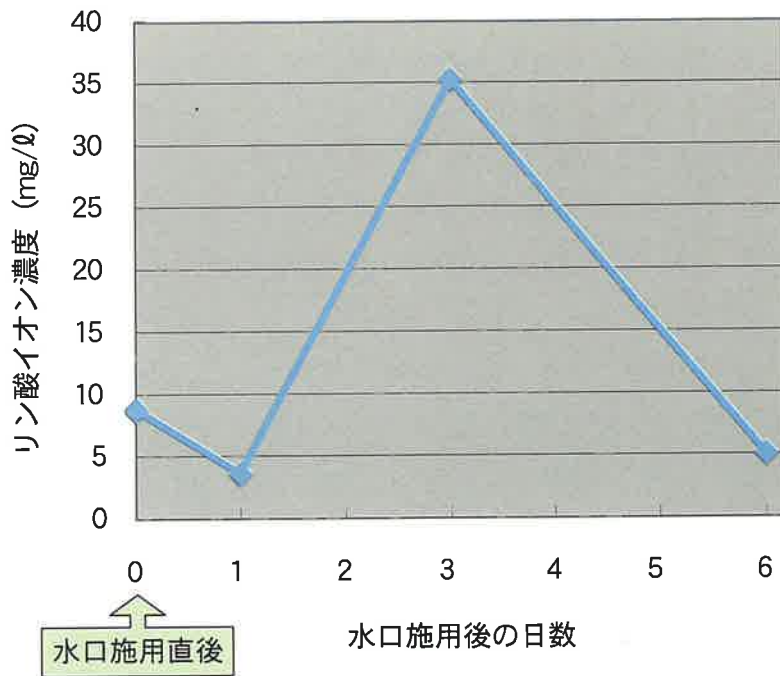


図16 水口施用後の水口周辺のリン酸イオン濃度の変化

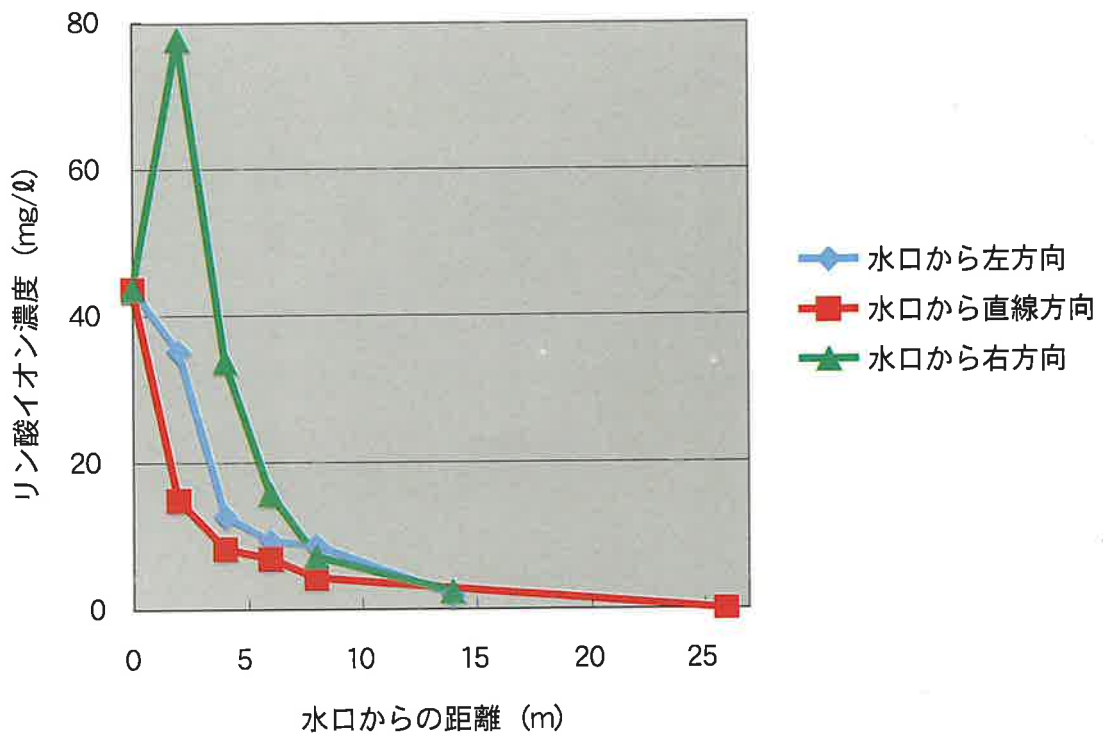


図17 水口施用3日後の水口近辺のリン酸イオン濃度

希釈した消化液の沈殿物に、どのくらいの割合の肥料成分が含まれているかを試験した結果を表5に示します。栽培試験に用いた表2のEプラントの消化液を水で25倍に希釈し、1時間静置して集めた沈殿物を、水で3回洗浄した固形分には、消化液に含まれるリンの24%、苦土の26%が含まれる結果となりました。しかし、図4の水田にて行った栽培試験後の土壌の有効態リン酸の濃度は、水口と他の部分で差は見られませんでした。この沈殿したリンや苦土の多くは、イネの栽培中に湛水中に放出されると考えられます。また、飼料用イネの生育状態や収穫物の性状に差が見られなかったことから、短期的には沈殿物について問題になることはないと思われま

表5 希釈した消化液の沈殿物に含まれる肥料成分の割合

	単位	窒素 (T-N)	リン酸 (P ₂ O ₅)	カリ (K ₂ O)	石灰 (CaO)	苦土 (MgO)
消化液の濃度	mg/l	2,111	1,313	2,294	2,033	729
沈殿物に含まれる量	mg/l	74	312	13	249	191
沈殿物に含まれる割合	%	3	24	1	12	26

第2章 消化液の食用米栽培への利用

食用米の栽培は、飼料用イネと比べ、繊細な施肥管理とほ場管理が要求されます。収量や食味を向上するためには、品種、気候、土質等の地域やほ場の特徴に合わせて管理内容を調整しなくてはなりません。ここでは、消化液を利用した肥培管理について、京都府南丹市八木町で行った試験をもとに、消化液の施用方法の一般的な考え方と、地域の特徴を考慮した肥培管理の検討方法について解説します。

1. 消化液の散布方法

消化液を施用する方法には、大きく二つの施用方法があります。

(1) 水口施用

基肥については、次の項目で述べる機械散布が可能ですが、穂肥や追肥には水口施用が一般的です。施用時の注意点は、成長したイネが消化液の流れを阻害するため、条間に溝を細かく切ったり、時間をかけて消化液を灌漑水で希釈しながら施用したりする等、工夫が必要です。灌漑水の水量が少ない場合、運搬車が長時間拘束されます。運搬車の台数が足りない場合は、水口付近に消化液用のタンクを設置し、灌漑水の流量に合わせて消化液を施用すると、運搬車の稼働率を上げることができます。

施用方法の詳細については「第1章 消化液の飼料用イネ栽培への利用」を参照してください。

(2) 機械施用

機械施用には、深さ15cm程度に施用する土中散布（写真8のA）と土壌表面に施用する表面散布があります。土中散布は、ほ場の近くに住宅等があり、悪臭の問題がある場合に適しますが、散布に時間や燃料を多く要します。このため、表面散布が広く利用されています。表面散布のための機械には、固定方式（写真8のB）と回転方式（写真8のC）があります。固定方式の散布機は、運転席とタンクが走行装置に固定されており、散布ラインを変えるためには旋回が必要です。しかし、旋回すると、その土壌表面が乱されるため、旋回せずに後退しながら消化液を施用することも行われています（図18のA）。回転方式の散布機は、運転席とタンクが走行装置に対して反転でき、旋回せずに散布が可能です（図18のB）。しかし、回転方式の散布機は価格が高いため、固定方式の散布機が多く利用されています。

機械施用のメリットには、以下の点があります。

- ① タンク内部に圧力をかけて排出するため、残液に関係なく均一散布が可能
 - ② 湛水前に散布できるので、散布作業ができる時期が広い
 - ③ 水口施用に比べて消化液の運搬車を効率的に稼働できる
 - ④ 散布作業をメタン発酵施設側が行うことにより、耕種農家の省力化ができる
- ただし、表面散布した場合は、施用直後に耕耘しないと、窒素肥料成分を損失します。

消化液の機械施用は、湛水前に散布できることから、イネの生育に影響を与えずに散布できる期間が、田植え前のどの程度の日数の間にあるのかを明らかにできれば、散布機と運搬車の台数から散布できるほ場の面積を算出することができます。

(A) 土中散布機
(京都府南丹市)



(B) 固定式表面散布機
(京都府京丹後市)



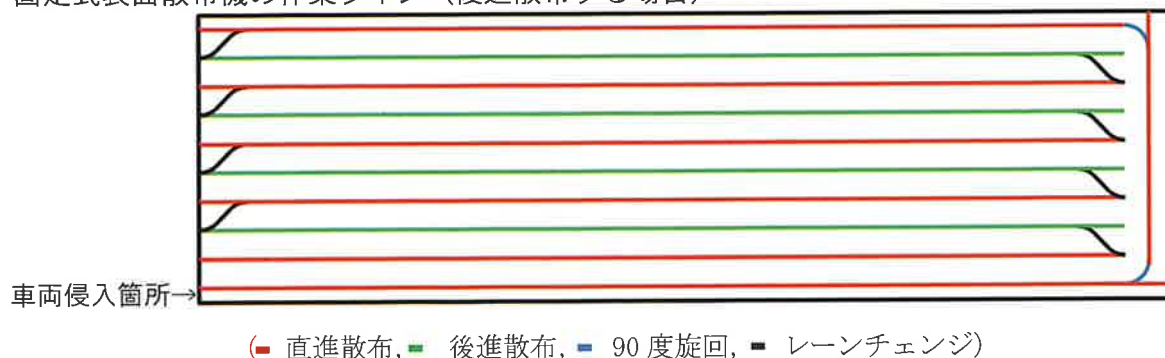
(C) 回転式表面散布機
(福岡県築上町)

クローラーの上の部分
が回転して逆方向にも前
進で走行できる



写真8 いろいろな散布機

(A) 固定式表面散布機の作業ライン（後進散布する場合）



(B) 回転式表面散布機の作業ライン

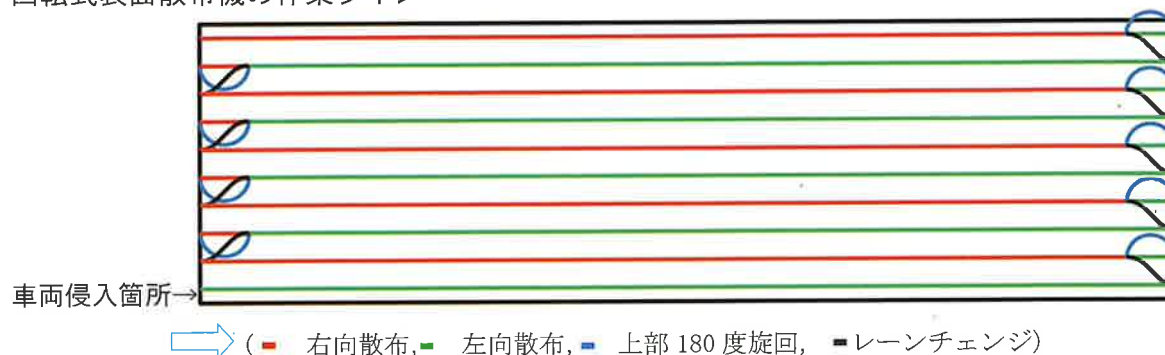


図18 表面散布機の作業ラインの例

2. 精密調査

ここでは、2008～2010年に京都府南丹市八木町で行った試験結果を例に、精密調査の方法を解説します。

(1) 基肥と穂肥の施用

乳牛ふん尿が主原料のメタン発酵消化液を用い、4つのほ場を対象として基肥の施用方法（時期と手段）を変えた栽培試験を行いました（表6）。2008年と2009年は、各ほ場において様々な施用方法を試み、各ほ場に適した施用方法と散布時期を決めました。2010年は、2008年から2009年に変更した施用方法の効果が、天候の違いによるものでないことを確認するため、基肥については2009年と同じ施用方法としました。穂肥については、施肥量を検討するため、2010年の窒素施肥量を2009年の約25%に減らしました。

試験では、消化液以外の肥料成分を基本的には施用しませんでした。しかし、試験に用いた消化液中のリン成分が少ないことから、2010年の4番ほ場に関しては、不足成分であるリンを化学肥料で補う（6 kgP/10a）ほ場を設けました。

表6 基肥の施用方法および散布時期

2008年			2009年		2010年	
ほ場 番号	面積 (a)	施用方法	ほ場 番号	施用方法	ほ場 番号	施用方法
1	23	水口1	1-1	表面1	1-1	表面1
			1-2	表面3	1-2	表面3
2-1	26	土中1	2-1	表面3	2-1	表面3
2-2		表面1	2-2	表面2	2-2	表面2
3-1	21	表面3	3-1	表面1	3-1	表面1
3-2		表面2	3-2	表面2	3-2	表面2
4-1	22	表面3	4	水口1	4-1	表面3P
4-2		表面2			4-2	表面1P

水口：水口施用、土中：土中施用、表面：表面施用。

施用方法の後にある数字は施用してから田植えまでの週間を示す。

Pがあるほ場はリンを施用。

消化液の施用量は、窒素施肥量をもとにしました。ただし、アンモニア態窒素のみをもとに施肥設計する飼料用イネと違い、食用イネは、厳密な管理が要求されるため、全窒素の値をもとに施肥設計します。基肥と穂肥の施肥量は、この地域で行われている施肥量の平均値である5.6 kgN/10a（基肥と穂肥ともに）を目標とし、これに見合う量の消化液を施用しました。しかし、消化液の全窒素が0.26～0.42%の幅で変動したため、実際の施肥量は、各ほ場間で差ができました（表7）。正確な施肥設計を行うために、施用前に消化液の成分分析を行い、これをもとに施用量を決められるようにする工夫が必要だと考えられました。

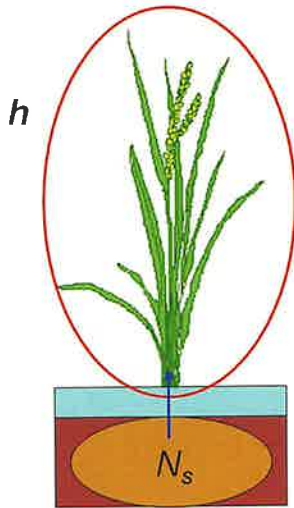
先に述べたように、2010年の穂肥は、施肥目標を25%減じたので、少なくなっています。

表7 基肥と穂肥の窒素施用量 (kgN/10a)

2008年				2009年				2010年			
ほ場 番号	施用 方法	施用量		ほ場 番号	施用 方法	施用量		ほ場 番号	施用 方法	施用量	
		基肥	穂肥			基肥	穂肥			基肥	穂肥
1	水口1	6.8	6.8	1-1	表面1	5.2	6.9	1-1	表面1	7.5	4.4
				1-2	表面3	5.1		1-2	表面3	7.0	
2-1	土中1	5.8	6.8	2-1	表面3	4.9	7.0	2-1	表面3	6.4	4.2
2-2	表面1	5.8		2-2	表面2	5.2		2-2	表面2	7.6	
3-1	表面3	5.2	7.6	3-1	表面1	6.1	7.4	3-1	表面1	7.4	4.4
3-2	表面2	3.6		3-2	表面2	5.4		3-2	表面2	7.2	
4-1	表面3	4.9	7.4	4	水口1	7.0	7.1	4-1	表面3P	7.1	4.0
4-2	表面2	4.9						4-2	表面1P	7.9	

(2) イネの窒素量

イネは幼穂分化期、出穂期、登熟期を経て収穫されます。収穫時に玄米収量を確保するためには、出穂期に最適窒素保有量 (N_{op}) を確保する必要があります。また、出穂期の最適窒素保有量から穂肥量 (N_c) を算出するためには、幼穂分化期の窒素保有量 (h) が重要です。化学肥料と異なり、消化液には有機態窒素が含まれているため、有機態窒素がどの時期にどの程度無機態窒素になり、イネに供給されるかが問題となります。



$$N_c = (N_{op} - h - N_s) / j$$

N_c : 穂肥の窒素施肥量

N_{op} : 出穂期の最適窒素保有量

h : 幼穂分化期における窒素保有量

N_s : 幼穂分化期から出穂期の間イネが土壌から吸収する窒素量

j : 穂肥の窒素利用率

図19 穂肥量の計算方法 (文献12から引用)

各ほ場の異なる地点から24株 (水口施用は36株) のイネを採集して分析した窒素保有量の平均値を表8に示します。幼穂分化期の窒素保有量はイネの初期の、出穂期の窒素保有量は中期までの生育の程度の指標となります。施用方法による一定の傾向は見られませんでした。初期生育が悪かった2008年度でも、出穂期には玄米収量を確保できる窒素量をイネが持つことが明らかになりました。したがって、初期生育が悪かったとしても、穂肥の施肥量を増やす必要はありません。むしろ、穂肥を基準より増やすと、窒素分の過剰による倒伏や食味の低下につながる危険性があります。

田植え (5月下旬) から幼穂分化期 (7月中旬) までの積算温度は、2008年と2009年はほぼ同等でしたが、2010年は春先の異常低温で積算温度が低くなりました (図20)。しかし、幼穂分化期の窒素保有量は、2010年が高くなっており、気温よりも基肥の施肥量 (表7) の影響が大きいと考えられました。

出穂期の窒素保有量が2009年よりも2010年が低くなっているのは、穂肥の施肥量を25%減らしたことによるものです。

表8 幼穂分化期と出穂期のイネの窒素保有量 (kgN/10a)

2008年				2009年				2010年			
ほ場 番号	施用 方法	窒素保有量		ほ場 番号	施用 方法	窒素保有量		ほ場 番号	施用 方法	窒素保有量	
		幼穂	出穂			幼穂	出穂			幼穂	出穂
1	水口1	2.9	7.2	1-1	表面1	5.7	8.9	1-1	表面1	8.0	9.7
				1-2	表面3	5.8	7.6	1-2	表面3	6.3	7.7
2-1	土中1	3.7	9.3	2-1	表面3	7.2	8.6	2-1	表面3	7.3	7.7
2-2	表面1	6.9	14.7	2-2	表面2	7.8	10.1	2-2	表面2	8.4	8.5
3-1	表面3	5.8	14.4	3-1	表面1	7.1	11.4	3-1	表面1	9.9	9.6
3-2	表面2	3.7	11.2	3-2	表面2	6.1	9.4	3-2	表面2	7.6	8.5
4-1	表面3	2.8	8.5	4	水口1	6.3	8.6	4-1	表面3P	6.9	7.2
4-2	表面2	4.3	10.1					4-2	表面1P	8.1	7.7

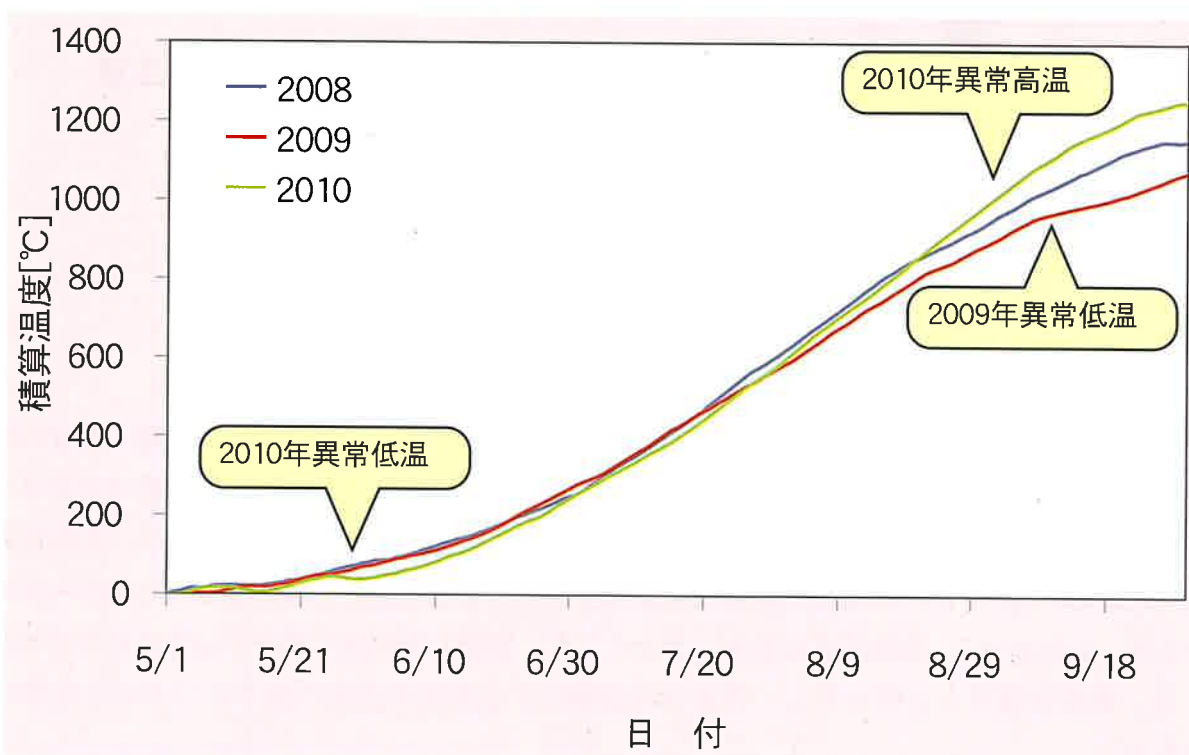


図20 各年度の幼穂分化期までの積算温度 (気象庁データ：京都府南丹市園部町)

(3) 玄米収量と食味

①玄米収量調査

玄米収量に施用方法による一定の傾向は見られませんでした(表9)。しかし、2008年に比べて2009年は、ほ場間のばらつきが小さくなりました。2009年と同じ施用方法とした2010年でも、ばらつきが小さいままであったことから、天候によるものではなく、2008年よりも2009年が、

各ほ場への施用方法の割り当てが適していたことを示しています。したがって、各ほ場ごとに、この程度の施用方法の微調整が必要であると考えられます。

玄米収量は、地域の平均と比べて、どのほ場も劣らなかったことから、消化液のみによる施用でも問題ないと考えられました。2010年は、穂肥の施肥量を25%減らしたことにより、収量が若干劣りました。

表9 玄米収量 (kg/10a) と地域平均との割合 (%)

2008年				2009年				2010年			
ほ場 番号	施用 方法	玄米 収量	地域平 均との 割合	ほ場 番号	施用 方法	玄米 収量	地域平 均との 割合	ほ場 番号	施用 方法	玄米 収量	地域平 均との 割合
1	水口1	487	91	1-1	表面1	498	98	1-1	表面1	462	93
				1-2	表面3	499	98	1-2	表面3	438	88
2-1	土中1	505	94	2-1	表面3	510	100	2-1	表面3	466	94
2-2	表面1	568	106	2-2	表面2	482	95	2-2	表面2	472	95
3-1	表面3	515	96	3-1	表面1	543	107	3-1	表面1	453	91
3-2	表面2	523	97	3-2	表面2	536	106	3-2	表面2	498	100
4-1	表面3	434	81	4	水口1	501	99	4-1	表面3P	450	90
4-2	表面2	508	94					4-2	表面1P	475	93
地域の平均		538	100	地域の平均		508	100	地域の平均		498	100

②食味調査

食味には物理的要素と化学的要素があり、化学的要素としてはタンパク質、アミロース、水分および脂肪酸の含有量があります。タンパク質とアミロースの含有量は、主に土質、気候、肥培管理によって、水分と脂肪酸の含有量は、貯蔵の条件と期間の影響を受けます。玄米に含まれるタンパク質とアミロースの含有量が多くなると食味値は低下し、逆にこれらが少なくなると食味値は高くなります。比較的 analysis が容易なタンパク質含量と食味値の測定で、食味を評価できると考えられます。

2008年のタンパク質含有量は、2009年および2010年と比べて低く、食味値が高くなりました(表10)。これは、出穂期(8月中旬)から登熟期(9月中旬)までの気温が登熟に適していたためであると思われます(図20)。2009年度は異常低温で、2010年度は異常高温で、タンパク質含有量が増加し、食味値が低下したと考えられます。2009年度と2010年度は、消化液を施用したほ場だけではなく、後で述べる広域調査での化学肥料を施用したほ場においても、タンパク質含有量が高く、食味値が低下しましたので、天候による影響が大きいと考えられました。

2010年度のタンパク質含有量が2009年度より高いにもかかわらず、2010年度の食味値が2009年度より高いほ場が多く見られました。これは、アミロース含有量が少なかったことによると考えられます。

2008～2010年のタンパク質含量や食味値の結果から、消化液の施用方法で、これらの値をある程度コントロールできるものと考えられました。

表10 各ほ場のタンパク質含有量（％）と食味値（点）

2008年				2009年				2010年			
ほ場 番号	施用 方法	タンパ ク質	食味値	ほ場 番号	施用 方法	タンパ ク質	食味値	ほ場 番号	施用 方法	タンパ ク質	食味値
1	水口1	6.5	88	1-1	表面1	7.8	74	1-1	表面1	8.8	71
				1-2	表面3	7.5	77	1-2	表面3	8.3	74
2-1	土中1	7.3	81	2-1	表面3	7.8	74	2-1	表面3	8.2	75
2-2	表面1	7.7	78	2-2	表面2	8.1	71	2-2	表面2	8.0	75
3-1	表面3	7.0	84	3-1	表面1	8.2	71	3-1	表面1	8.7	72
3-2	表面2	7.1	83	3-2	表面2	8.3	70	3-2	表面2	8.2	75
4-1	表面3	6.7	86	4	水口1	7.8	74	4-1	表面3P	7.9	77
4-2	表面2	6.9	85					4-2	表面1P	8.0	76

(4) 精密調査のまとめ

一般的に消化液を施用したほ場の初期生育は、化学肥料を施用したほ場と比べて劣ります。これは、消化液に含まれている有機態窒素が無機化するのに時間がかかるためです。これを田植え直後の化学肥料で補っている農家があります。しかし、精密調査の結果から、ある程度の初期生育の遅れは、生育中期で化肥並みに回復できることが分かりました。初期生育の遅れが気になるときは、植え直前に苗箱を消化液に浸すことで「弁当肥」を与えることを検討するといいかもしれません。

消化液には、有機態窒素が含まれているため、施用方法や天候によって、初期生育に十分な窒素供給がなされない可能性があります。これを補うために、化学肥料でなく消化液を多く施用する考え方があります。しかし、基肥の消化液を多く施用すると、窒素成分が過剰になる危険性が出てきます。基肥については、下記のように考えてください。

- ・ 環境条件がよいと思われる年は通常通りの施用量とする
- ・ 環境条件が悪いと思われる年は液肥を多めに施用するか普通に施用して化学肥料で補う
- ・ 環境条件が予測できない場合は液肥を普通に施用して環境条件の変化をみながら化学肥料で補う

基肥の消化液施用量は必要最低限に留め、各年の環境条件やイネの生育状況に応じて、不足分をつなぎ肥として化学肥料等で補う施用方法がよいと考えます。

今回の精密調査では、消化液の施用量は、全窒素濃度をもとに化学肥料の施用量と同等の窒素量となる量で十分である結果になりました。リンやカリについても、消化液のみの施用である程度まかなえると考えられました。また、基肥の施用のタイミングをずらすことで、ほ場に合わせた施用方法に調整できると考えられました。これらの結果は、消化液の成分、土性、天候等の影響をうけるため、地域ごとに栽培試験をする必要があります。

3. 広域調査

精密調査は、限られた地区のほ場を対象として行った試験結果です。各ほ場の環境の違いによる影響を踏まえた消化液の肥培管理指針を作成するためには、同一地区の複数のほ場を対象とし、消化液の施用方法や施用量が玄米収量と食味に与える影響を分析する必要があります。ここでは2009、2010年に京都府南丹市八木町で行った広域調査の結果を紹介します。

この地域の主な栽培品種である早生のキヌヒカリと中生のヒノヒカリを栽培するほ場を対象としました。表11に2009年と2010年に調査した各地区のほ場数を示します。この調査には、精密調査を行ったほ場も含めました。

表11 各地区の品種および肥料別のほ場の数

地区	施用	キヌヒカリ		ヒノヒカリ	
		2009年	2010年	2009年	2010年
A	化肥	4	5	2	4
	消化液	12	29	5	7
B	化肥	5	4	0	・
	消化液	4	6	4	2
C	化肥	・	・	4	3
	消化液	・	・	3	4
D	化肥	・	・	1	・
	消化液	・	・	2	2
E	化肥	・	4	2	・
	消化液	・	2	2	7
合計	化肥	9	13	9	7
	消化液	16	37	16	22

(1) キヌヒカリ

①玄米収量

消化液ほ場の玄米収量は、地域の玄米収量の平均値（2009年：508kg/10a、2010年：498kg/10a）と同等でした（表12）。調査対象とした化肥ほ場は、全体的に地域の平均よりも収量の高いほ場を選択していたと考えられます。

表12 キヌヒカリの玄米収量 (kg/10a)

地区	施用	2009年		2010年	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	化肥	583	24	565	31
	消化液	493	67	493	52
B	化肥	551	46	548	76
	消化液	510	86	475	35
E	化肥	・	・	529	40
	消化液	・	・	487	0
全体	化肥	565	39	549	49
	消化液	497	70	490	48

②タンパク質含有量

どちらの年も、消化液ほ場のタンパク質含有量が化肥ほ場よりも高くなり、2009年では有意な差が見られました（表13）。出穂期から登熟期の間には窒素を多く吸収すると、玄米のタンパク質含有量が増えます。消化液ほ場のタンパク質含有量が高い原因は、消化液に含まれる有機態窒素が出穂期から登熟期にかけて無機化され、イネに吸収されたためではないかと考えられます。消化液を穂肥として利用する場合は、穂肥の散布時期と施用量の十分な検討が必要です。

2010年のタンパク質含有量が2009年よりも高い理由は、登熟期の気温が高かったことが原因だと考えられました（図20）。

表13 キヌヒカリのタンパク質含有量（%）

地区	施用	2009年		2010年	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	化肥	7.2	0.3	8.0	0.6
	消化液	7.6	0.5	8.0	0.5
B	化肥	7.3	0.2	7.9	0.7
	消化液	7.8	0.5	8.6	0.5
E	化肥	・	・	7.5	0.1
	消化液	・	・	8.5	0.2
全体	化肥	7.2	0.2	7.8	0.6
	消化液	7.7	0.5	8.1	0.5

③玄米収量とタンパク質含有量の分布

キヌヒカリにおける玄米収量とタンパク質含有量の分布をプロットすると、化肥ほ場は主に右上の領域に分布しており、消化液ほ場が劣る傾向にあることが分かります（図21）。しかし、消化液ほ場の中にも、玄米収量が多くタンパク質含有量が少ない事例があり、適切な肥培管理条件を明らかにするための参考になると考えられました。

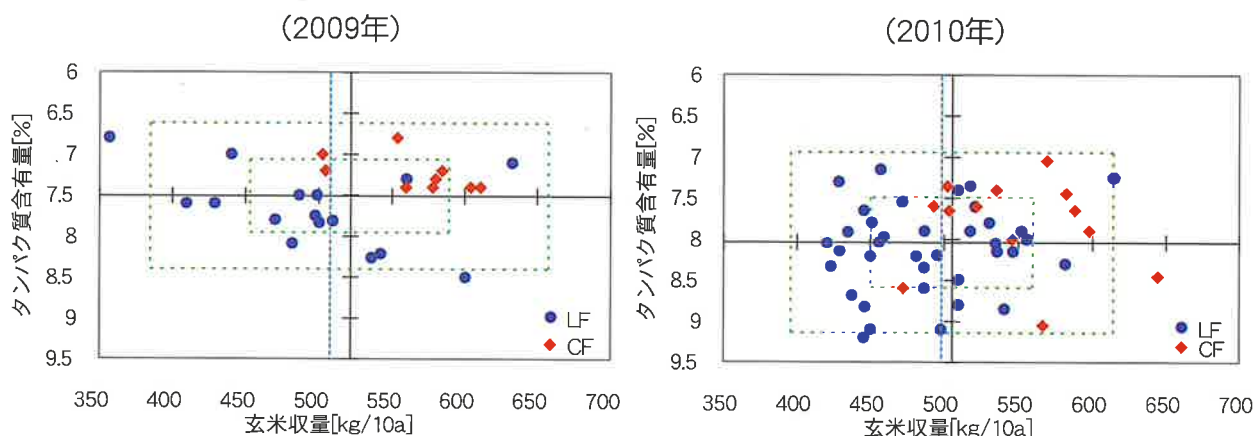


図21 キヌヒカリの各ほ場の玄米収量とタンパク質含有量の分布図
消化液ほ場（青色：LF）、化肥ほ場（赤色：CF）

(2) ヒノヒカリ

①玄米収量

消化液ほ場と化肥ほ場の間で、玄米収量に一定の傾向は見られませんでした（表14）。A～Eの地区ごとに、消化液ほ場と化肥ほ場の差のあり方が違うことから、地区の土質によって、現状の消化液の施用方法に適・不適があると考えられました。

表14 ヒノヒカリの玄米収量 (kg/10a)

地区	施用	2009年		2010年	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	化肥	562	17	563	32
	消化液	600	69	586	38
B	化肥	•	•	•	•
	消化液	515	22	540	127
C	化肥	621	47	532	116
	消化液	599	33	555	37
D	化肥	580	•	•	•
	消化液	537	52	460	16
E	化肥	543	122	•	•
	消化液	555	41	551	51
全体	化肥	586	63	550	73
	消化液	572	57	554	58

②タンパク質含有量

ヒノヒカリでは、キヌヒカリと違い、消化液ほ場と化肥ほ場の間に違いが見られませんでした（表15）。2010年では、消化液ほ場よりも化肥ほ場のタンパク質含有量が高い地区もあれば、その逆の地区もあり、このような結果が見られた要因を明らかにすれば、より効果的な消化液施用方法が見いだせるものと考えられます。

③玄米収量とタンパク質含有量の分布

ヒノヒカリにおける玄米収量とタンパク質含有量の分布をプロットした結果、消化液ほ場と化肥ほ場の分布に差が見られませんでした（図22）。消化液施用ほ場で、玄米収量が多くタンパク質含有量が少ない事例は、適切な肥培管理条件を明らかにするための参考になると考えられました。

表15 ヒノヒカリのタンパク質含有量 (%)

地区	施用	2009年		2010年	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	化肥	7.0	0.2	7.8	0.3
	消化液	7.0	0.3	7.2	0.2
B	化肥	6.9	0.2	7.9	0.8
	消化液	6.9	0.2	7.9	0.8
C	化肥	6.9	0.3	7.6	0.2
	消化液	6.8	0.2	7.7	0.3
D	化肥	6.9	0.1	7.5	0.5
	消化液	6.5	0.1	7.5	0.5
E	化肥	7.1	0.0	8.4	0.4
	消化液	7.1	0.2	8.4	0.4
全体	化肥	6.9	0.2	7.7	0.3
	消化液	6.9	0.3	7.8	0.6

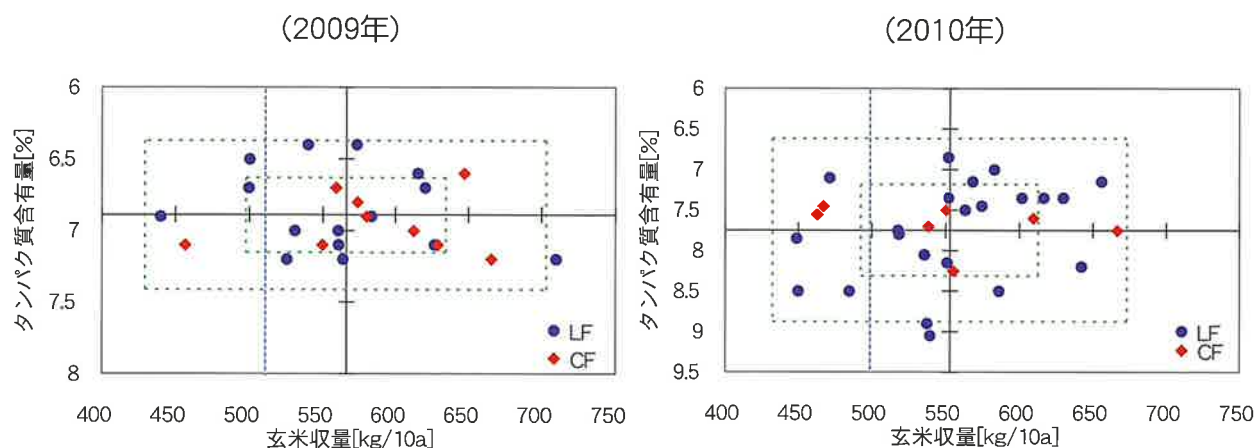


図22 2009年のヒノヒカリの各ほ場のタンパク質含有量と玄米収量の分布図
消化液ほ場（青色：LF）、化肥ほ場（赤色：CF）

(3) 経済性の分析

①玄米の買い取り価格が同じ場合

キヌヒカリでは、化学肥料の肥料代が15,000円/10aと仮定した場合、消化液の肥料代が安い（4000円/10a）にもかかわらず、化肥ほ場の利益が多くなりました（表16）。玄米収量が同等だったヒノヒカリでは、消化液ほ場の利益の方が多くなりました。なお、メタン発酵施設側が消化液を散布しているため、消化液ほ場は労働時間を削減できていますが、ここでの試算では含めていません。

表16 玄米の買い取り価格が7,000円/1袋として肥料代のみ差がある場合

2009年	キヌヒカリ		ヒノヒカリ	
	化学肥料	消化液	化学肥料	消化液
収量の平均値	565 kg/10a	497 kg/10a	586 kg/10a	555 kg/10a
30 kgの袋数	18.8袋	16.6袋	19.5袋	18.5袋
玄米の売上	131,600円	116,200円	136,500円	129,500円
肥料代	15,000円	4,000円	15,000円	4,000円
人件費と作業	あり	なし	あり	なし
利益	116,600円	112,200円	121,500円	125,500円
2010年	キヌヒカリ		ヒノヒカリ	
	化学肥料	消化液	化学肥料	消化液
収量の平均値	549 kg/10a	490 kg/10a	550 kg/10a	554 kg/10a
30 kgの袋数	18.3袋	16.3袋	18.3袋	18.5袋
玄米の売上	128,100円	114,100円	128,100円	129,500円
肥料代	15,000円	4,000円	15,000円	4,000円
人件費と作業	あり	なし	あり	なし
利益	113,100円	110,100円	113,100円	125,500円

②消化液ほ場のコメに付加価値がついた場合

九州等一部の地区では、消化液で栽培したコメを有機米や減化学肥料米として、一般価格より付加価値（玄米1袋当たり約500円程度）を付けて販売されています。販売価格が500円/袋高くなったとすると、玄米収量が少なかったキヌヒカリでも、化肥ほ場より利益が多くなりました（表17）。消化液で栽培したコメに付加価値を見出し、ブランド化を行うことで、農家の所得が増大し、消化液の利用拡大につながると考えられます。

表17 消化液栽培した玄米の買い取り価格が7,500円/1袋になった場合

2009年	キヌヒカリ		ヒノヒカリ	
	化学肥料	消化液	化学肥料	消化液
収量の平均値	565 kg/10a	497 kg/10a	586 kg/10a	555 kg/10a
30 kgの袋数	18.8袋	16.6袋	19.5袋	18.5袋
玄米の売上	131,600円	124,500円	136,500円	138,750円
肥料代	15,000円	4,000円	15,000円	4,000円
人件費と作業	あり	なし	あり	なし
利益	116,600円	120,500円	121,500円	134,750円
2010年	キヌヒカリ		ヒノヒカリ	
	化学肥料	消化液	化学肥料	消化液
収量の平均値	549 kg/10a	490 kg/10a	550 kg/10a	554 kg/10a
30 kgの袋数	18.3袋	16.3袋	18.3袋	18.5袋
玄米の売上	128,100円	122,250円	128,100円	138,750円
肥料代	15,000円	4,000円	15,000円	4,000円
人件費と作業	あり	なし	あり	なし
利益	113,100円	118,250円	113,100円	134,750円

(4) 消化液の肥培管理指針

標準化指数を用いて栽培管理を分析し、肥培管理指針を導く方法を紹介します。まず、それぞれの品種ごとに2年間のデータをまとめ、基肥施用から田植えまでの日数、元肥の窒素施用量、穂肥の窒素施用量、栽培期間全体の窒素施用量の4つの要因について、それぞれ3つのグループに分類しました。玄米収量とタンパク質含有量のそれぞれについて、全体の平均が0、分散が1になるように標準化したときに、各グループの平均値が取る値（標準化指数）を求めました。分析結果の表には、標準化された値が正に大きくなる（青字：0.1以上）と、玄米収量は平均値より多く、タンパク質含有量は平均値より低くなるように示しました。逆に平均値よりも悪いと負の値（赤字：-0.1以下）となります。また、全体の平均からのズレを%で表した平均に対する減少率も求めました。

①キヌヒカリ

栽培管理分析の結果を表18に示します。この表から、基肥施用日から田植えまでの日数を19～28日空けると、玄米収量が平均よりも1.5%増加し、タンパク質含有量が2.4%低くなると考えられます。逆に、基肥施用日から田植えまでの日数を0～8日とすると、玄米収量が平均よりも2.6%減少し、タンパク質含有量が3.6%高くなると考えられます。他の要因についても同様に読み解き、整理すると、キヌヒカリの肥培管理指針は、表19に示すようになります。この肥培管理指針は、2年分のデータをもとに作成したものであり、データ蓄積年数を増やすことにより、さらに精緻なものにすることができます。実際に利用する際には、この指針をもとに消化液を施用し、栽培結果を見ながら、各ほ場に適する肥培管理に調整することになります。

表18 キヌヒカリにおける栽培管理分析

要因	分類	件数	玄米収量		タンパク質含有量	
			標準化指数	平均に対する減少率 (%)	標準化指数	平均に対する減少率 (%)
田植えまでの日数	0～8	11	-0.32	-2.6	-0.55	-3.6
	12～18	18	0.03	-0.3	-0.14	-0.9
	19～28	23	0.13	1.5	0.37	2.4
基肥量 (kgN/10a)	5～6	10	0.08	0.8	-0.30	-1.8
	7～9	21	-0.15	-1.5	-0.18	-1.2
	9～11	18	0.13	1.4	0.39	2.4
穂肥量 (kgN/10a)	0～2	6	-0.03	-1.0	0.48	2.8
	2～5	34	-0.02	-0.2	0.04	0.3
	6～7	12	0.08	1.1	-0.36	-2.3
全施用量 (kgN/10a)	9～11	10	0.39	4.3	0.23	1.4
	12～14	31	-0.22	-2.3	-0.10	-0.6
	14～17	7	0.49	4.7	-0.01	0.0

表19 キヌヒカリの肥培管理指針

	玄米収量とタンパク質含有量の改善	玄米収量とタンパク質含有量の悪化
日数	19～28日前	0～8日前
基肥量	9～11 kgN/10a	7～9 kgN/10a
穂肥量	・	・
全施用量	9～11 kgN/10a	12～14 kgN/10a

②ヒノヒカリ

肥培管理分析の結果を表20に、ここから導き出されたヒノヒカリの肥培管理指針を表21に示します。キヌヒカリに近い内容となっていますが、より精緻なものになると、違いが明確になると思われます。

表20 ヒノヒカリにおける栽培管理分析

要因	分類	件数	玄米収量		タンパク質含有量	
			標準化指数	平均に対する減少率 (%)	標準化指数	平均に対する減少率 (%)
田植えまでの日数	1～6	6	0.23	2.0	-0.82	-9.9
	11～22	20	-0.18	-2.1	0.03	0.5
	24～38	12	0.21	2.7	0.36	4.2
基肥量 (kgN/10a)	4～6	4	0.29	2.5	-1.64	-19.3
	7～9	26	-0.01	-0.4	0.08	0.9
	9～12	7	-0.10	0.4	0.64	7.5
穂肥量 (kgN/10a)	0～2	5	-0.12	0.0	0.56	6.7
	3～6	26	-0.13	-1.0	-0.07	-0.9
	7～10	6	0.66	4.2	-0.18	-1.7
全施用量 (kgN/10a)	8～11	8	0.25	2.1	0.08	1.0
	11～13	21	-0.27	-1.6	-0.06	-0.7
	14～17	7	0.48	2.2	0.08	1.0

表21 ヒノヒカリの肥培管理指針

	玄米収量とタンパク質含有量の改善	玄米収量とタンパク質含有量の悪化
日数	24～38日前	・
基肥量	・	・
穂肥量	・	3～6 kgN/10a
全施用量	8～17 kgN/10a	11～13 kgN/10a

4. まとめ

(1) 最終目標

食用米の生産では、玄米収量とタンパク質含有量が重要です。これらに影響を与える要因は様々で、人的な要因だけでなく、コントロールできない自然の要因もあります（図23）。これらを含めた最適な肥培管理を求めることが最終目標となります。

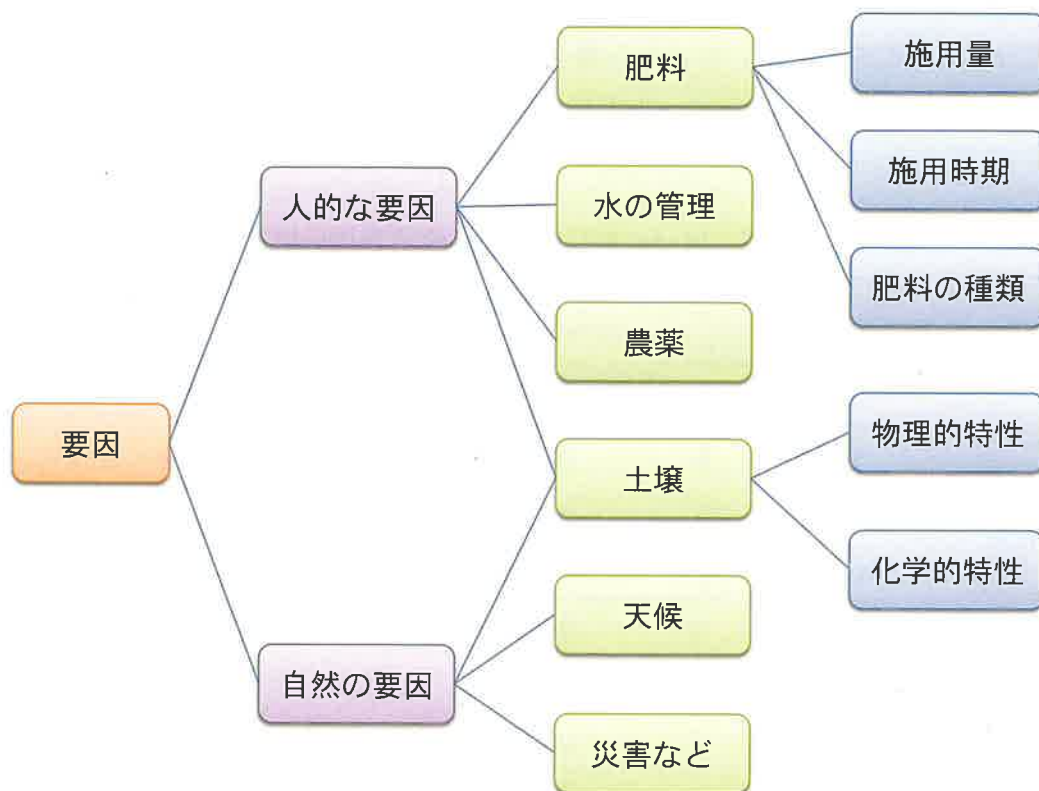


図23 収穫物に対する変動要因

(2) 最適な肥培管理の検討方法

ここで示した八木町の例は、既に消化液の施用が広まりつつある中での調査でした。これから消化液施用を普及する場合の検討方法を以下に示します。

- ① 精密調査により、肥培管理暫定版を求める
- ② 肥培管理暫定版にしたがって地域内の複数の箇所で開催する
- ③ 広域調査を行い、肥培管理暫定版を修正する
- ④ 収穫内容が思わしくなかった場合は、肥培管理内容を調整する
- ⑤ ②にもどる
- ⑥ 地域内で良好な結果がそろったところで広域調査を行い、肥培管理指針を策定する
- ⑦ 新たに消化液施用する場合は指針にしたがって栽培し、栽培結果に応じて調整する

第3章 堆肥の小規模燃焼施設による熱利用

1. この技術について

我が国の畜産分野では、畜舎等施設の暖房や洗浄温水等、年間20億ℓを超える大量の化石燃料が消費されています。一方、全ての家畜排せつ物を堆肥化して燃料としたときの熱量は、石油換算44億ℓ/年（169 PJ/年）に相当すると算出できます。堆肥の燃焼熱利用は、化石燃料消費量の削減と堆肥活用先の確保につながります。

堆肥を燃焼利用するためには、いくつかの技術的な問題を解決しなくてはなりません。ここでは、これらの問題について検討するため、実証プラント（写真9）による試験結果を紹介します。



写真9 堆肥燃焼実証プラント

2. 堆肥燃焼利用の問題点

(1) 堆肥の水分

堆肥を燃料とするためには、自燃する状態にしなくてはならず、水分を20%程度にまで乾燥する必要があります。高水分のままでは多くの熱源を必要とするため、発酵乾燥なども併用し、仕上げ乾燥に燃焼廃熱を利用する必要があります。また、単に加温するだけでは乾燥効率が悪く、乾燥物が大きな粒になると燃焼するときの障害になります。

(2) 堆肥乾燥時の臭気

堆肥にはアンモニアや有機酸等の悪臭物質を高濃度で含んでいるものがあり、乾燥に伴って放出され、悪臭の原因になります。

(3) 安定した燃焼技術

堆肥等を燃焼すると、熔融体（クリンカー）が発生し、炉内の閉塞の原因となります。

(4) 燃焼熱の利用技術

堆肥燃焼熱は、畜産事業所内での利用では消費しきれない場合があります。その場合は、ハウス暖房等、畜産事業所外で利用する技術が必要です。

(5) 燃焼灰の利用技術

堆肥の焼却灰は、リン、カリウム、カルシウム等のミネラルを高濃度で含んでおり、肥料として有効です。しかし、有害重金属やダイオキシン類等の環境汚染物質を含んでいないことを確認する必要があります。

3. 実証プラントによる処理フロー

実証プラントは、堆肥を乾燥して燃料を生産するものです。処理フローを図24に示します。生産した燃料の一部をボイラーで燃焼して温水を畜舎暖房等に利用する一方で、排熱風を使って堆肥を乾燥します。残りの燃料は、熱量が高く、軽くて搬送性が優れているので、遠方のハウス暖房等に利用できます。

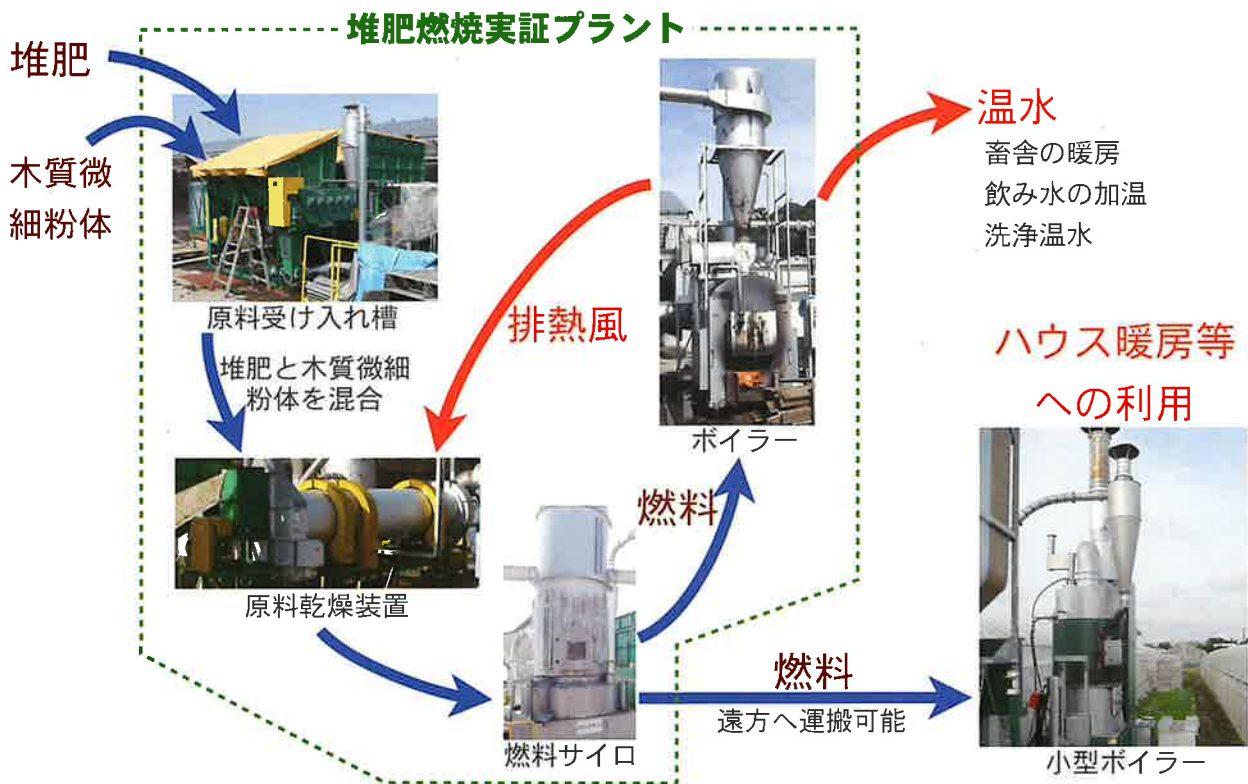


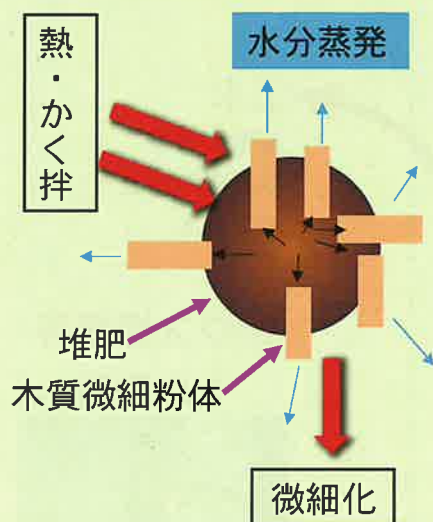
図24 堆肥燃焼熱利用の処理フロー

4. 問題点の解決策と試験結果

(1) 堆肥の水分

燃料化した堆肥の一部を燃焼した熱を利用することにより、乾燥にかかる燃料コストの低減を図りました。堆肥に木質微細粉体を混合し、ロータリーキルンでかく拌しながら燃焼排熱風を吹き込むことにより、乾燥を促進させるとともに、堆肥乾燥物を細かい粒子にしました。木質微細粉体の混合割合は、堆肥の水分により調整が必要です。実証試験では、水分40%の豚ふん堆肥と木質微細粉体の容積比が10：3の割合で効率よく乾燥させることができました。

乾燥イメージ図



乾燥技術は、堆肥と木質微細粉体をかく拌・混合しながら、燃焼排熱350℃～400℃で加熱するものです。この過程で、左図のように堆肥の水分は、付着した木質微細粉体の細孔構造に吸水・拡散されることにより、蒸発が促進されます。また、木質微細粉体を混合してかく拌することによる微細化も、蒸発を促進します。

【木質微細粉体とは】

製材所が出る小さなカンナくず（モルダーくず）をピーターでたたいてほぐしたものです。通常のおガクズよりも細かく、表面積が0.5～0.6 m²/gと大きいことに加え、繊維が切断されていないことから、水分の吸収に優れています。カサ比重が0.1～0.3の範囲にあるものが有効です。



写真10 堆肥と木質微細粉体を混合した乾燥前の原料

(2) 堆肥乾燥時の臭気

堆肥に混合する木質微細粉体が、アンモニア等を吸着することを利用しました。木質微細粉体がアンモニアを吸着する量を試験した結果を図25に示します。

木質微細粉体に吸着されたアンモニアは、燃料として燃焼するときに直接燃焼法によって分解されるので、悪臭の原因になりません。

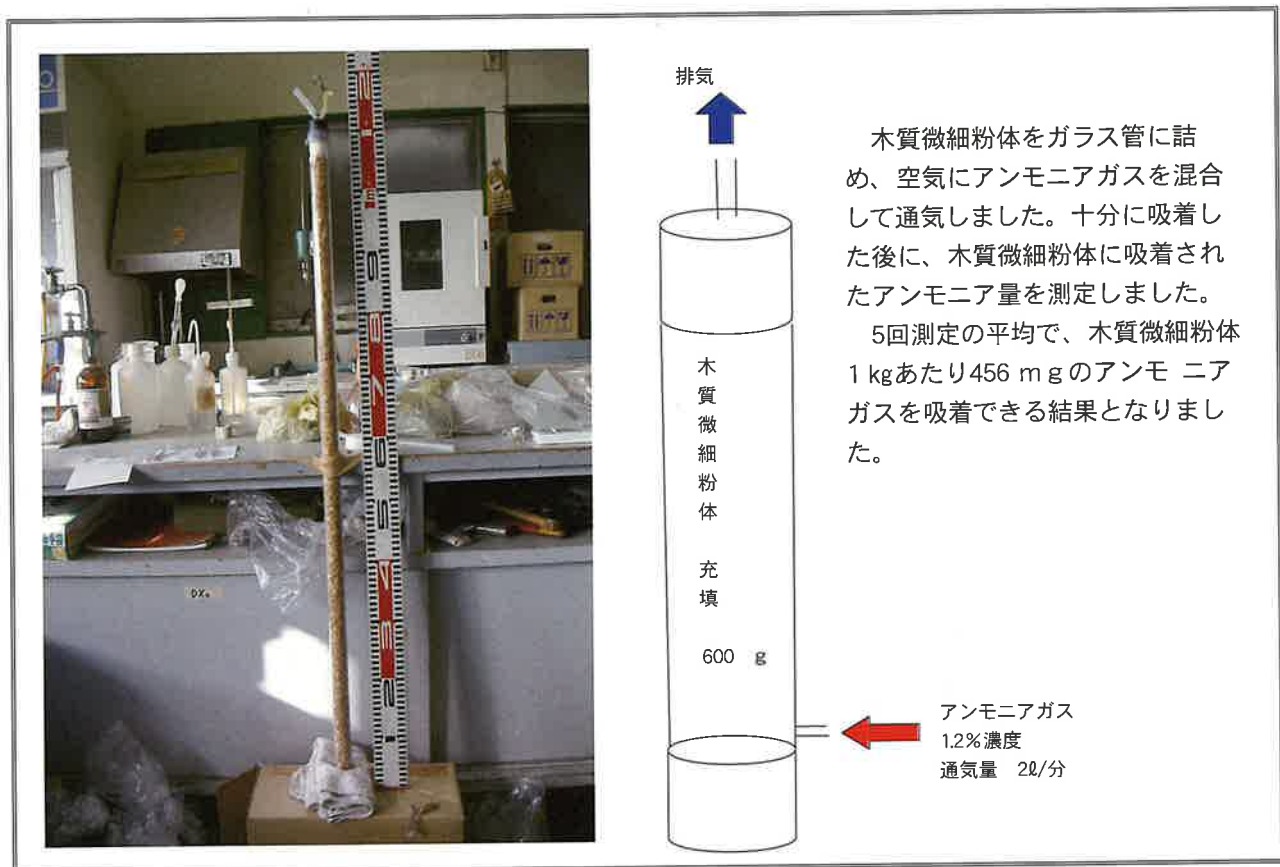


図25 木質微細粉体によるアンモニア吸着量の測定

(3) 安定した燃焼技術

堆肥燃焼時の溶融体（クリンカー）は、1000℃を超えると発生することから、ボイラー内の燃焼温度を800～900℃に維持することにより、発生量を低減できました。しかし、溶融体の発生を完全に止めることはできないため、4～6時間おきに灰のかき出しを行いました。灰の自動かき出し装置の設置が必要だと思われます。

(4) 燃焼熱の利用技術

実証プラントのボイラーから得られた温水は、豚舎の暖房や飲み水の加温に利用しました。

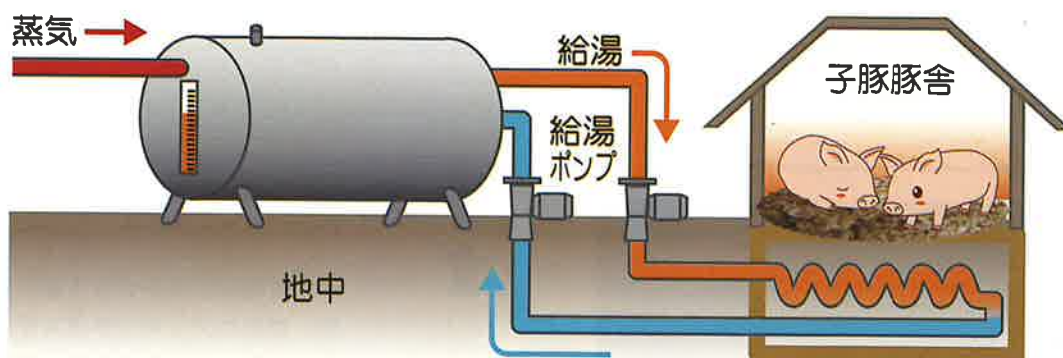


図26 ボイラーからの熱利用の例

堆肥1tあたり798 kgの燃料（複合バイオマス燃料、写真11）を生産でき、このうちの381kgを実証プラントのボイラーで消費したので、417kgが別途利用可能でした。この燃料は、含水率20%で12,000 kJ/kgの熱量（低位発熱量）がありました。試験で使用した原料と生産した燃料の例を表22に示します。



写真11 堆肥から生産した複合バイオマス燃料

表22 複合バイオマス燃料生産の例

		堆肥	木質微細粉体	混合物	生産された燃料
処理量・生産量	kg/h	420	20	440	335
水分	%	40	18	39	20
比重		0.45	0.07		
容積	ℓ/h	933	286		
固形物	kg/h	252	16	268	268

※生産された複合バイオマス燃料の160 kg/hは、ボイラーにて消費するため、別途利用できる燃料は175 kg/hである。

ナスのハウス栽培施設に小型温水ボイラーと熱交換器を設置し、生産した燃料で暖房する実証試験をしました。カセット式の輸送ボックスに燃料をつめて搬送し、これをボイラーにセットするだけでボイラーを稼働できるように工夫しました（図27）。カセット式にすることで保存性、運搬性（写真12）、作業性がよくなりました。

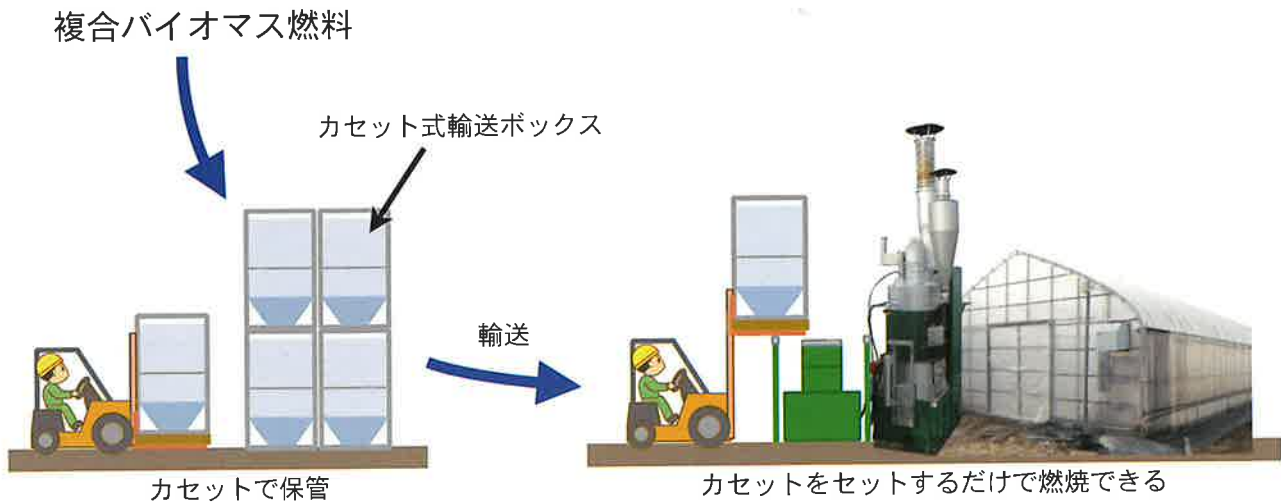


図27 カセット方式による複合バイオマス燃料の運搬



写真12 カセット式輸送ボックスを運搬している様子
（燃料が風で飛散しないため、作業性が良い）

(5) 焼却灰の利用技術

堆肥の焼却灰は、表23に示すように肥料成分としてリン酸、カリ、石灰、ケイ素、鉄を多く含んでました。焼却灰の場合、肥料として効果が出にくい状態になっている割合が多いことがあるので、難溶性の部分を除いた「く溶性」の分析値も表示することが望ましいです。

◎有機肥料として利用するには

堆肥化処理から焼却まで、化学的処理を行わず、化学的処理物を混入していなければ、有機JAS適合資材となります。農水省告示「有機農産物の日本有機規格」において、家畜ふんの焼却物は「その他の肥料および土壌改良剤」に、堆肥の副資材や木質微小粉体の焼却物は「草木灰」に相当します（平成23年1月時点）。有機JAS適合資材として利用する場合は、農林水産省の有機農産物表示規格担当部署に確認してください。肥料として販売する場合は、家畜ふん堆肥と同様に特殊肥料に該当（農水省告示「肥料取締法に基づく特殊肥料等」、平成23年1月時点）しますので、管轄する都道府県知事への届け出と、農水省告示「特殊肥料の品質表示基準」に定められた表示が必要です。

◎堆肥に余剰汚泥が混入している場合

この試験で用いた豚ふん堆肥には、畜舎污水浄化処理施設から出る余剰汚泥が混入していました。この場合、焼却灰は、有機JAS適合資材や特殊肥料には該当せず、普通肥料の焼成汚泥肥料となります。農地に利用するためには、肥料取締法により、以下の制限がかかります。

(1) ひ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム及び鉛の含有量（表24）

(2) 金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令（昭和48年総理府令第5号）の別表第一の基準に適合する原料を使用したものであること（23種類の物質に関する溶出基準が定められている）

(3) 植害試験の調査を受け、害が認められないものであること（ポットによるコマツナの発芽生育試験）

この試験の焼却灰は、ひ素、カドミウム、総水銀、ニッケル、クロム、鉛、6価クロム、PCB、セレンについて分析した結果、いずれも検出されませんでした。

このように、普通肥料として販売する場合は、制限が大きいので、有機肥料として利用できるような堆肥を原料として選択するべきです。

表23 焼却灰の成分（％）

分析項目	分析結果
リン酸 (P ₂ O ₅)	13.98
カリ (K ₂ O)	11.18
石灰 (CaO)	21.41
ケイ素 (Si)	34.11
鉄 (Fe)	17.77
アルミニウム (Al)	13.56
イオウ (S)	1.31
チタン (Ti)	1.11
バリウム (Ba)	0.74
マンガン (Mn)	0.54
亜鉛 (Zn)	0.11
ストロンチウム (Sr)	0.09
ジルコニウム (Zr)	0.02

表24 含有を許される最大値（％）

ひ素	0.005
カドミウム	0.0005
水銀	0.0002
ニッケル	0.03
クロム	0.05
鉛	0.01

5. 本技術を使用するにあたっての注意点

原料について

- ・ 堆肥の水分が高くなるほど木質微細粉体が多く必要になります。
- ・ 燃料製造には木質微細粉体が必要であり、原料となる木材の安定供給が必要です。

燃焼について

- ・ 燃焼排気の規制については、専門家や都道府県担当窓口によく相談してください。
- ・ 堆肥燃焼時の溶融体の発生を抑えるような燃焼炉の構造が必要です。

複合バイオマス燃料について

- ・ 貯蔵中に湿気を帯びないようにする必要があります。
- ・ 燃料の利用先の安定確保が必要です。

燃焼灰の利用について

- ・ 肥料成分だけでなく、重金属類やダイオキシン類の混入がないことを確認してください。
- ・ 原料が家畜ふん堆肥のみであれば、特殊肥料として販売できます。
- ・ 有機JAS適合資材として利用する場合は、農林水産省の有機農産物表示規格担当部署に確認してください。
- ・ 原料の堆肥に浄化処理施設の余剰汚泥等が混入していると、特殊肥料ではなく普通肥料になります。

引用文献

- (文献1) 熱水による水田雑草種子の死滅条件および熱水土壤消毒法の水稲および水田雑草の生育におよぼす影響. 牛木 純・川名義明・森田弘彦, 雑草研究, 53: 48-54, 2008.
- (文献2) メタン発酵処理が雑草種子の死滅率に及ぼす影響. 畜産草地研究所, http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_nilgs/h17/ch05033
- (文献3) 乳牛ふん尿スラリーからのアンモニア揮散フラックスの推定式. 中山博敬・中村和正. 寒地土木研究所月報, 650: 10-16, 2007.
- (文献4) 〈実践事例②〉消化液の米、麦、飼料用作物への利用—山鹿市バイオマスセンターの取り組み—. 薬師堂謙一. 畜産コンサルタント, 539: 28-31, 2009.
- (文献5) 稲発酵飼料 生産・給与技術マニュアル 平成18年3月. (社) 日本草地種子協会, 2006.
- (文献6) 乳牛ふん尿メタン発酵消化液の特性. 横濱光宏. 畜産環境情報, 42: 11-14, 2008.
- (文献7) 消化液の利用技術. 渡部 敢, バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効活用. 北海道バイオマス研究会監修. 酪農学園大学エクステンションセンター p.48-53, 2002.
- (文献8) 飼料イネ栽培におけるメタン発酵消化液の効率的施用法. 滋賀農技セ, 平成17年度 近畿中国四国農業研究成果情報, 2005.
- (文献9) 曝気および膜分離等によるメタン発酵消化液の性状変化. 大泉長治・山口岑雄. 千葉畜セ研報, 6: 61-62, 2006.
- (文献10) 飼料イネ専用品種の黄熟期収穫物におけるカリウム含量飼料イネ専用品種の黄熟期収穫物におけるカリウム含量. 阿部 薫・石川哲也・井尻 勉. 関東東海北陸農業研究成果情報, 2003 (3) : 86-87, 2004.
- (文献11) レンゲ跡飼料イネ栽培におけるメタン発酵残さ(消化液)の消化液利用技術. 土井真也・川本友香・藤田 耕. 近畿中国四国農業研究成果情報, 2005: 429-430, 2006.
- (文献12) 水田土壤の窒素無機化と施肥. 日本土壤肥料学会編, 博友社, 1990.

本マニュアルはメタン発酵残渣等利用技術専門委員会の監修により作成されました。

【メタン発酵残渣等利用技術専門委員会】（敬称略、あいうえお順）

高橋 圭二（酪農学園大学 酪農学部 教授）

薬師堂 謙一（独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 研究チーム長）

吉田 宣夫（山形大学 農学部 教授）

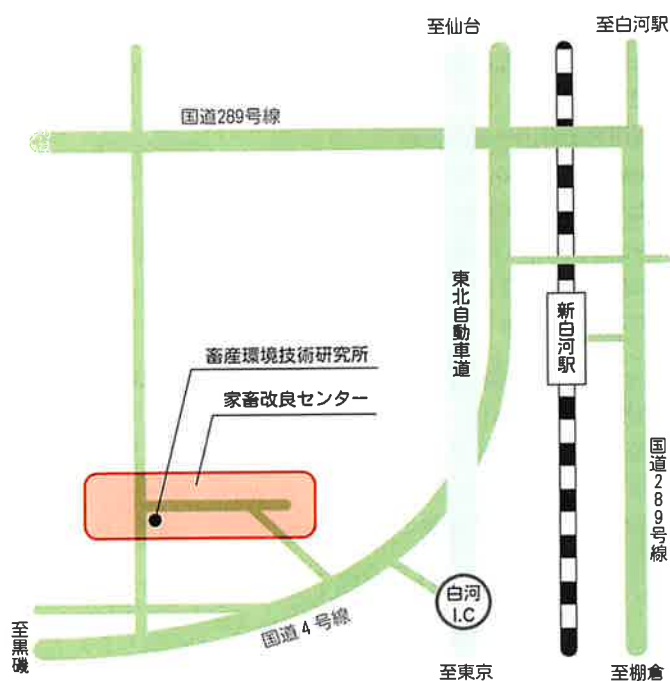
【執筆者】

第1章 長峰孝文（畜産環境技術研究所）

第2章 柳 讚錫・村主雅彦・飯田訓久・大土井克明・梅田幹雄（京都大学）

第3章 片山由文（株式会社五常）・長峰孝文（畜産環境技術研究所）

畜産環境技術研究所 所在地



メタン発酵消化液の水田利用および堆肥の燃焼利用マニュアル

平成23年3月15日発行

発行：財団法人 畜産環境整備機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-19-13（スピリットビル4階）

TEL 03-3459-6300/FAX 03-3459-6315

編集および連絡先：財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原1

TEL 0248-25-7777（代）/FAX 0248-25-7540

メールアドレス：ilet@chikusan-kankyo.jp

ホームページ：http://www.chikusan-kankyo.jp

