

畜産研究部門

平 28-4

資 料

平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会

家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた課題と
技術開発および畜産環境に関する研究動向

平成 28 年 11 月

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産研究部門
中央農業研究センター



平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会

「家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた課題と
技術開発および畜産環境に関する研究動向」

目 次

1. 開催要領	
2. 基調講演	
「畜産環境の現状と行政の動向」	1
農林水産省生産局畜産部畜産振興課 田島 隆自	
3. 家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた課題と技術開発	
(1) 「堆肥を原料とした肥料開発の流れ」	15
農研機構中央農業研究センター 加藤 直人	
(2) 「豚ふん堆肥を原料とした複合肥料の開発」	29
岐阜県農業技術センター 棚橋 寿彦	
(3) 牛ふん堆肥を主原料とした全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発	33
岡山県農林水産総合センター農業研究所 森次 真一	
(4) 混合堆肥複合肥料の開発経過と製造における課題	39
朝日工業株式会社 見城 貴志	
4. 畜産環境に関する研究動向	
(1) 畜産排水規制の動向と技術対応の展望	45
畜産環境整備機構 田中 康男	
(2) 温室効果ガス発生を抑制する炭素繊維担体を用いた排水処理技術	93
岡山県農林水産総合センター畜産研究所 白石 誠	
(3) 畜産廃水処理施設に存在する高濃度アナモックス汚泥	101
農研機構畜産研究部門 和木 美代子	
(4) 密閉縦型堆肥化装置における堆肥発酵熱利活用の可能性	105
農研機構畜産研究部門 中久保 亮	

平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会

「家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた課題と技術開発および畜産環境に関する研究動向」

開催要領

1. 開催趣旨

家畜ふん堆肥の利用促進は、資源循環型・環境保全型の農畜産業を推進する観点から重要な位置づけとなっている。堆肥の流通や利用の面では、平成 24 年に混合堆肥複合肥料の公定規格が新設されたことを受け、堆肥を原料とした肥料の製造法とその利用技術の開発が進められている。これまでに 40 銘柄以上の混合堆肥複合肥料が登録されるなど、急速に肥料開発が進められ、資源循環型農畜産業の推進や肥料コストの低減に貢献している。今後、堆肥を原料とした混合堆肥複合肥料等のさらなる普及拡大により、輸入化学肥料への依存度を低減させ、肥料資源の安定確保や肥料価格の安定化につなげる必要がある。そのためには、公定規格に適合し、かつ成型性の良好な原料堆肥の確保が重要となる。そこで、土壌肥料分野と畜産分野が連携して混合堆肥複合肥料の開発とその利用技術について検討するとともに、普及拡大に向けた課題を整理する。また、強化される排水基準への技術対応など、最近の畜産環境に関する研究の動向について情報・意見の交換を行う。

2. 開催日時 平成 28 年 11 月 10 日（木）13:15～17:00、11 日（金）9:00～12:00

3. 開催場所 農研機構畜産研究部門 大会議室（茨城県つくば市池の台 2）

4. 主催 農研機構畜産研究部門

共催 農研機構中央農業研究センター

5. 内容

第 1 日目：11 月 10 日（木）

挨拶 13:15 - 13:25

基調講演「畜産環境の現状と行政の動向」

農林水産省生産局畜産部畜産振興課 課長補佐 田島 隆自 13:25 - 14:00

【家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた課題と技術開発】

座長 農研機構中央農業研究センター 土壌肥料研究領域長 加藤 直人

(1) 堆肥を原料とした肥料開発の流れ

農研機構中央農業研究センター 土壌肥料研究領域長 加藤 直人 14:00 - 14:35

(2) 豚ふん堆肥を原料とした複合肥料の開発

岐阜県農業技術センター 土壌化学部長 棚橋 寿彦 14:35 - 15:10

休憩 15:10 - 15:20

(3) 牛ふん堆肥を主原料とした全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発

岡山県農林水産総合センター農業研究所 専門研究員 森次 真一 15:20 - 15:55

(4) 混合堆肥複合肥料の開発経過と製造における課題

朝日工業株式会社 開発部肥料開発課 見城 貴志 15:55 - 16:30

(5) 総合討論

16:30 - 17:00

第2日目：11月11日（金）

【畜産環境に関する研究動向】

座長 農研機構畜産研究部門 水環境ユニット長 長田 隆

(1) 畜産排水規制の動向と技術対応の展望

畜産環境整備機構 研究参与 田中 康男 9:00 - 9:40

(2) 温室効果ガス発生を抑制する炭素繊維担体を用いた排水処理技術

岡山県農林水産総合センター畜産研究所 専門研究員 白石 誠 9:40 - 10:10

休憩 10:10 - 10:20

(3) 畜産廃水処理施設に存在する高濃度アナモックス汚泥

農研機構畜産研究部門 上級研究員 和木 美代子 10:20 - 11:00

(4) 密閉縦型堆肥化装置における堆肥発酵熱利活用の可能性

農研機構畜産研究部門 研究員 中久保 亮 11:00 - 11:30

(5) 総合討論

11:30 - 12:00

6. 参集範囲：農林水産省生産局、地方農政局、技術会議事務局、独立行政法人、国立研究開発法人、都道府県試験研究機関、普及指導機関、大学、民間団体、民間企業等

7. 参加申込：下記ホームページから当研究会のお知らせを経由し、必要事項を入力してお申込ください。

10月20日（木）を申し込み期限とさせていただきます。

<http://www.naro.affrc.go.jp/event/index.html>

8. 事務局：農研機構畜産研究部門企画管理部企画連携室 運営チーム

〒305-0901 茨城県つくば市池の台2 Tel. 029-838-8290、 Fax. 029-838-8606

基調講演

畜産環境対策について

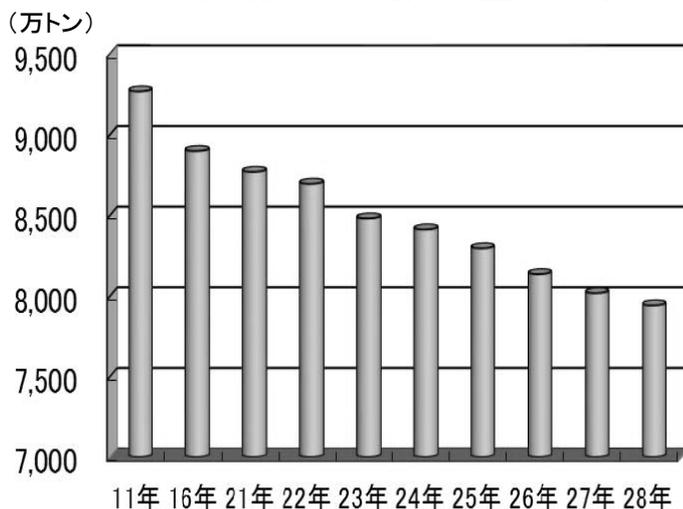
平成28年11月10日

農林水産省 生産局 畜産部
畜産振興課 環境計画班
田島 隆自

家畜排せつ物の発生状況

- 全国で発生する家畜排せつ物の量は約7,900万トン(平成28年)。
- 飼養頭数の減少により、発生量は減少傾向。
- 畜種別では、乳用牛・肉用牛・豚が各約3割を占める。

○家畜排せつ物発生量の推移



11年 16年 21年 22年 23年 24年 25年 26年 27年 28年

資料:農林水産省畜産統計から推計

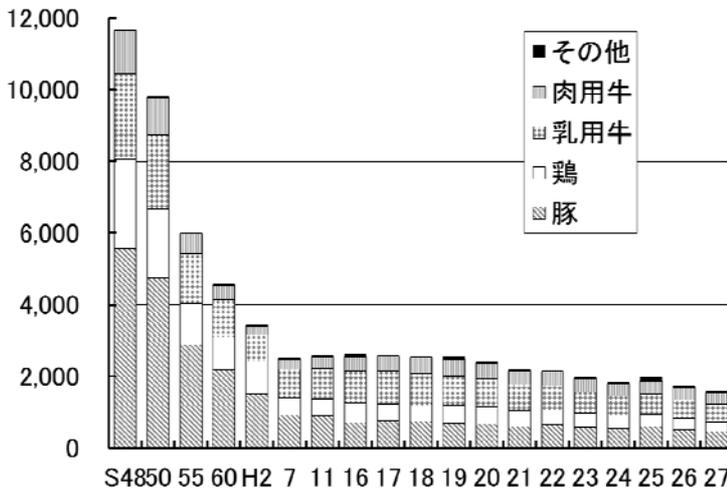
○畜種別の家畜排せつ物発生量

	発生量(万トン)
乳用牛	2,225
肉用牛	2,290
豚	2,148
採卵鶏	752
ブロイラー	527
合計	7,941

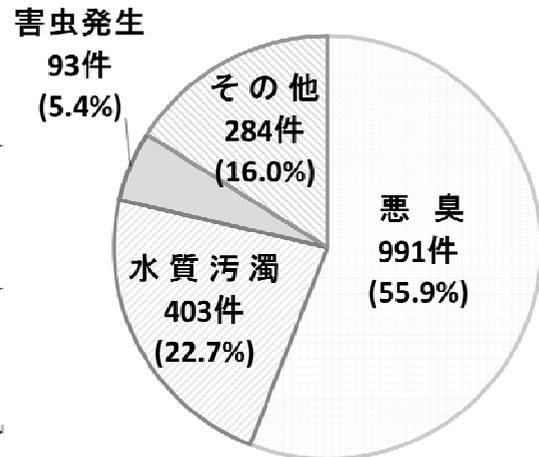
畜産経営由来の苦情発生状況

- 畜産経営由来の苦情発生件数は減少傾向だが、農家戸数当たりの発生件数は横ばいで推移。
- 悪臭関連の苦情が過半を占めている。

○苦情発生件数の推移



○苦情内容の内訳(H27年)



※内訳は、複数種類の苦情を併発しているものを重複計上しているため、発生件数の合計とは一致しない。
資料：農林水産省畜産部調べ

家畜排せつ物の管理基準

○家畜排せつ物法施行規則第1条において、畜産業を営む者が家畜排せつ物の処理等に当たり遵守すべき基準(管理基準)を明示。

1 管理施設の構造設備に関する基準

- ① 固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床を不浸透性材料(コンクリート等汚水が浸透しないもの)で築造し、適当な覆い及び側壁を設けること。
- ② 液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること。

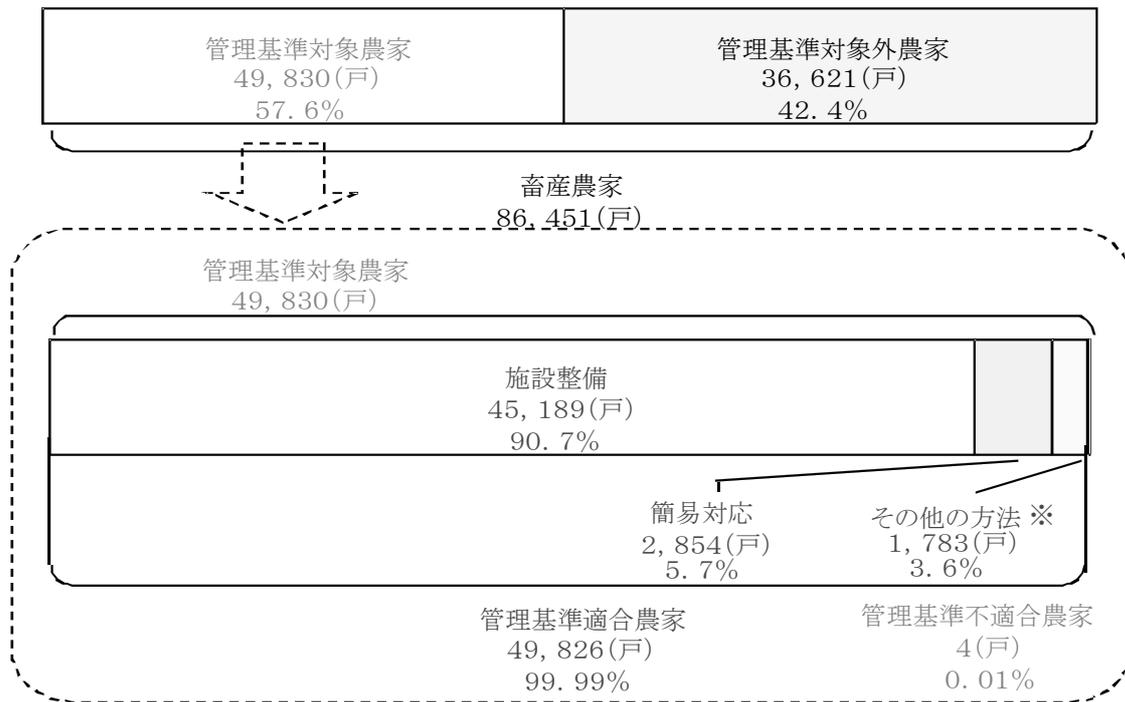
2 家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

- ① 家畜排せつ物は管理施設において管理すること。
- ② 管理施設の定期的な点検を行うこと。
- ③ 管理施設の床、覆い、側壁又は槽に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと。
- ④ 送風装置等を設置している場合は、当該装置の維持管理を適切に行うこと。
- ⑤ 家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法及び処理の方法別の数量について記録すること。

※管理基準の適用対象外：
 牛又は馬 10頭未満
 豚 100頭未満
 鶏 2,000羽未満

法施行状況調査の結果概要

(平成26年12月1日現在)



※「その他の方法」には、畜舎からほ場への直接散布、周年放牧、廃棄物処理としての委託処分、下水道利用等が含まれる。

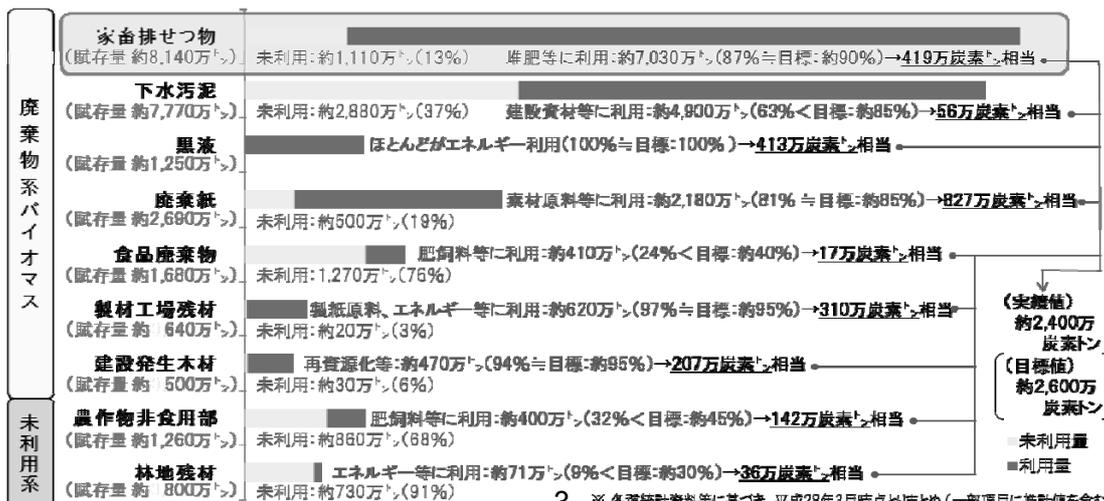
資料：農林水産省畜産部調べ

家畜排せつ物利活用の状況

- 「バイオマス活用推進基本法」に基づき、バイオマス活用推進基本計画を閣議決定。本年9月に改定。
- 家畜排せつ物については、現在87%の利用率を90%とする目標を設定。

家畜排せつ物の利活用に関する目標

物理的回収限界である約90%に近い水準で既に利用されていることから、引き続きその利用を図るとともに、堆肥等の利用に配慮しつつ、地域の実情に応じて炭化・焼却処理やメタン発酵ガス等による高度エネルギー利用を促進し、2025年に約90%が利用されることを目指す。



3 ※各種統計資料等に基づき、平成28年3月時点とりまとめ(一部項目に推計値を含む)

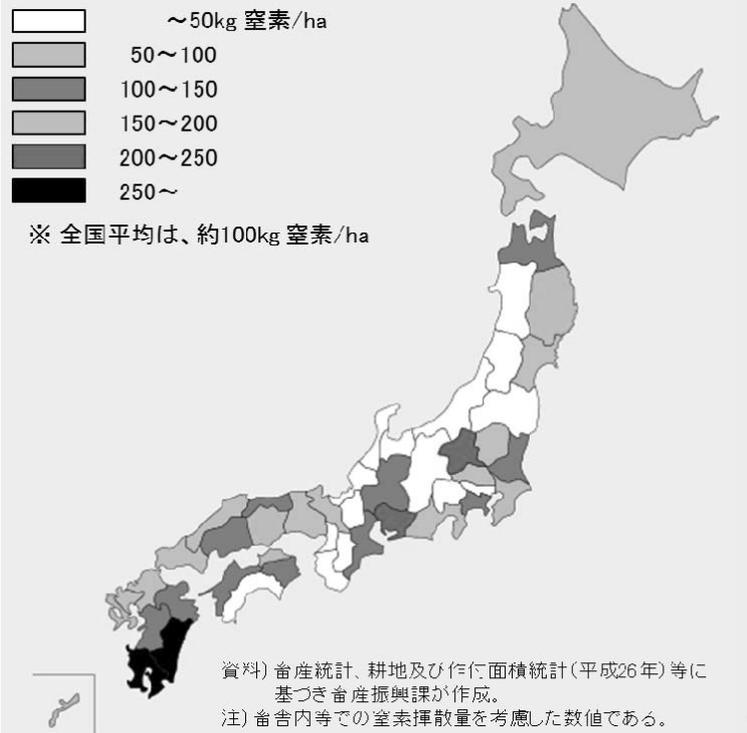
家畜排せつ物の発生量の偏在

- 耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量は都道府県間で大きな差。
- 必要に応じ堆肥の広域利用や高度利用の推進も重要。

都道府県別耕地面積当たり
家畜排せつ物発生量
(窒素ベース)



※ 全国平均は、約100kg 窒素/ha



資料) 畜産統計、耕地及び作付面積統計(平成26年)等に基づき畜産振興課が作成。
注) 畜舎内等での窒素揮散量を考慮した数値である。

堆肥の広域流通の事例①

- 西日本有数の畜産地帯である熊本県のJA菊池では、県内外の耕種地帯のJAと連携し、堆肥の品質向上や運搬コストダウンに取り組みながら、堆肥の広域流通を実施。



○堆肥の品質向上
(回転式選別機による
異物混入防止)

○他JAの指導員との
会議・研修の開催



資料: JA菊池作成
資料より抜粋・引用

堆肥の広域流通の事例②

○家畜飼養密度の極めて高い愛知県半田市では、耕畜の農家間の相互理解を進め、農家対農家の直接相対取引による堆肥利用や堆肥の広域流通を実施。

○耕畜連携フォーラムの開催



○堆肥品評会の開催



○親交を深めた県北西部の水田農家集団への堆肥の広域流通



○堆肥生産現場の見学会



○水田への堆肥散布実演



資料：半田市酪農組合・半田市堆肥生産利用連絡協議会 作成資料より抜粋・引用

一律排水基準

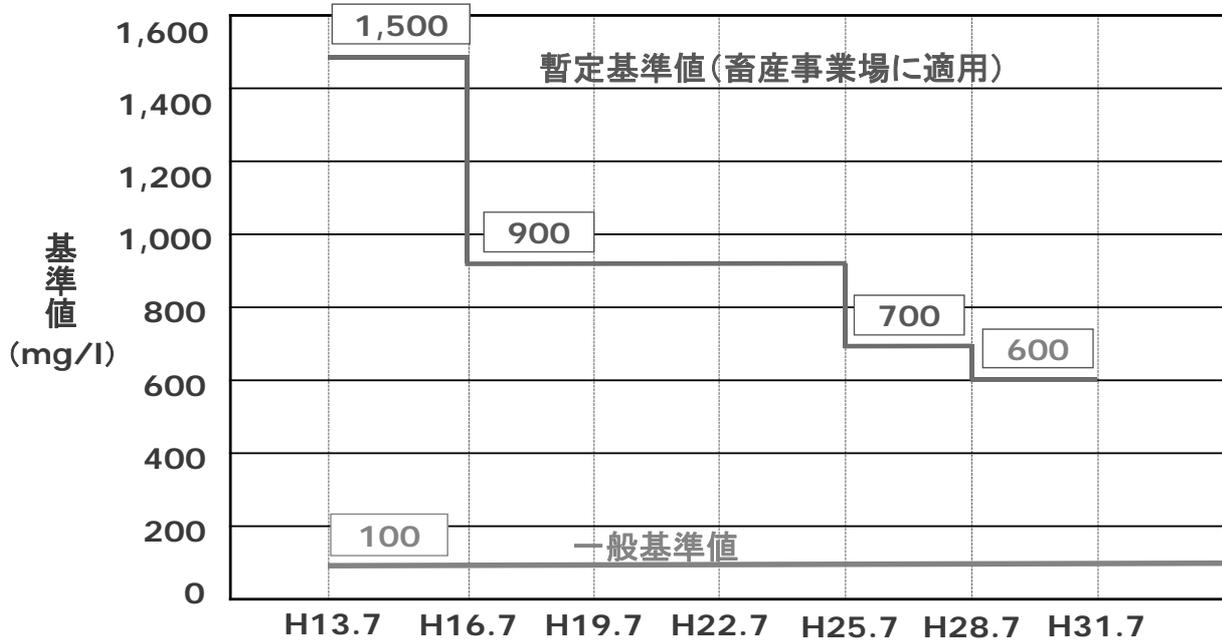
生活環境項目※1	許容限度
水素イオン濃度 (pH)	海域以外
	海域
生物化学的酸素要求量 (BOD) ※3	5.8以上8.6以下
	5.0以上9.0以下
化学的酸素要求量 (COD) ※4	160mg/L (日間平均120mg/L)
	160mg/L (日間平均120mg/L)
浮遊物質 (SS)	200mg/L (日間平均150mg/L)
	200mg/L (日間平均150mg/L)
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (鉱油類含有量)	5mg/L
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (動植物油脂類含有量)	30mg/L
フェノール類含有量	5mg/L
銅含有量	3mg/L
亜鉛含有量	2mg/L
溶解性鉄含有量	10mg/L
溶解性マンガン含有量	10mg/L
クロム含有量	2mg/L
大腸菌群数	日間平均 3000個/cm ³
窒素含有量※5	120mg/L (日間平均 60mg/L)
	16mg/L (日間平均 8mg/L)
燐含有量※5	16mg/L (日間平均 8mg/L)

健康項目(有害物質)※2	許容限度
カドミウム及びその化合物	0.03mg Cd/L
シアン化合物	1 mg CN/L
有機燐化合物(パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及びEPNIに限る。)	1mg/L
鉛及びその化合物	0.1 mg Pb/L
六価クロム化合物	0.5 mg Cr(VI)/L
砒素及びその化合物	0.1 mg As/L
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	0.005 mg Hg/L
アルキル水銀化合物	検出されないこと。
ポリ塩化ビフェニル	0.003mg/L
トリクロロエチレン	0.1mg/L
テトラクロロエチレン	0.1mg/L
ジクロロメタン	0.2mg/L
四塩化炭素	0.02mg/L
1,2-ジクロロエタン	0.04mg/L
1,1-ジクロロエチレン	1mg/L
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4mg/L
1,1,1-トリクロロエタン	3mg/L
1,1,2-トリクロロエタン	0.06mg/L
1,3-ジクロロプロペン	0.02mg/L
チウラム	0.06mg/L
シマジン	0.03mg/L
チオベンカルブ	0.2mg/L
ベンゼン	0.1mg/L
セレン及びその化合物	0.1 mg Se/L
ほう素及びその化合物	海域以外
	海域
ふっ素及びその化合物	海域以外
	海域
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物※6	100mg/L
1,4-ジオキサン	0.5mg/L

※1 平均的な排水の量が50m³/日以上工場または事業場について適用
 ※2 畜産農業については、一定規模(豚房50m²、牛房200m²、馬房500m²)以上の施設が対象
 ※3 海域及び湖沼以外の公共用水域への排水に限り適用
 ※4 海域及び湖沼への排水に限り適用
 ※5 閉鎖性海域及びこれらに流入する公共用水域への排水に限り適用
 ※6 アンモニア性窒素に0.4を乗じたもの、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の合計量

硝酸性窒素等の暫定基準

- 畜産農業について、硝酸性窒素等の暫定基準値を設定。
- 平成28年7月から3年間、新たな基準値(600mg/l)を適用。



10

硝酸性窒素等の排水実態

- 硝酸性窒素等の暫定排水基準を超過している事例が一部存在。

		該当農家の割合	備考
排水基準	一般排水基準達成	62%	~100mg/L
	一般排水基準超過~ 暫定排水基準達成	33%	~600mg/L
	暫定排水基準超過	5%	
調査事業場数		221	養豚農家のみ

出典：H28.5.15環境省中央環境審議会水環境部会(第41回)資料((一社)日本養豚協会等からの聞き取り調査結果)

窒素・りんの排水規制

○閉鎖性海域における富栄養化に対応するため、平成5年に窒素とりんの排水基準が設定され、環境大臣が定める88海域に適用。

○一律排水基準 窒素含有量 120 mg/L (日間平均 60 mg/L)
りん含有量 16 mg/L (日間平均 8 mg/L)

○対象 日平均排水量が50m³以上の工場または事業場
(一部の都道府県では、50m³未満についても適用)

○暫定排水基準 達成が極めて困難な特定の業種を対象に、5年期限の暫定排水基準を適用。5年ごとの見直しにより適用業種は減少。

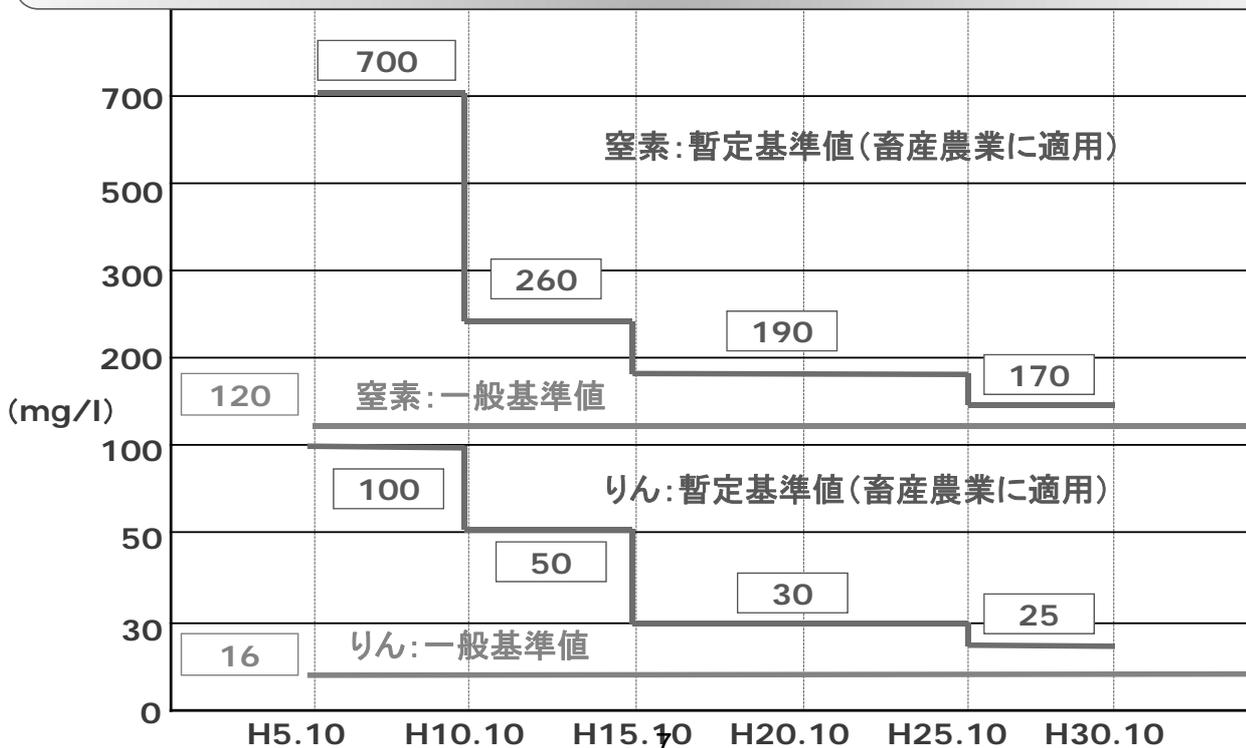
		当初	2期	3期	4期	省令改正後
暫定排水基準 施行年月日		平成5年10月1日	平成10年10月1日	平成15年10月1日	平成20年10月1日	平成25年10月1日
適用期限		平成10年9月30日	平成15年9月30日	平成20年9月30日	平成25年9月30日	平成30年9月30日
暫定排水 基準適用 業種数	窒素	59	9	7	5	5
	りん	38	3	2	2	1

出典:環境省資料

12

窒素・りんの暫定基準

○畜産農業について、窒素・りんの暫定基準値を設定。
○現在の暫定基準値は平成30年まで適用。



13

窒素・リンの排水実態

○窒素・リンの暫定排水基準を超過している事例や、排出水の汚染状態の測定等を適正に実施していない恐れのある事例等がある。

		該当農家の割合		備考
		窒素	リン	
排水基準	一般排水基準達成	72%	54%	N: ~120mg/L P: ~16mg/L
	一般排水基準超過～ 暫定排水基準達成	14%	16%	N: ~170mg/L P: ~25mg/L
	暫定排水基準超過	14%	30%	
対象事業場数		120		閉鎖性海域にかかる排水量50m3以上の養豚場
回答率		48%		

資料 環境省 平成27年度 畜産農業に係る海域の窒素・リン暫定排水基準適用事業場調査結果

悪臭に係る苦情の内訳（平成26年度）

○悪臭に係る苦情のうち、畜産農業由来のものが1割近くを占める。

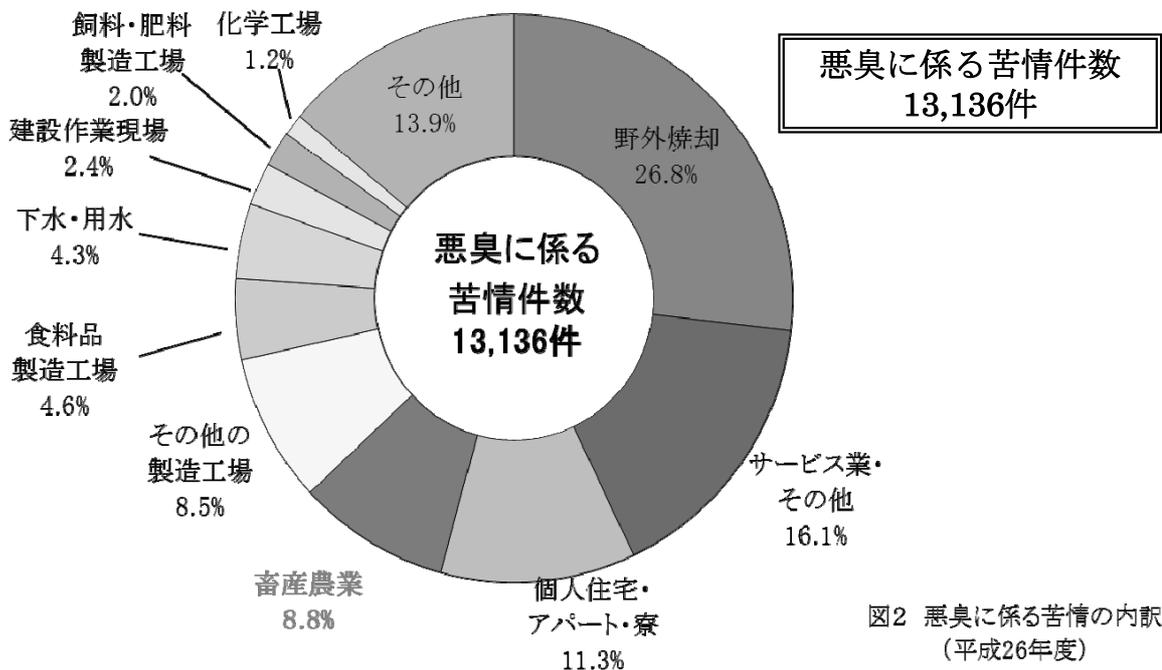


図2 悪臭に係る苦情の内訳 (平成26年度)

特定悪臭物質の規制基準

○悪臭の主な原因物質として、22物質を特定悪臭物質として指定。

特定悪臭物質	範囲※	特定悪臭物質	範囲※
アンモニア	1～5	イソバレルアルデヒド	0.003～0.01
メチルメルカプタン	0.002～0.01	イソブタノール	0.9～20
硫化水素	0.02～0.2	酢酸エチル	3～20
硫化メチル	0.01～0.2	メチルイソブチルケトン	1～6
二硫化メチル	0.009～0.1	トルエン	10～60
トリメチルアミン	0.005～0.07	スチレン	0.4～2
アセトアルデヒド	0.05～0.5	キシレン	1～5
プロピオンアルデヒド	0.05～0.5	プロピオン酸	0.03～0.2
ノルマルブチルアルデヒド	0.009～0.08	ノルマル酪酸	0.001～0.006
イソブチルアルデヒド	0.02～0.2	ノルマル吉草酸	0.0009～0.004
ノルマルバレルアルデヒド	0.009～0.05	イソ吉草酸	0.001～0.01

※ 大気中における含有率で百万分率

 : 畜産事業所で主に発生する物質

16

特定悪臭物質による規制の限界

○個別物質の濃度規制では対応できない複合臭への対応として、臭気指数規制を導入。

- ✳️においを発生させる物質は40万種類以上
- ✳️においの相加・相乗効果
- ✳️個々の物質濃度が基準値以下であってもにおう

物質濃度規制だけでは限界

臭気指数規制の導入(平成7年法改正)

臭気指数規制の導入状況

○規制地域を有する市区町村のうち、臭気指数規制を導入している市町村が35.1% (450市区町村)。

①市区町村数	②規制地域を有する市区町村数 (①に対する割合)	③臭気指数規制を導入している市区町村数 (②に対する割合)
市 790	741(93.8%)	285(38.4%)
区 23	23(100%)	23(100%)
町 745	462(62.0%)	123(26.7%)
村 183	57(31.1%)	19(33.3%)
計 1,741	1,283(73.7%)	450(35.1%)

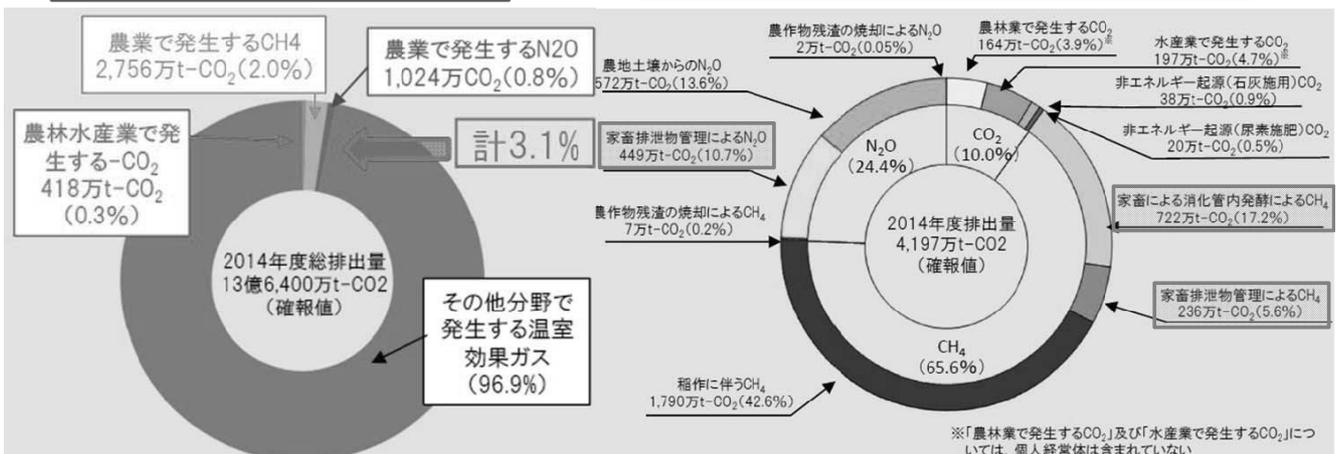
出典：環境省資料

畜産分野由来のGHGの排出

○畜産業からは、主に家畜排せつ物管理に由来するCH₄及びN₂O、消化管内発酵に由来するCH₄を排出。
○これらを合計すると、我が国全体の総排出量約14億トン/年(CO₂換算)の約1%(農林水産業由来の排出の約1/3)を占めており、畜産業においても緩和策を推進する必要。

我が国の温室効果ガス排出量

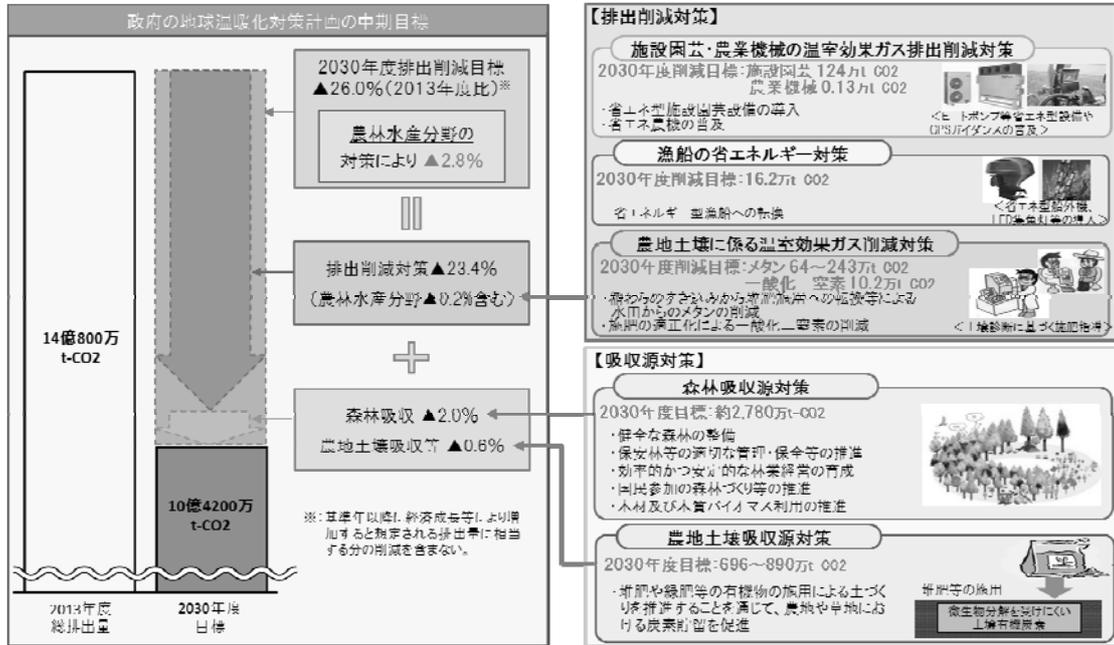
農林水産分野の温室効果ガス排出の現状



データ出典：温室効果ガスインベントリオフィス(<http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>)

地球温暖化対策計画における農林水産分野の位置づけ

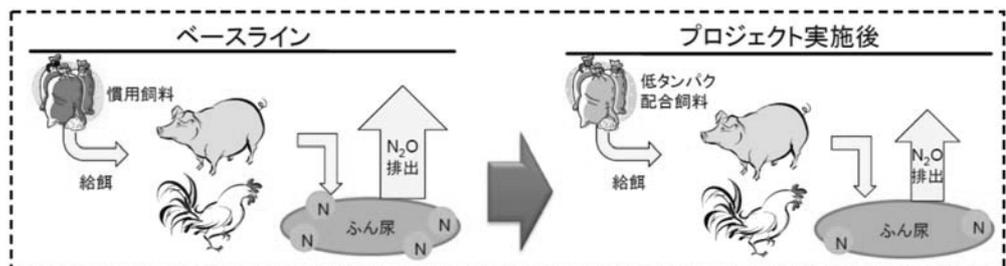
- 本年5月の政府の「地球温暖化対策計画」において、我が国全体でGHG排出を2030年までに26%削減(2013年度比)する中期目標を決定。
- 畜産分野は排出削減目標の内訳に含まれていないが、GHG排出量が大きいことから、中期目標等の達成に向けた取組が必要。



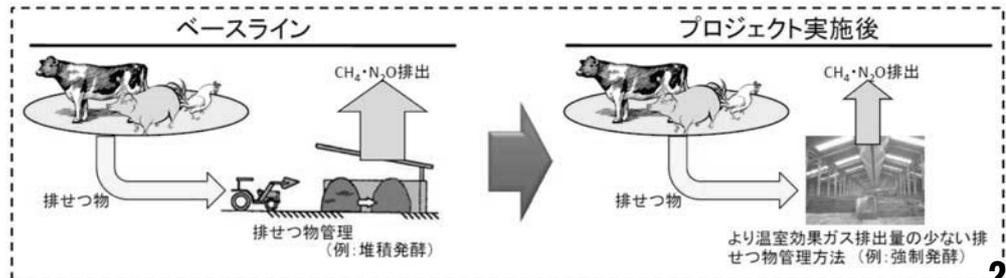
畜産分野における気候変動緩和策

- 畜産分野においては、低タンパク飼料の給餌や、家畜排せつ物管理方法の変更によるGHGの削減が、J-クレジット制度の方法論に登録。またN₂O排出量の少ない排水処理技術等を開発。
- この他、堆肥の施用による炭素の土壌貯留や、メタン発酵によるエネルギー利用等によっても、気候変動緩和への貢献が可能。

✓ 低タンパク飼料の給餌



✓ 排せつ物管理方法の変更



畜産分野への気候変動の影響と適応策

○畜産分野でも、気候変動により様々な影響が生じることが懸念されており、緩和策だけでなく、適応策も進めていく必要。

「農林水産省気候変動適応計画（平成27年8月）」における畜産関係の主な内容

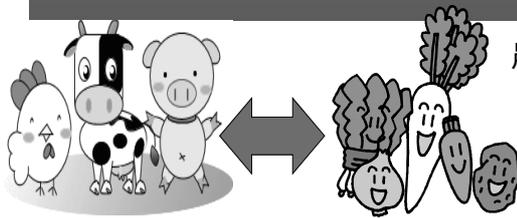
	現状・懸念される影響	対応方向
畜産	・気温上昇による飼料摂取量の減少等による、乳量・乳成分、繁殖成績、増体率の低下	・畜舎の暑熱対策や適切な飼養管理の徹底、夏期の増体率や繁殖性低下を防止する技術開発等を引き続き推進
飼料	・飼料作物の栽培適地の移動や、夏期の高温・小雨等による夏枯れ、虫害等 ・気温上昇や多雨・渇水の増加等により、土壌のカビ毒産生菌の分布等が変化し、飼料の汚染状況が変化する可能性	・気候変動に応じた栽培体系の構築や耐暑性品種の開発普及、抵抗性品種の開発普及等の病害虫対策等を引き続き推進 ・カビ毒の調査を継続するとともに、影響が懸念される場合には、汚染を低減する技術を開発・普及

家畜ふん堆肥の肥料利用促進に向けた
課題と技術開発

家畜ふん堆肥の肥料利用促進 に向けた課題と技術開発

堆肥を原料とした肥料開発の流れ

平成28年度家畜ふん尿処理利用研究会
平成28年11月10日

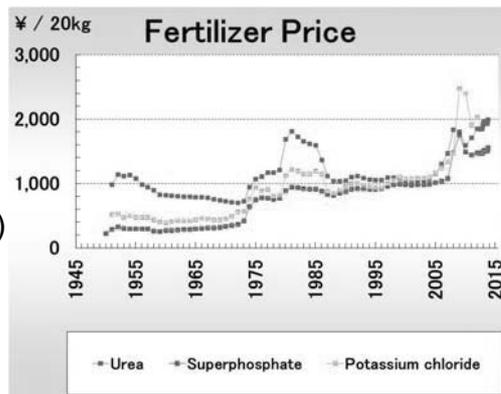


農研機構中央農業研究センター
土壌肥料研究領域長
加藤 直人

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

2008年の肥料高騰から学ぶべき 肥料自給率向上と省資源の重要性

- ✓ 肥料原料の大半が輸入
 - ✓ 肥料資源は少数国に偏在
 - ✓ 資源国による戦略物質化
(自国向け供給を優先)
 - ✓ 肥料の多くは副産物
(他産業の動向に左右される)
- 粒状硫安の国内供給不足
(製鉄産業・繊維産業での生産停止・減産)



堆肥等の国内有機性資源に含まれる肥料成分の有効利用

輸入肥料への依存度を低減、農家のコスト負担を低減

長期的には省資源の視点

黒田ら J. Environ. Biotechnol. Vol.4 (2005)

経済的に採掘できるリン鉱石の枯渇シナリオ (CEEP試算)

リン消費量の年間増加率 3% → 2060年代には枯渇

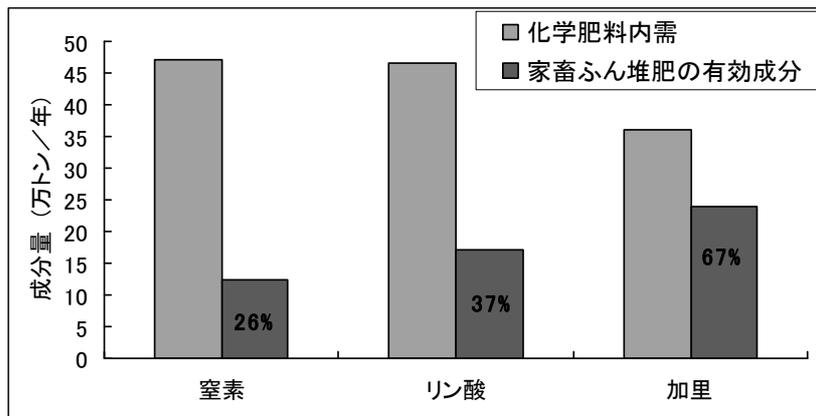
先進国における
減肥(収奪量相当を施用)
リサイクルの推進など → リン消費量の増加率が低減
2060年代で資源の半分を消費

リン鉱石の品位・品質の低下

リン酸含有量が10年で1%の割合で低下

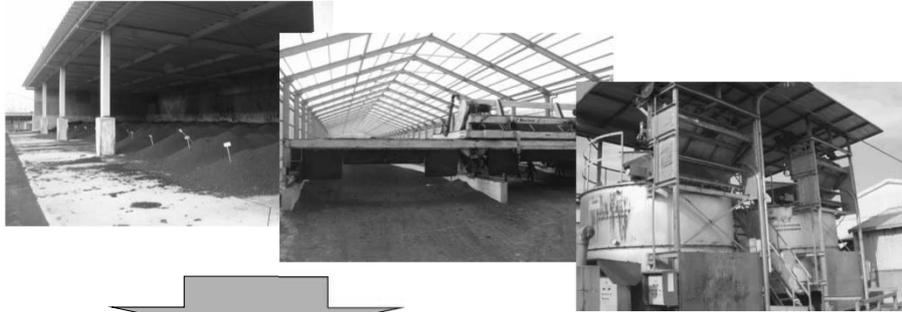
リン抽出や不純物除去技術の高度化
リン酸肥料の製造コストの増加

堆肥中の有効な肥料成分量と 化学肥料内需との比較



金澤 中央農研報 より作図

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



堆肥化時の降雨による養分流亡を防止

戻し堆肥の利用

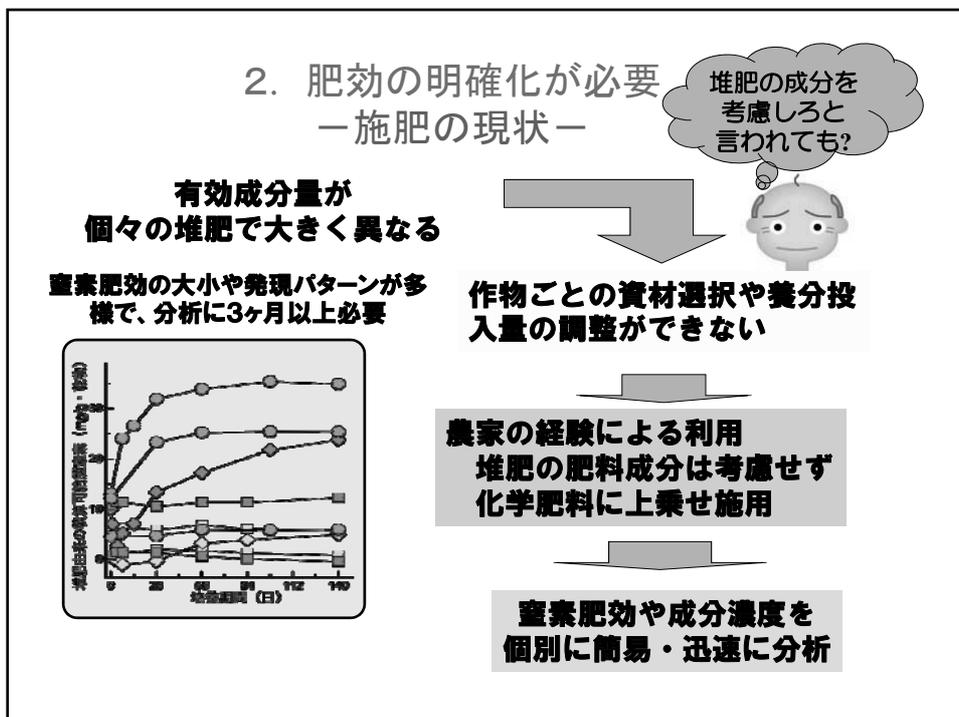
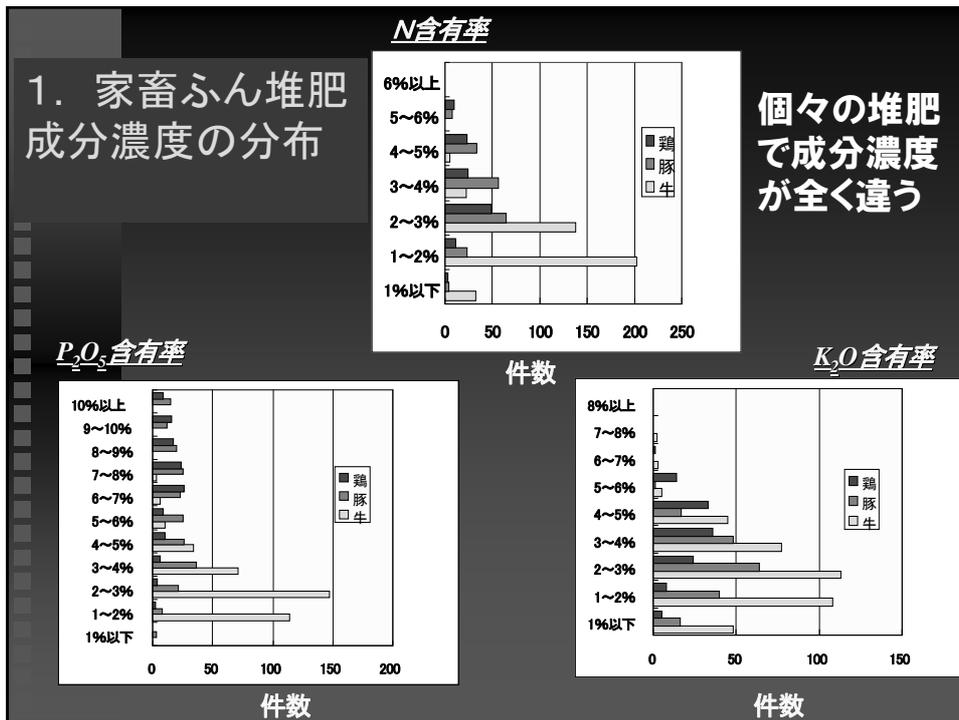
副資材の高騰

堆肥の高塩類化
肥料成分の増加

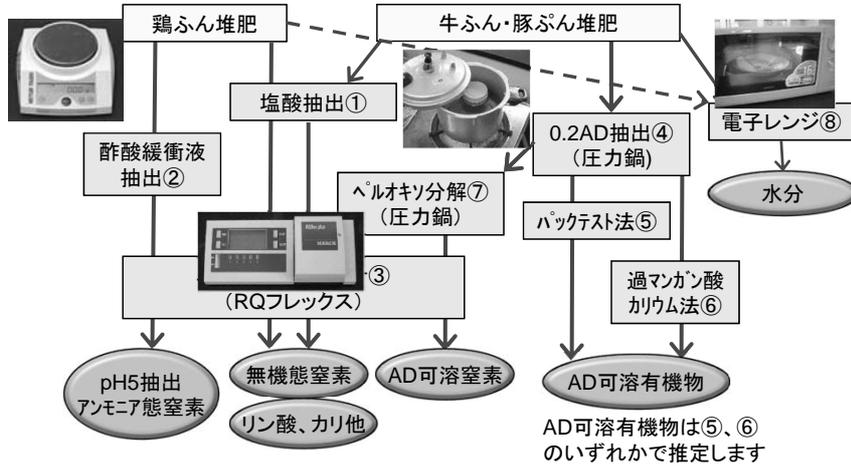
堆肥の肥料的利用の課題

1. 肥料成分含有量に大きな幅がある
2. 窒素肥効が分かりにくい
→堆肥中の有効成分の簡易分析法の開発
3. 養分バランスが作物の要求と合致していない
→成分調整堆肥(窒素肥効の増強)
4. ハンドリングの問題(散布労力、広域流通が困難)
5. 農閑期に施用されるので、作物による利用率が低下しやすい
→ペレット成型→小粒化(施肥機で散布可能な資材に変換)

これらの課題を解決し、実用化したのが
混合堆肥複合肥料

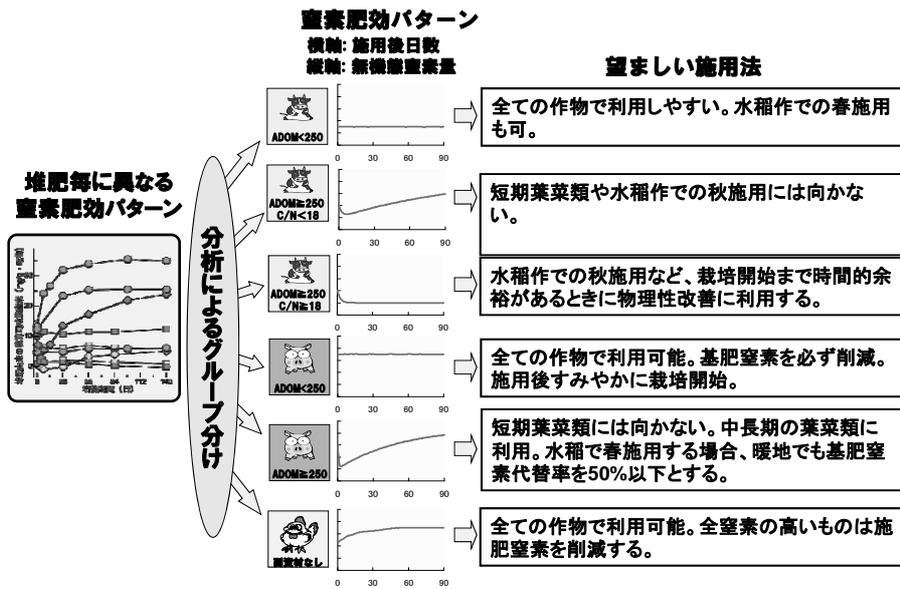


高価な分析機器を必要としない手法の開発



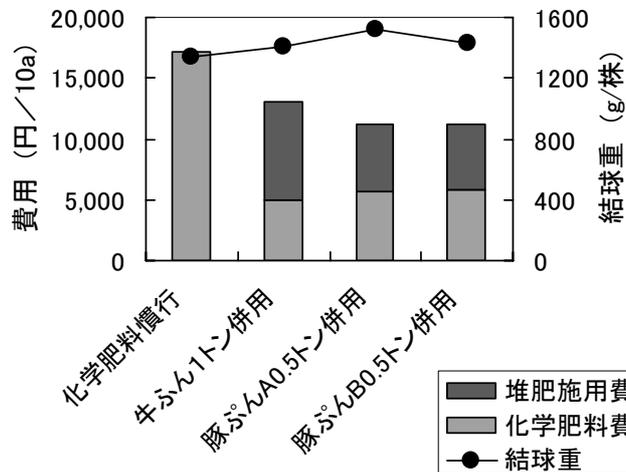
(高度化事業18053成果より)

窒素肥効の特徴に応じた堆肥の適正利用



(高度化事業18053成果より)

堆肥の利用による施肥コストの削減 (キャベツでの実証例)



堆肥の肥料成分を考慮して減肥すれば、
収量を維持しながら、施肥コストは低減

(高度化事業18053成果より)

窒素肥効評価マニュアル・分析操作の動画 堆肥カルテシステム

抽出用容器に堆肥を10~20g分取する
 ・分取量は堆肥の状態により変える(注1)
 ↓
 ・鶏ふん堆肥の場合、分取量を変えるか抽出液濃度を変える(注2)
 0.5M塩酸を100mL加える
 (鶏ふん堆肥の前酸緩衝液抽出の場合は前酸緩衝液100mL)
 ↓
 ・カルシウムを多く含む試料では、発泡にご注意する(注3)
 往復振とう器で1時間振とうする



(高度化事業18053成果より)

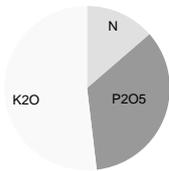


堆肥施用時の減肥可能量を提示

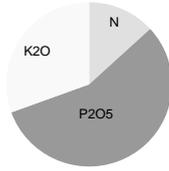
一定程度普及したが、堆肥の分析を継続的に担う分析機関が必要

3. 養分バランスの問題

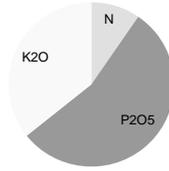
牛ふん堆肥



豚ふん堆肥



鶏ふん堆肥

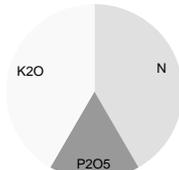


家畜ふん堆肥の有効な肥料成分の割合

「堆肥の品質実態調査報告書(畜環機構)」の畜種ごとの含有率平均値に、窒素肥効率として牛30%、豚50%、鶏60%、リン肥効率として80%、その他の肥効率はすべて90%として兼じて試算。

堆肥の成分と作物吸収の養分バランスが合っていない

作物の肥料成分
(窒素、リン酸、
カリ)の吸収割合



水稲



キャベツ



トマト

(作物比較栄養生理 田中 明編より)

リン・カリの土壌蓄積により 生理障害や病害発生が助長

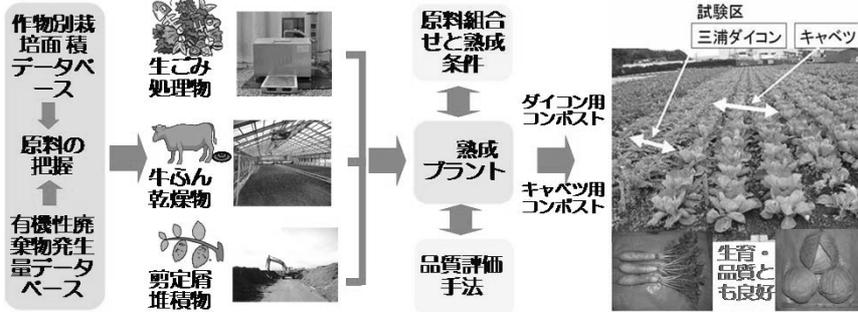


- ✓ ブロッコリー
カリ過剰によるべと病発生の助長 (花蕾黒変症)
- ✓ アブラナ科野菜
リン酸過剰で根こぶ病発生が助長



地域資源の組み合わせによる養分バランスの改善(融合堆肥)

地域内の有機性資源の状況 ↔ 高品質・高機能化 ↔ 農地の堆肥受容量



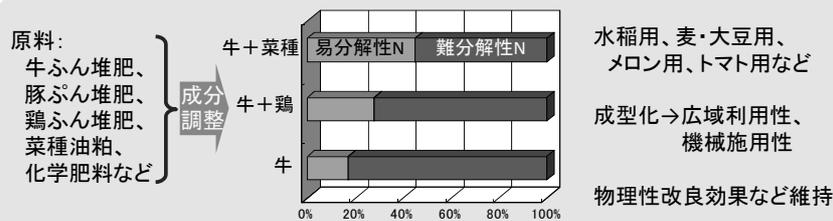
融合堆肥の原料	可給態N	リン酸	加里
生ごみ+剪定屑+牛ふん堆肥	8.4	6	13
生ごみ+剪定屑	5.4	11	22
牛ふん堆肥	1.7	35	57

g/kg dry weight

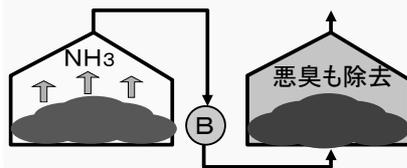
(高度化事業1425成果)

窒素肥効の増強とペレット成型

Improvement of Nutrients Balance



アンモニアの97%が吸着され、
TN濃度 (DM) 1.7→6%



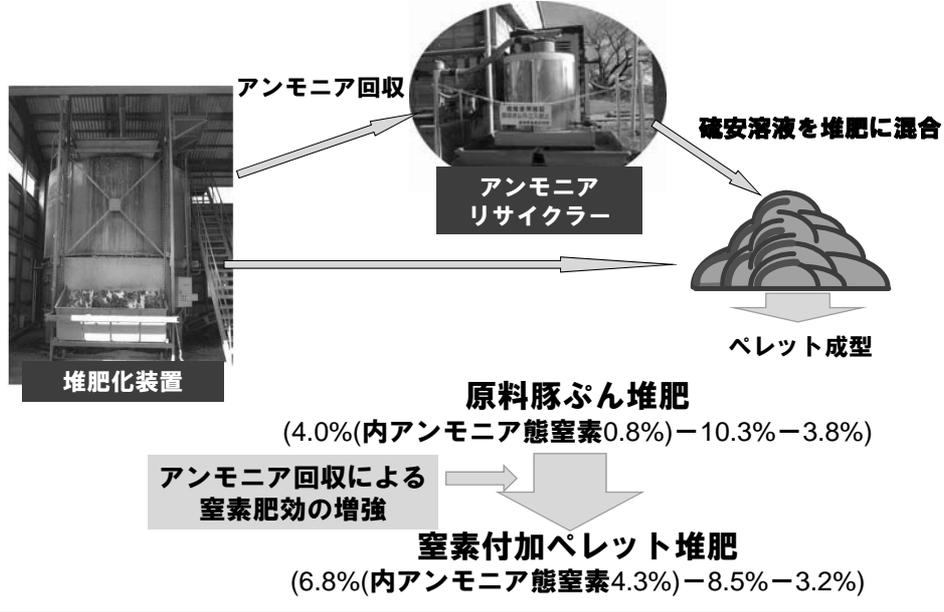
成分調整への菜種油粕利用の問題
価格が高い: ¥1,100/kgN
肥料取締法上の問題

堆肥化の初期過程で発生するアンモニアを熟成後期の堆肥に吸着させる

高窒素濃度堆肥

(九沖農研、熊本県成果より作成)

農水省委託プロ(省資源型農業プロ→気候変動プロB1系)
 ー堆肥製造場面での工夫(岐阜県畜産研究所・農業技術センター)ー



特殊肥料と普通肥料(肥料取締法)

堆肥(特殊肥料)

化学肥料や有機質肥料(普通肥料)

混合して製造・販売は禁止

堆肥+普通肥料の成分調整堆肥は実用化が不可
 成分調整には限界

加工家きんふん肥料の公定規格

以下の要件を満たす鶏ふん堆肥は、
加工家きんふん肥料(有機質肥料)として登録が可能

- ✓ 全窒素・全リン酸2.5%以上、全カリ1%以上、
- ✓ 水分20%以下
- ✓ 有害成分の規制(窒素全量含有率1%につき、ヒ素0.004%以下)

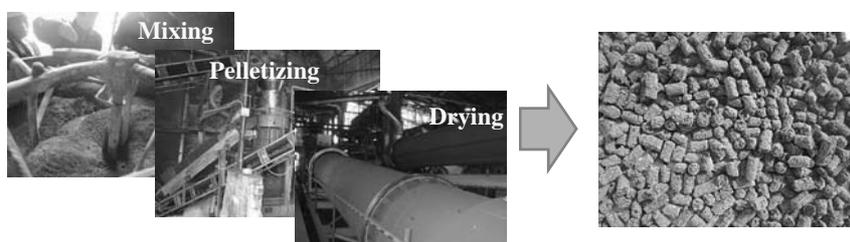


加工家きんふん肥料登録済みの鶏ふん堆肥は、
化学肥料などの普通肥料を混合して成分調整が可能。

高窒素鶏ふんペレット肥料の製造(気候変動プロB1系)

岩手県農業研究センター・農研機構中央農研・(有)三沢地域環境保全組合、プライフーズ(株)
の共同開発

普通肥料登録済みのブロイラー鶏ふん堆肥に
尿素を混合・ペレット化(窒素肥効の増強)



平成26年春に市販化(岩手県内の一部)
水稻を中心に34haで使用(H27年度実績)

高窒素鶏ふんペレット肥料の特徴

保証成分 窒素-リン酸-加里 11%-3%-2%

有効な窒素含量は8.8%

- ◎リン酸・加里の蓄積土壤に適している
- ◎ブロードキャスターや畦内部分施用機でも精度良く散布
(水稲側条施肥機は適応せず)
- ◎化学肥料慣行施肥と同等の収量(水稲・キャベツ)、食味
(水稲)が得られる
- ◎水稲で2～5割、キャベツで4割の肥料費削減

混合堆肥複合肥料の開発

平成24年9月 肥料の公定規格の改正 (混合堆肥複合肥料)

堆肥(特殊肥料)
化学肥料や有機質肥料(普通肥料) → 混合堆肥複合肥料として
製造・販売が可能
混合・成型・加熱乾燥

養分バランスや肥効の調整が自在に実施可能

JA全農と肥料会社が7銘柄を共同開発
(グリーンレポートNo.531、2013年9月)
従来の有機質肥料より価格を1～3割抑制
原料：豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥、食品残渣堆肥

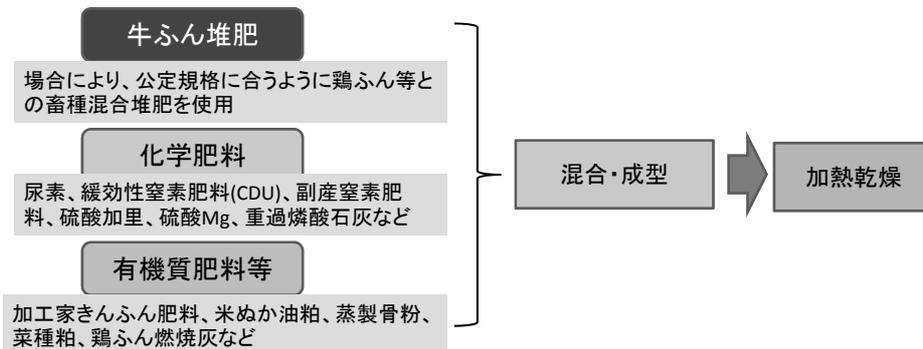
家畜ふん堆肥を原料とする 混合堆肥複合肥料の主な要件 (公定規格)

製品の品質: 全NPK合計10%以上、
造粒or成型後、加熱乾燥すること
有害成分の規制(ヒ素、硫青酸化物、亜硝酸、重金属な
どの最大量)

原料堆肥: 全N2%以上、全NPK合計5%以上、CN比15以下
堆肥の混合割合は乾物で50%以下

農水省委託プロ 「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の 開発(平成27年度～31年度)」

牛ふん堆肥を主原料とする混合堆肥複合肥料の製造・利用技術の開発



本日の講演

- 全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発(岡山県農林水産総合センター)
- 混合堆肥複合肥料の開発経過と製造における課題(朝日工業株式会社)

**家畜ふん堆肥の肥料利用の促進
—堆肥を原料とした肥料の開発(まとめ)—**

窒素肥効の増強

有効肥料成分の明示

堆肥形状の改善

耕種農家保有の施肥機で施用

- 施用量・施用時期の適正化
- 散布労力、コストの削減、広域流通の推進
- 土改材から肥料代替品への意識転換
- 畜産が貴重な国内の肥料鉱山

豚ふん堆肥を原料とした複合肥料の開発

岐阜県農業技術センター 棚橋寿彦

1. はじめに

平成 20 年に見舞われた肥料費高騰は、肥料の使用から生産、販売に携わる者にとってこれまでの考え方を改める大きな出来事であった。肥料費を抑え、適正な施肥を推進する機会となるとともに、輸入に頼った我が国の不安定な肥料供給体制が危惧され、地域の未利用資源の活用を考える機会となった。その中で家畜ふん堆肥の活用は対策の筆頭に挙げられてきた。堆肥には有効な肥料成分が含まれており、これまで厳密な把握が困難とされてきた窒素肥効については実用技術開発事業 18053¹⁾により実用的な評価方法を開発してきた。ただし、肥料的な活用を考えた場合に、家畜ふん堆肥には有効な窒素に比べてリン酸やカリが多く含まれており成分がアンバランスであること、散布の作業性の面でも粉状～塊状であることから一概に肥料的利用といっても課題があるのも実態であった。これを改善するため、成分バランスを調整したくとも法律上は特殊肥料である家畜ふん堆肥と普通肥料は混合することができないとなっていた。そのような中、堆肥と普通肥料を混合造粒する肥料規格「混合堆肥複合肥料」が H24 年に設定された。堆肥を肥料原料として活用することが可能であれば、堆肥が滞留傾向にある畜産農家とすれば出荷先が確保でき、肥料メーカーとしては安価な原料として活用が可能となり、さらにその製品が安価であれば利用する耕種農家にとってもメリットが生じ、今までにはない形態での堆肥利用がすすむこととなる。そこでこれを契機として豚ふん堆肥と普通肥料を混合した肥料を朝日工業(株)、J A 全農岐阜、岐阜県畜産研究所とともに商品化した。本報告では本製品の開発の経緯と、水稻での実用性の評価と養分供給の面から改良等を実施してきたのでその事例を紹介する。

2. 開発の経緯

①原料の選定

開発のターゲットとして、肥料資源として最も高価であり、100%輸入に依存しているリン酸に着目し、肥料価格を低減することを狙った。そのため、リン酸の含量が最も高い畜種である豚ふんの堆肥を選定した。本県の養豚業で堆肥化の主流となりつつある密閉縦型発酵装置（縦型コンボ）による堆肥化方式は、副資材を使用しない場合がほとんどであり、このため肥料成分量が高いものが製造されている（図 1）。

特に今回は本県で生産されるものの中でもリン酸含量が高い、乾物当たり約 10%含む堆肥を原料に選定した。ただし、窒素は 4%含まれているものの、作物生育に有効な可給的窒素は約 1%でありリン酸やカリの含有量に比べて低く、主要な 3 成分を含む肥料としてみた場合は成分のアンバランスさが顕著なも

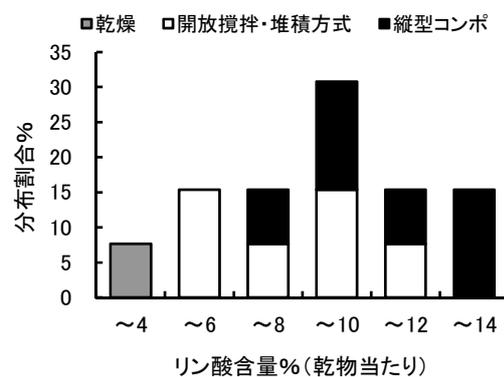


図1 岐阜県における豚ふん堆肥のリン酸含量
(乾物当たり、H22、n=13)

のであった。この堆肥については長期にわたり成分調査をおこなっており、非常に成分が安定していた²⁾(表1)。肥料原料として利用するということは最終の製品として成分量を保証することとなる。このため、成分が安定していることもありこの堆肥を選定した。

密閉縦型発酵方式で製造された

堆肥は粉状であり水分が比較的低いという特徴があり、耕種農家からは散布時の飛散があり利用が敬遠されがちである。しかしながら、この特性は肥料原料として見た場合はむしろ扱いやすいという長所となった。

②製品化のコンセプト

本製品は初めて開発する製品であることから、広範囲に需要が見込める水稻での利用を想定した製品とした。本県では環境に優しい農業を推進するため独自の認証制度「ぎふクリーン農業」を展開しており、化学肥料窒素を30%削減した栽培が県下の水稻作付の約3割を占めている。さらに、50%削減した体系(特別栽培農産物とほぼ同じ)も約1割を占めており、減化学肥料栽培への取り組みが盛んである。そこで、堆肥という有機物を用いることもあり、これらへの利用を想定し開発する肥料は窒素のうち半分を有機質原料由来とした。

また、本県の水田土壌では可給態リン酸が十分な地域が多いものの、加里は減肥できる含量ではない(JA全農岐阜調べ)ため、窒素-リン酸-加里の成分比はリン酸を抑えたV型の成分の肥料とした。

最終的には堆肥を原料に約40%(混合時)使用し、水稻での施肥は側条施肥が主流であるため、これに対応可能な朝日工業(株)のアグレットシリーズで実績のある円形の粒状品とした。

3. 公定規格上の取り扱い

原料とした堆肥には養豚場の浄化槽で発生する凝集剤を使用した汚泥を含んでいるため肥料取締法では特殊肥料の堆肥ではなく汚泥発酵肥料の区分となる。「混合堆肥複合肥料」の規格設定と同時に「混合汚泥複合肥料」での汚泥発酵肥料の使用上限を2割から4割に変更する改正が行われた。そこで、今回開発する肥料は原料が汚泥発酵肥料に区分されることから、「混合汚泥複合肥料」の規格での製品化を進

表1 原料に選定した堆肥の成分変動²⁾より作表

C/N	7.9 ± 0.3	水分 (%)	37.2 ± 2.3
窒素 (%)	4.06 ± 0.15	粗灰分(%)	38.6 ± 1.8
有効窒素(%)	1.05 ± 0.10	ADOM(mg/g)	329 ± 22
リン酸(%)	10.5 ± 0.5	Cu (mg/kg)	522 ± 33
カリ (%)	4.09 ± 0.19	Zn (mg/kg)	1,040 ± 57
石灰 (%)	9.81 ± 0.59	pH	8.8 ± 0.2
苦土 (%)	3.23 ± 0.16	EC(mS/cm)	5.5 ± 0.8

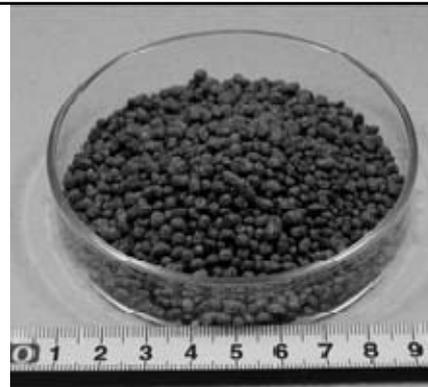
水分、pH(1:10)、EC(1:10)は現物当たり、他は乾物当たり

有効窒素は速効性+緩効性窒素(中央農研¹⁾)

平均値±標準偏差 H21~23 毎月調査 n=22

表2 開発した肥料の主な特徴

- ・商品名「エコレット048」
- ・豚ふん堆肥を約40%使用(原料混合時)
- ・成分 10-4-8%(窒素-リン酸-加里)
- ・窒素の50%は有機質由来
- ・主に水稻での利用を想定
- ・円形のため側条施肥田植機に対応する



めることとした。しかしながらこの規格で使用可能な汚泥発酵肥料はし尿処理場由来のものに限られることを熟知していなかったため製品化が頓挫しかかった。そこで、将来的な規格改正を前提とする「仮登録」を申し入れ H25 年 4 月に認められ流通販売が可能となり、H28 年 2 月に規格改正され本登録となった。

4. 利用方法と効果

①培養時の窒素無機化

開発肥料、既存の有機質由来窒素 50%の肥料、100%有機質肥料の 30℃湛水培養での無機態窒素率は全ての肥料で 98 日目に 75～80%程度であり大きな差はなかった³⁾ (図 2)。スタート時の無機態には尿素を含めていないので試作肥料では 36%であったが、尿素がすぐに無機化するため 1 週間には既存 50%有機態と同等になった。なたね油粕や既存 100%有機態では無機態をほぼ含んでいないため 14 日目までの無機態窒素率は開発肥料や既存 50%有機態と比較して低くなった。このため、開発肥料では無機態窒素供給が温度に関わらず初期から 5 割以上確保され、長期的には窒素成分の 8 割程度の肥効が期待できる。

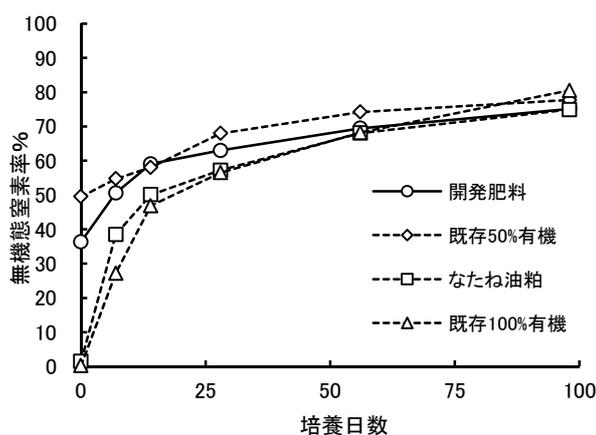
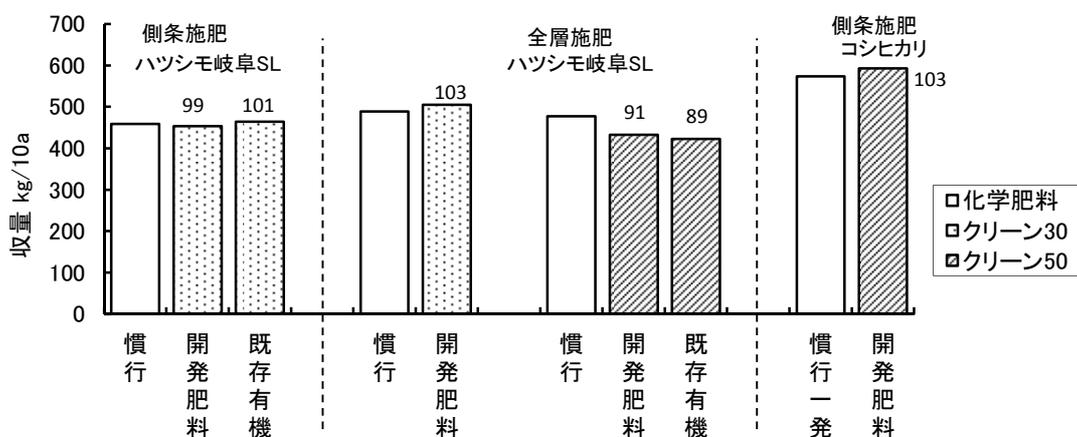


図 2 培養での無機態窒素割合の推移³⁾ (30℃湛水培養)

②利用時の収量

複数年次にわたり、開発肥料を用いた栽培試験を実施してきた。基肥に開発肥料を利用した場合には生育・収量は側条施肥栽培と全層施肥栽培のいずれも慣行の化学肥料栽培と同等の結果が得られている。



クリーン 30: ぎふクリーン農業 30%減区分に適合、基肥に開発肥料を施用
 クリーン 50: ぎふクリーン農業 50%減区分、特別栽培農産物に適合、基肥と穂肥に開発肥料を施用
 既存有機は有機由来窒素割合 50%の既存肥料を開発肥料と同様に使用
 棒グラフ上の数値は慣行区を 100 とした場合の収量指数

図 3 開発肥料を用いた水稻栽培での収量³⁾より作成

また、基肥と穂肥両方で開発肥料を利用した場合には慣行の化学肥料栽培より1割程度減収する場合がみられるが既存の有機態窒素50%の肥料とは同等の結果が得られている³⁾。

一方で、この後に場内などの化学肥料栽培で軽度の硫黄欠乏が見られる場合があった。開発当初は無機態窒素の一部を塩安により配合していたが、硫安に切り替えることで生育良好となり、増収する事例が確認されたので、現在では硫安に切り替えたもので製品化している。

5. 終わりに

本肥料を利用することで「ぎふクリーン農業」や特別表示農産物に適合した栽培ができ、なおかつ堆肥を原料とすることから従来品に比べて安価であることをPRしながら現地での利用が進められている。この点が評価されH28年度の作付けより県内の一部地域で本格導入となり約100tの利用があった。他地域での検討もなされており、今後の更なる利用拡大に期待しているところである。

今回はリン酸含量が約10%と高い堆肥を原料して製品化を行ってきた。現在の肥料規格では堆肥が原料として4~5割まで使用可能であるが、昨今の資材費低減や地域資源の有効活用という観点からみれば、今回のような肥料成分が高い堆肥では自由に普通肥料と混合可能となることが望ましいと考えている。このため、これを可能とする公定規格の設定が必要と考えており、このための取り組みを朝日工業(株)と行っている。

引用文献

- 1) 実用技術開発事業18053 マニュアル編集委員会 2010. 家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル. (独) 農研機構中央農業総合研究センター
- 2) 加藤誠二・棚橋寿彦 2014. 密閉縦型発酵装置による豚ふんの堆肥化時におけるアンモニア回収. 岐阜県畜産研究所研究報告,14,7-18.
- 3) 棚橋寿彦・和田巽・加藤誠二・山田隆史・浅野智孝・見城貴志・田中誠二・北嶋敏和 2016. 豚ふん堆肥の成分と散布性を改善した成型肥料の開発; 第2報: 新肥料規格による粒状肥料の開発と利用, 岐阜県農業技術センター研究報告,16,26-36.

牛ふん堆肥を主原料とした全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発

岡山県農林水産総合センター

農業研究所環境研究室 森次 真一

1. はじめに

2012 年の肥料取締法の改正による公定規格「混合堆肥複合肥料」の新設によって、家畜ふん堆肥と化学肥料等を混合した肥料の製造が可能になり、堆肥の利用拡大だけでなく農作物生産における環境保全型農業の推進や肥料コスト低減対策において新たな展開が期待されている。

言うまでもなく、堆肥には、農作物が健全に生育するための基盤である土壌を良好に保つ様々な効果がある。しかし、集約的な園芸作物の生産現場では、家畜ふん堆肥の過剰施用により土壌中の肥料養分の過剰蓄積が頻繁にみられる。一方、土地利用型作物生産では散布労力の不足から堆肥施用量が減少し、地力の低下が懸念されるなど、生産現場では家畜ふん堆肥の利用促進に向けた課題が散見される。

「混合堆肥複合肥料」は、家畜ふん堆肥のメリットを活かしながら、散布性や肥料成分の偏り等の欠点を改善した肥料として期待され、これまでに数社の肥料メーカーから市販されている。当センターでは、さらなる家畜ふん堆肥の利用促進や作物生産現場のニーズに応じた肥料の開発を目的として、混合堆肥複合肥料の窒素肥効や製造条件等の基礎研究に取り組み、2015 年度からは農水省の委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発」において、土づくりと施肥作業の省力化が図れる全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発を試みており、途中経過を含めてこれまでの取り組みを紹介する。

2. 混合堆肥複合肥料の設計に係る基礎的知見の収集

(1) 混合堆肥複合肥料の試作と用途別原料設計の目安

混合堆肥複合肥料の原料設計（使用する原料の種類やその混合割合）について基礎的な知見を得ることを目的として、牛ふん主体の畜種混合堆肥または鶏ふん堆肥を主原料にした混合堆肥複合肥料を試作し、造粒歩留まりや固結・膨化の有無、肥料成分等を調査した。試作にあたっては、耕種農家のニーズに合うように、原料にする有機質肥料の混合割合の違いや緩効性窒素肥料の有無等により 5 タイプ（有機化成型 I 及び II、特別栽培型、緩効型、有機物補給型）に分類し、原料設計を行った。試作は、ローラー・ディスクダイ方式の小規模造粒成型機を用いて、3mm または 5mm 径のペレット肥料を製造した。造粒後は、通風乾燥機（90℃）で加熱乾燥した。なお、堆肥の混合割合は、乾物重量で公定規格の上限の 5 割とした。

その結果、有機化成型 I、II（全窒素含量に占める有機物由来窒素含量の割合が

50%未満)は、窒素原料として安価な尿素を混合する場合、尿素の混合割合を乾物重量割合で10%程度以上にするとペレットに固結や膨化がみられたが、尿素の混合割合を5%とし、硫安や菜種油粕を併用した場合には実用上問題となるような固結や膨化はみられなかった。また、三要素の成分バランスは、水平型、谷型(低P)、下がり型(低PK)の製造が可能であった。

特別栽培型(全窒素含量に占める有機物由来窒素含量の割合が50%以上)では、原料として菜種油粕やひまし油粕を混合した場合、ペレット成型に問題はみられなかった。

緩効型(窒素原料としてIB窒素、スーパーIB等を混合)については、IB窒素は乾物重量割合で50%まで混合しても固結や膨化はみられなかったが、割合が高まるにつれて造粒歩留が低下した。スーパーIBは、本来はIB窒素よりも緩効的な窒素肥効を示すが、後述するようにIB窒素と大きな差がみられなかったことから、造粒時にスーパーIBの肥料粒が崩壊する可能性が考えられた。

有機物補給型では、土づくりを主目的としており、硫マグやFTEの混合が可能であった。土づくりのためには多量施用が必要となるため、NPKともに低成分が望ましいが、公定規格上3成分の合計量が10%以上になる必要があるため、含有する窒素成分は4~5%程度が望ましいと考えられた。

以上の試作結果等を基にして、用途別の肥料設計の目安や留意点について表1に整理した。

表1 用途別の肥料設計の目安

用途区分	全窒素含量に占める有機物由来窒素の割合(%)	主な窒素原料	出来上がり肥料の窒素成分(目安)	ニーズに応じた対応
有機化成I型	~20%	尿素、硫安等	7~11%	・三要素バランスの調整(水平型・谷型・下がり型)
〃 II型	20~50%	尿素、硫安等 有機質肥料	6~10%	・肥料コスト低減のための安価な原料(ひまし油粕、鶏ふん燃焼灰)を使用
特別栽培型	50%以上	有機質肥料	5~8%	・土壌に不足気味の苦土(硫マグ等)、微量元素(FTE等)の混合
緩効型	—	IB窒素等	8~17%	・有機物補給型は牛ふん主体の堆肥を使用
有機物補給型	—	尿素、硫安等 有機質肥料	4~5%	

(留意事項)

- ①尿素の混合割合が高まると乾燥後に「肥料の膨化」、「表面の亀裂」が発生しやすい。
尿素の混合割合の上限は、混合する化学肥料が尿素のみの場合は乾物重量割合10%、尿素以外にも化学肥料を混合する場合は5%である。
- ②硫安混合時はアンモニア揮散防止のため、肥料pHに注意する。
鶏ふん燃焼灰等のアルカリ性肥料を同時に混合する場合は、過石等で中和する。
- ③IB窒素を混合すると製造歩留まりが低下しやすい。
- ④ペレット製造はローラー・ディスクダイ方式

(2) 混合堆肥複合肥料の窒素肥効

前項で試作した肥料を供試して、瓶培養法により混合堆肥複合肥料の窒素無機化特性を調査した。つまり、培養瓶に土壌と試作したペレット状の混合堆肥複合肥料を混合して、畑条件（10℃、30℃）及び湛水条件（15℃、30℃）下で温度別に一定期間培養し、肥料の窒素無機化率を測定した。さらに、温度別の窒素無機化率を基にして反応速度論的解析により窒素無機化特性値を算出し、岡山市の畑及び水田の地温を用いて窒素無機化パターンを推定した。

その結果、畑条件下における窒素無機化パターンは、混合する窒素原料やその混合割合によって異なり（図1）、4月施用を想定した場合、約1週間～約2か月間程度の肥効を調節した原料設計が可能と考えられた。最大無機化率は、有機物由来窒素の混合割合の増加にともない低下した。無機化速度は、IB窒素を混合した緩効型及び有機物補給型で他よりも緩やかであった。緩効型では、スーパーIB粒を混合した肥料は、IB窒素を混合した場合と同様の無機化特性を示したことから、ペレット造粒時にスーパーIBの肥料粒が崩壊した可能性が示唆され、粒径の大きい緩効性窒素肥料を混合する場合は本来の窒素肥効が発現しない可能性が懸念された（データ省略）。また、湛水条件下では、水稻の基肥利用を想定した場合、約1～6週間程度の肥効を調節した混合堆肥複合肥料の設計が可能と考えられた（データ省略）。

以上の結果から、混合堆肥複合肥料は、混合する原料によって様々な窒素肥効を示すことが明らかとなり、窒素肥効を調節した混合堆肥複合肥料が製造できる可能性が示唆された。

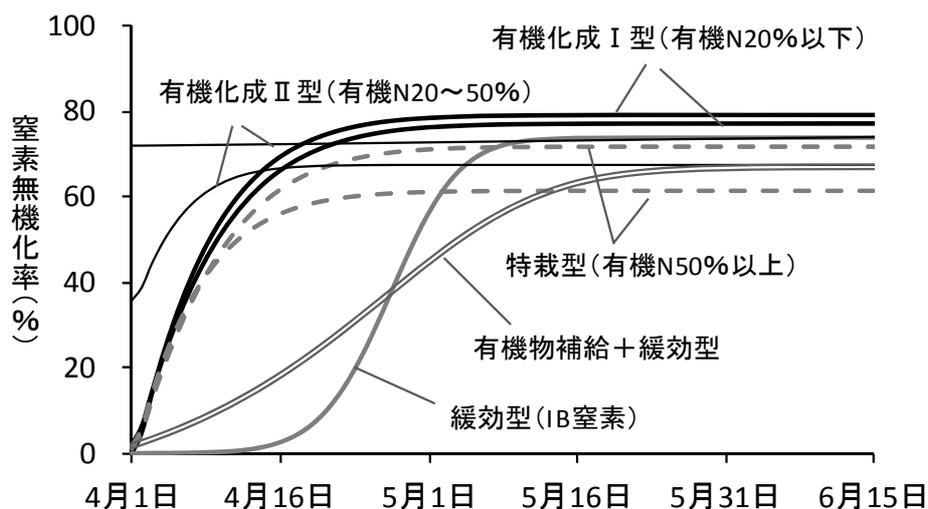


図1 畑条件下での混合堆肥複合肥料の窒素無機化パターン

※岡山市で4月1日に施肥した場合

3. 夏まきキャベツ栽培向けの全量基肥用混合堆肥複合肥料の開発に向けた取り組み

(1) 混合堆肥複合肥料の設計と試作

岡山県南部のキャベツ産地では、散布労力の不足により、堆肥が施用されていない圃場が多く、地力の低下が危惧されてきた。近年の土壌調査結果から、可給態リン酸が過剰である一方で、交換性苦土、ホウ素が不足している実態が明らかとなり、施肥改善が必要である。また、夏まき作型の施肥体系では9月中旬が追肥時期となるが、台風や秋雨の影響で適期に追肥作業が実施できない場合があり、安定して養分を供給するためには緩効性窒素肥料の基肥利用が考えられ、これによって追肥作業の省力化も図ることができる。

そこで、2015年度から、有機物補給効果の大きい牛ふん堆肥を主原料とした全量基肥用の混合堆肥複合肥料の開発に取り組んだ。原料堆肥は、牛ふん主体の畜種混合堆肥（牛ふん 50%+鶏ふん 25%+豚ふん尿 25%、副資材は戻し堆肥。1次発酵 [10日] →2次発酵 [30日] →3次発酵 [約 120-150日]。水分 32%、TN2.6 乾物%、C/N14。4mm>に篩別）を乾物で約5割混合して、5mm径のペレット状の混合堆肥複合肥料を試作した。堆肥の他には、窒素質肥料として尿素と緩効性肥料、土壌中に不足気味な苦土、ホウ素肥料等を原料として混合した。なお、耕種農家の散布労力の面から施用量を 250kg/10a と想定し、慣行の窒素施肥量から逆算し、窒素含量が 10% となるように設計した。また、生産現場では土壌中のリン酸が過剰であるため、リン酸は低成分とした。緩効性肥料には、造粒時の変性の危険性を考慮して、予備調査結果から、粒径が小さく肥効期間が比較的長いハイパーCDUを使用した。

前述の小規模造粒成型機を用いて試作したところ、加熱乾燥後にペレット表面の亀裂がみられ若干の改良の余地があるものの、散布可能な混合堆肥複合肥料が製造できた。そして、前項と同様にして瓶培養法により試作肥料の窒素無機化特性を調査し、夏まきキャベツ栽培期間の地温を用いて窒素肥効を推定したところ、図2に示した緩効的な窒素肥効が確認できた。

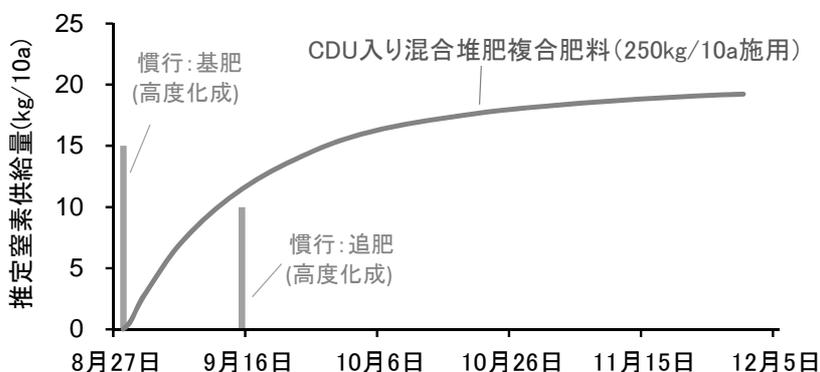


図2 試作したCDU入り混合堆肥複合肥料の推定窒素肥効パターン

注)キャベツの夏まき作型を想定した。

参考として図中に慣行の分施肥体系の窒素施肥量を施肥時期別に示した。

(2) 夏まきキャベツ栽培での施用効果 (2015年)

試作した混合堆肥複合肥料の施用効果をみるため、当センター内の圃場で夏まきキャベツの栽培試験を実施した。栽培試験は、以下に示すように、高度化成肥料あるいは有機化成肥料の分施肥体系を対照として、全量基肥施肥した試作肥料のキャベツに対する施用効果を見た。

- 1) 土壌条件 中粒質台地褐色森林土
- 2) 供試品種 彩ひかり
- 3) 試験区の構成と実験計画 3反復乱塊法(1区18㎡)

試験区名	上段: 肥料の種類と施用量(kg/10a) 下段: 三要素成分施肥量(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/10a)			土づくり資材 (kg/10a)
	基肥	追肥	計	
(全基) CDU入り混堆	(試作) 混合堆肥複合肥料250 25-14-24	—	25-14-24	
(分施) 化成	高度化成94 15-15-15	高度化成94 10-10-10	25-25-25	
(分施) 化成+苦土石灰	〃	〃	〃	苦土石灰120
(分施) 化成+苦土石灰+堆肥	〃	〃	〃	牛ふん堆肥2,000 苦土石灰120
(分施) 有機化成	有機化成150 15-12-15	有機化成100 10-8-10	25-20-25	

4) 耕種概要

堆肥施用8月4日、苦土石灰8月6日、基肥8月28日、追肥9月15日
定植9月2日(条間60cm, 株間35cm, 1条植え)、中耕9月15日、収量調査11月30日

その結果、キャベツの生育、収量(図3)及び結球部の形質において、CDU入り混堆区は分施肥体系と同等の値を示し、混合堆肥複合肥料による全量基肥施肥栽培の可能性が示唆された。

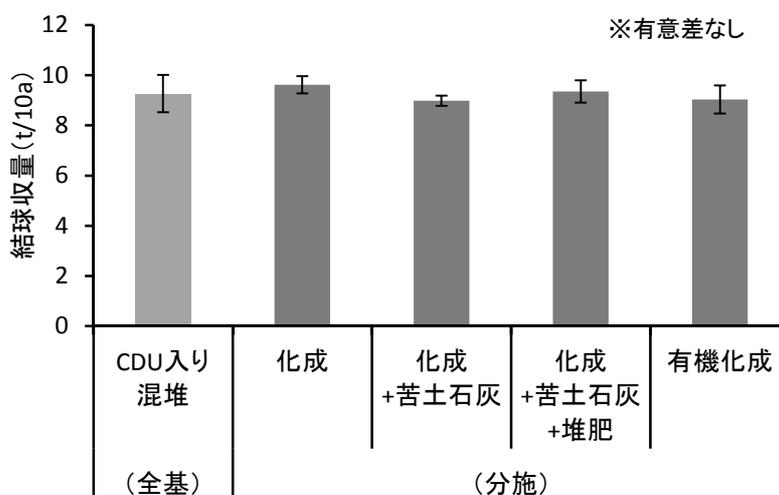


図3 キャベツの結球収量(2015年作, センター内圃場)

4. おわりに

今回紹介した夏まきキャベツ栽培用の混合堆肥複合肥料の成型具合を改善するために原料設計を若干変更し、肥料メーカーの工場で試験製造したところ、ペレットの物性は良好であった。2016年6月に肥料登録され、生産現地での実証試験を開始したところである。今後、施用効果の年次変動や土づくり効果、保存性、施肥作業の省力化を含めた施肥コストの評価、販売方針等の検討を進めていく予定である。緩効性窒素肥料を混合した新たな混合堆肥複合肥料の開発により、家畜ふん堆肥の利用拡大とともに耕種農家の収益力や作物生産力の向上につながることを期待したい。

混合堆肥複合肥料の開発経過と製造における課題

朝日工業株式会社 開発部 肥料開発課
見城 貴志

背景

平成 20 年以降の肥料価格の変動は、現在の農業経営に非常に大きな影響を与えている。そのため、農業経営に大きな影響を与える肥料や農薬等の資材の低コストは緊急の課題である。今後の化石資源の枯渇問題を考えると、肥料原料として国内外で発生している有機資源や未利用資源を活用していくことは重要であると考えられる。また、高成分の有機資源として利用されているフェザーミールや菜種粕等は、海外に依存している点や飼料との競合があるため、今後、肥料原料としての供給量や価格の変動に不安がある。そのため、国内で発生している未利用の有機資源には高い価値があると考えられるが、その利用には様々な課題が残っている。

肥料成分や炭素源を多く含む堆肥は、既に特殊肥料として農業現場で利用されているが、品質やハンドリング、臭気の問題から、その利用は制限されてきた。一方、堆肥は普通肥料の原料として使用することはできなかつたため（加工家きん糞肥料を除く）、その利用には多くの課題があった。この制限は、平成 24 年 9 月に新設された「混合堆肥複合肥料」、「混合汚泥複合肥料」の規格の新設によって解除された。「混合堆肥複合肥料」の規格では、一定の成分含量を有する家畜ふん堆肥および食品由来堆肥を乾物として 50%以下の割合で普通肥料と混合することが可能となった（図 1）。また、その製造方法には成型、加熱乾燥することが条件として示されており、雑草種子や有害微生物の混入を防ぐことができることに特徴がある。これらの規格は一定の品質の堆肥を肥料原料に使用することを可能とし、今後、堆肥の利用促進や肥料の低コスト化に貢献していくと期待される。

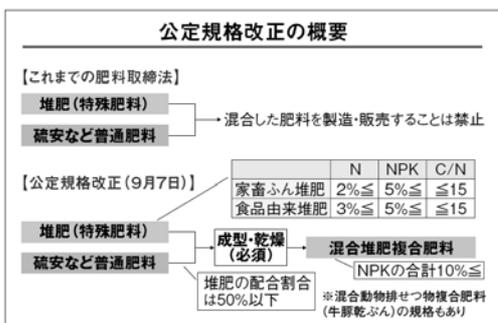


図 1. 公定規格改正の概要

図 2. 縦型密封型堆肥化装置

堆肥を肥料原料として扱う技術

堆肥は、様々な設備で製造されることや異なる副資材の使用、保管条件により、年間を通じて一定の品質の堆肥を得ることは簡単ではないと言える。肥料原料として使用するためには、一定の物性や水分等の化学性を有する堆肥を確保する必要がある。副資材として使用される籾殻やおが屑は、使用割合によっては肥料の成型性に影響を及ぼし、成型できる肥料の形状を制限してしまうことがある。堆肥を肥料原料として使用するために、豚ふ

ん堆肥と鶏ふん堆肥を対象に、異なる堆肥化方式で製造された堆肥の肥料化を検討した。検討の結果、様々な堆肥化方式の中で、副資材の使用が少ない縦型密封型堆肥化装置(図2)で製造されたものに限定することで、年間を通じて水分や成分変動の少ない最適な堆肥を原料として使用することが可能になった。また、堆肥化方式を限定しても、年間の水分の変動は高く、製造に適した原料とするためには製造現場での工夫が必要である。その工夫の一つとして、原料として使用する前に、専用の堆肥2次保管ヤード(図3)において、一定期間の保管を行なうことで品質をより均一化させる処理を行なっている。この処理は非常に重要な工程であり、一定水分の堆肥を使用することができるため、製造の安定化を図ることができる。また、農業現場で問題となる臭気等を軽減する効果もあり、このような処理なしに、未利用資源である堆肥を有効に活用することはできないと考えられる。

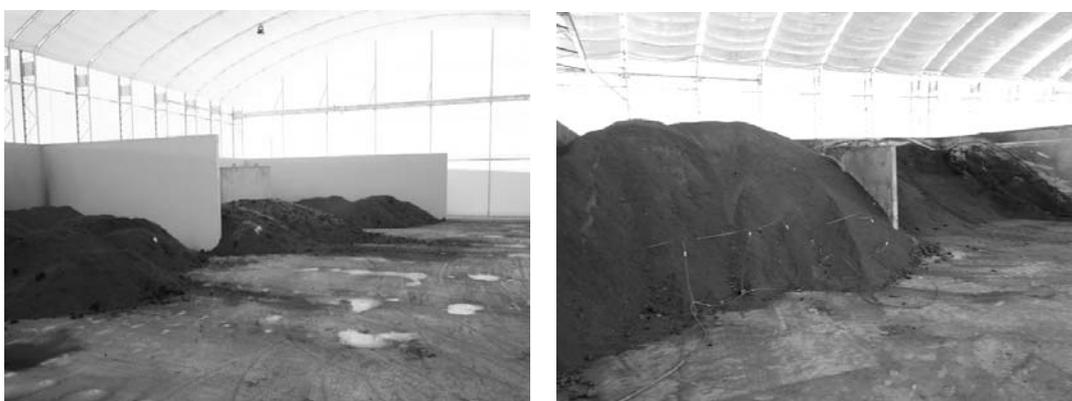


図3. 堆肥専用の2次保管ヤード

混合堆肥複合肥料「エコレット」について

エコレットは「混合堆肥複合肥料」の規格改正を受けて、JA 全農、各県研究機関と共同開発した堆肥の利用促進を図れる新しい資源循環型の肥料として開発された。現在は、関東、関西を中心に販売を実施している。形状は粒状「エコレット」、ペレット状「エコペレット」があり、成分についても多くのパターンを有する(図4, 5, 6)。



図4. エコレットの形状

No.	銘柄名	供給エリア	形状	成分(%)			特徴
				TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	エコレット055号	東北・関東	アグレット	10	5	5	豚ぶん堆肥
2	エコレット808号	東北・関東	アグレット	8	10	8	豚ぶん堆肥
3	エコレット553号	東北・関東	アグレット	5	5	3	豚ぶん堆肥
4	エコレットG18号	東北・関東	アグレット	10	11	8	豚ぶん堆肥、特裁向け
5	エコレット866号	東北・関東	アグレット	8	6	6	豚ぶん堆肥、特裁向け
6	エコレット オール10	東北・関東	アグレット	10	10	10	豚ぶん堆肥
7	エコレット200号	東北・関東	アグレット	12	10	8	豚ぶん堆肥、高窒素タイプ、微量要素入り
8	エコレット055号	埼玉	pellets	10	5	5	鶏糞堆肥、埼玉県食品残渣使用
9	エコレット一発257	関東	BB配合	20	15	7	一発(アグロコート使用)
10	飼料米344	東北・関東	BB配合	30	4	4	一発(アグロコート使用)
11	エコレットこんにやく一発	関東	BB配合	10	5	15	一発(アグロコート使用)
12	ロングランナー020	関東	BB配合	10	12	10	一発(アグロコート、輸入S604、エコレット)
13	エコレット048号	北陸・東海・近畿	アグレット	10	4	8	豚ぶん堆肥、低P、特裁向け
14	エコレット266号	中部・関西エリア	ブリケット	12	6	6	豚ぶん堆肥、低PK
15	エコレット553号特号	北陸・東海・近畿	アグレット	5	5	3	鶏糞・豚糞堆肥、腐植酸、Mg1%含有、特裁向け
16	エコレット858号	北陸・東海・近畿	ブリケット	8	5	8	豚ぶん堆肥、硫酸加里入り、汎用タイプ
17	堆肥三昧	三重	ブリケット	12	14	12	牛・豚・鶏糞堆肥、県内循環、Mg2%含有
18	エコレット288号	滋賀	ブリケット	12	8	8	豚ぶん堆肥、県内循環、Mg2、Mn0.4、B0.2
19	新ゆめまる野菜有機	滋賀(JA北びわこ)	ブリケット	12	8	8	同上。JA専用銘柄。
20	エコレット332号	北陸・東海・近畿	ブリケット	3	13	12	鶏糞堆肥、大豆用(仮包装・展示用中)、Mg2

図 5. 販売銘柄一覧 (平成 28 年度現在)

注：販売県によって取り扱い銘柄が異なります。お問い合わせは下記までお願いいたします。朝日工業株式会社 開発部 TEL(0274)52-3100



図 6. 肥料袋 (銘柄の一部)

混合堆肥複合肥料「エコレット」の今後

混合堆肥複合肥料の規格の新設によって、肥料原料として畜産、食品残渣堆肥の堆肥が利用できるようになった。肥料原料として堆肥を利用するためには、品質の安定化や臭気の問題等、取り扱いに課題はあるが、この規格の新設により、堆肥の利用は促進されると考えられる。一方、国内の堆肥の発生量は多く、更なる利用方法を確立する必要もあると考えられる。肥料原料として利用を増加するためには、発酵方式や投入する副資材の種類によって堆肥を限定することだけでなく、2次堆積処理等、品質を安定化させる技術や施設を、研究機関や農家、製造メーカーがそれぞれ検討していく必要がある。今後、より安定的な生産が可能となる堆肥の製造方法が確立されれば、多くの企業が利用を拡大し、肥料原料としての利用量は増加していくと考えられる。

未利用資源の利用は、資材を低コスト化する効果的な方法であるが、それを取り扱うためには多くの課題を解決する必要がある。課題を解決することは容易ではないが、未利用資源を利用した資材が増加することは、国内外の持続的な農業生産にとって重要であると考えられる。

畜産環境に関する研究動向

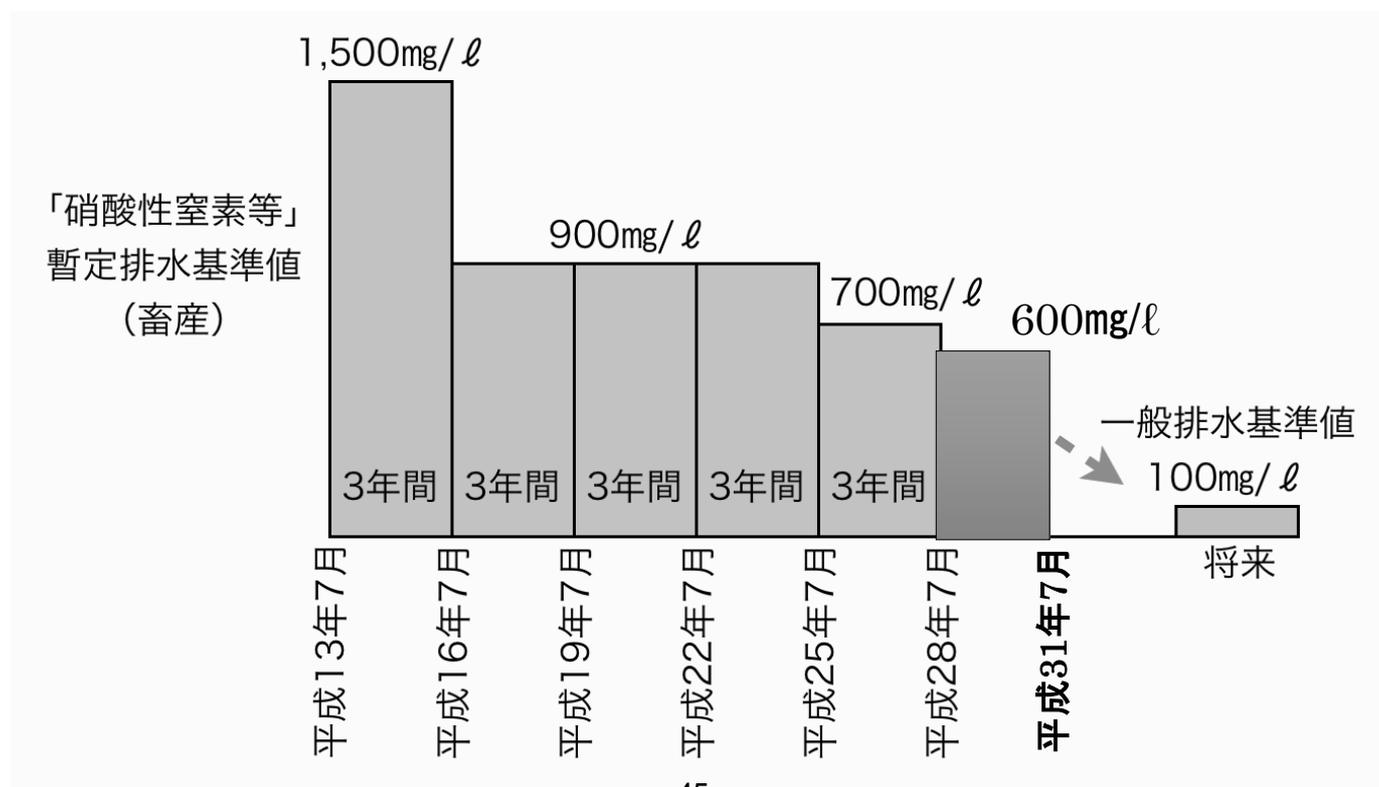
畜産排水規制の動向と 技術対応の展望

平成28年11月11日

一般財団法人畜産環境整備機構
畜産環境技術研究所 田中康男

1

畜産に対する硝酸性窒素等の暫定 排水基準値の推移



硝酸性窒素等とは

- ・正式な名称は「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」
- ・硝酸性窒素等や硝酸性窒素類と略している
- ・下記の計算式で求める

アンモニア性窒素 × 0.4 + 硝酸性窒素 +
亜硝酸性窒素

平成28年の硝酸性窒素等
暫定規制値見直しの経過

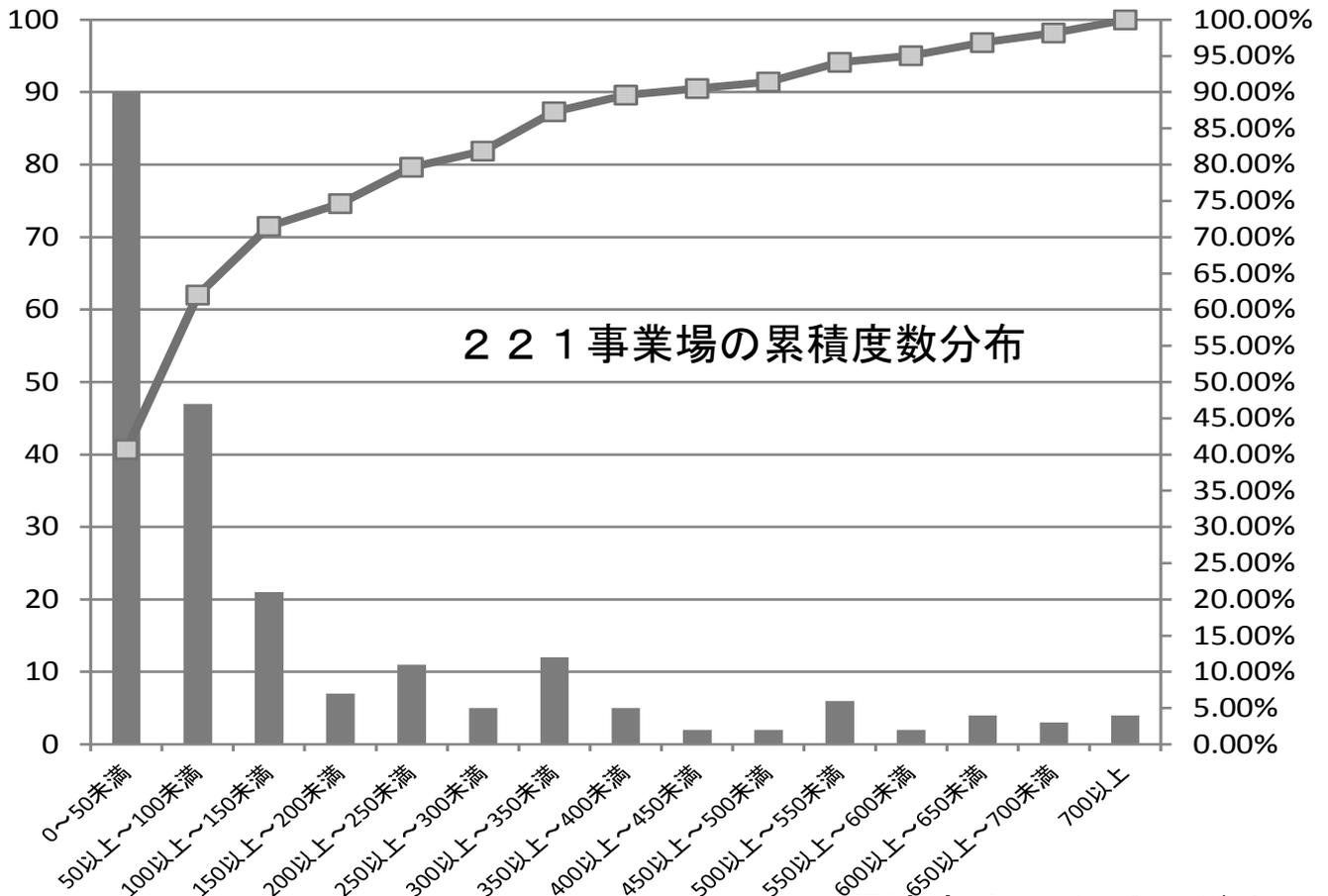
表3 測定結果の収集結果

収集結果		事業場数	割合 (%)
H23～H27 年度までに収集できた全事業場数		681	—
硝酸性窒素等濃度	100mg/L 未満	477	70.0
	100mg/L 以上	204	30.0
	うち 100mg/L 以上 500mg/L 未満	182	26.7
	うち 500mg/L 以上	22	3.2

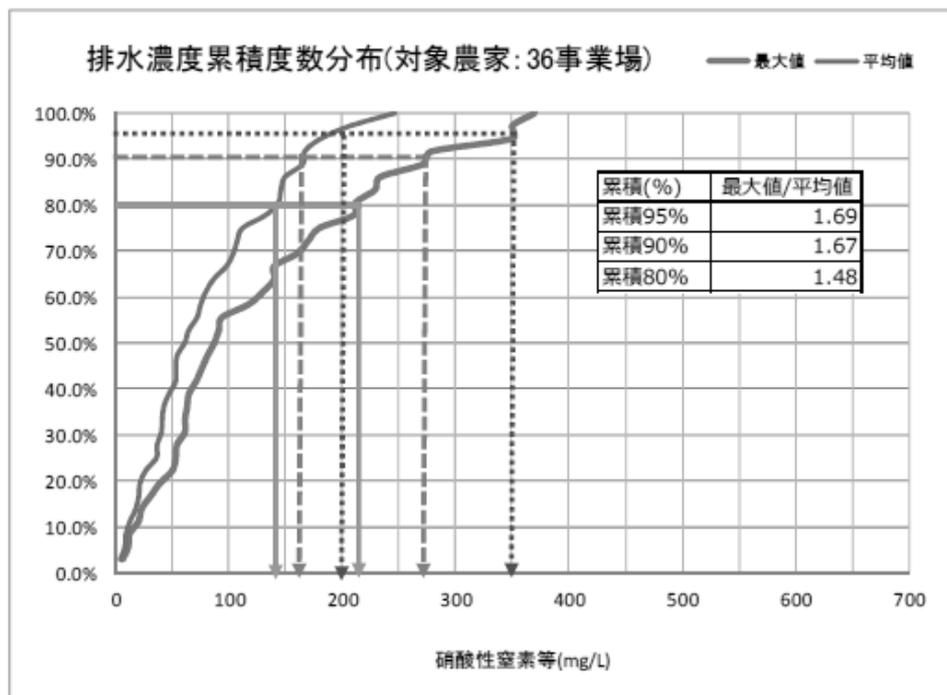
環境省ホームページより

H25		H26		H27		高濃度の原因
平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	
444	721	57	57			排水処理施設の不具合
142	210	364	644	132	180	—
234	680	126	320	107	140	—
237	680	55	150	8	8	排水処理施設の管理不調
100	170	520	520	159	159	不明
512	512					不明 (指導中)
559	559					不明 (指導中)
297	297	610	1,160	142	271	—
630	630	640	640	9	9	排水処理施設の管理不調
660	660					不明 (過去データ 170～490)

環境省ホームページより



環境省ホームページより



※1：平均値及び最大値のグラフは年間の排水濃度測定を複数回行っている36事業場のデータをを用いて作成している。

※2：本分布図は、調査対象事業場数が限られており、測定対象期間も平成25~27年の3カ年であることから、畜産事業場からの排出実態を把握するための根拠データとしては用いていない。

環境省ホームページより

2016年の暫定規制見直し状況

業種	今回の見直し
畜産農業	700→600
電気めっき業	300→一般(100)
貴金属製造・再生業	3000→2900
酸化コバルト製造業	160→160
ジルコニウム化合物製造業	700→700
モリブデン化合物製造業	1700→1500
バナジウム化合物製造業	1700→1650
下水道業(モリブデン、ジルコニウム化合物製造業排水を受け入れているもの)	150→130

規制強化に向けた見方

- ・ 調査資料によればすでに6～7割の農家は100をクリアーしている。よって高い暫定値の設定は努力した農家に対して不公平である。
- ・ 畜産汚水処理の技術上の問題点はすでに十分把握されてきているはずである。それなのになぜ改善が進んでいないのか理解できない。

規制強化に慎重な見方

- ・ 累積度数分布で100をクリアーするデータが多いのは事実だが、年1回のサンプルでの分布なので、年間を通じて100をクリアーできる農家が多いということを必ずしも示すものとは言えないのでは。
- ・ 養豚排水の性状は農家間の相違が大きく、また、個々の農家での季節変動が激しい。さらに、設置時期が規制導入前と後では設計思想が大きく異なる。このため、一律での強化には無理があるのでは。

5. 今後の排出濃度低減に向けた取組について

平成23年から施行された改正水質汚濁防止法により、特定事業場については年1回の排出水の汚染状態の測定が義務づけられており、今回の見直しにあたって自治体の環境部局から測定結果の収集を行ったが、排出実態が十分に把握できない事業場も見受けられた。また、業界団体を通じて、会員農家の排水実態（排水濃度分布）を収集したところ、自治体が把握しきれていない排出実態も見受けられた。これまでの検討会においても、排水濃度の低減のためには、各事業場における排出実態を十分に把握し、高濃度の排出実態が見られる事業場については、指導等により排水管理への意識向上を図り、排水処理施設の適切な運転管理を徹底していくことが必要との指摘を受けており、今後は、自治体と業界団体を通じて、排出水の汚染状態の測定及びその結果に基づく排水処理施設の適正な維持管理の一層の徹底が図られるよう、啓発の強化を行うことが有効である。

水質汚濁防止法の自主測定義務

- 1年に1回以上行うこと。
- 汚染状態が最も悪いと推定される時期及び時刻に行うこと。
- 計量証明事業者に分析を依頼する。
- 自主測定の不実施、結果未記録、虚偽記録、または記録非保存の場合は30万円以下の罰金。

今後やるべきこと

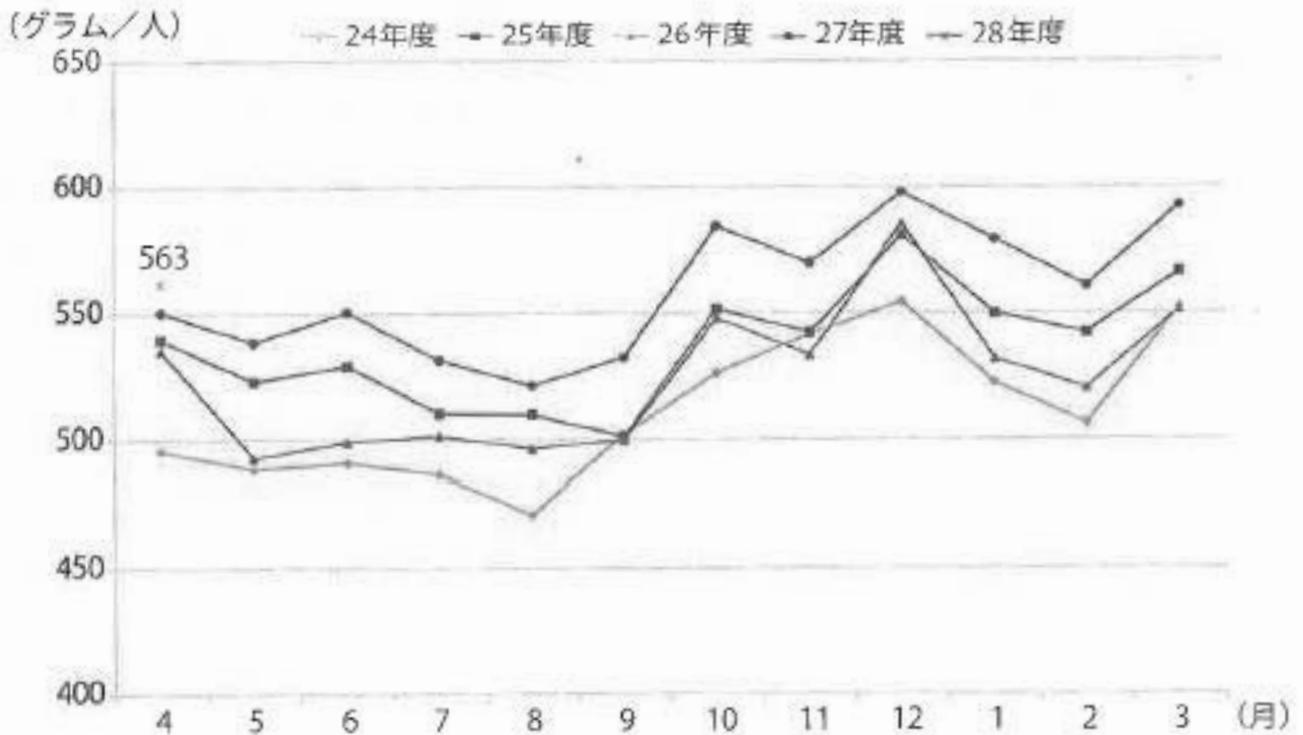
- 暫定規制の見直しを行う上では客観的な状況把握が不可欠。
- このため、行政と業界のそれぞれが状況把握に努めることが必要。
- 自主測定義務遵守の徹底が望まれる。

適正な維持管理がなぜ難しいのか

発生汚水は千差万別

飼養の季節変動

図2 全国一人1カ月当たりの豚肉購入数量の推移



「畜産の情報」2016年7月（農畜産業振興機構）

豚舎でのふん性状と分離状況



汚水

固形物



スクレーパーの稼働頻度、設備の状態、洗浄水量、遊び水量、飼料性状(マッシュ、クランブル等)が発生汚水の質に影響する。

希釈水の有無

処理施設の仕様で希釈を前提としたものもある。希釈の是非は別として、希釈の有無によって窒素対応の難易度は大きく異なる。

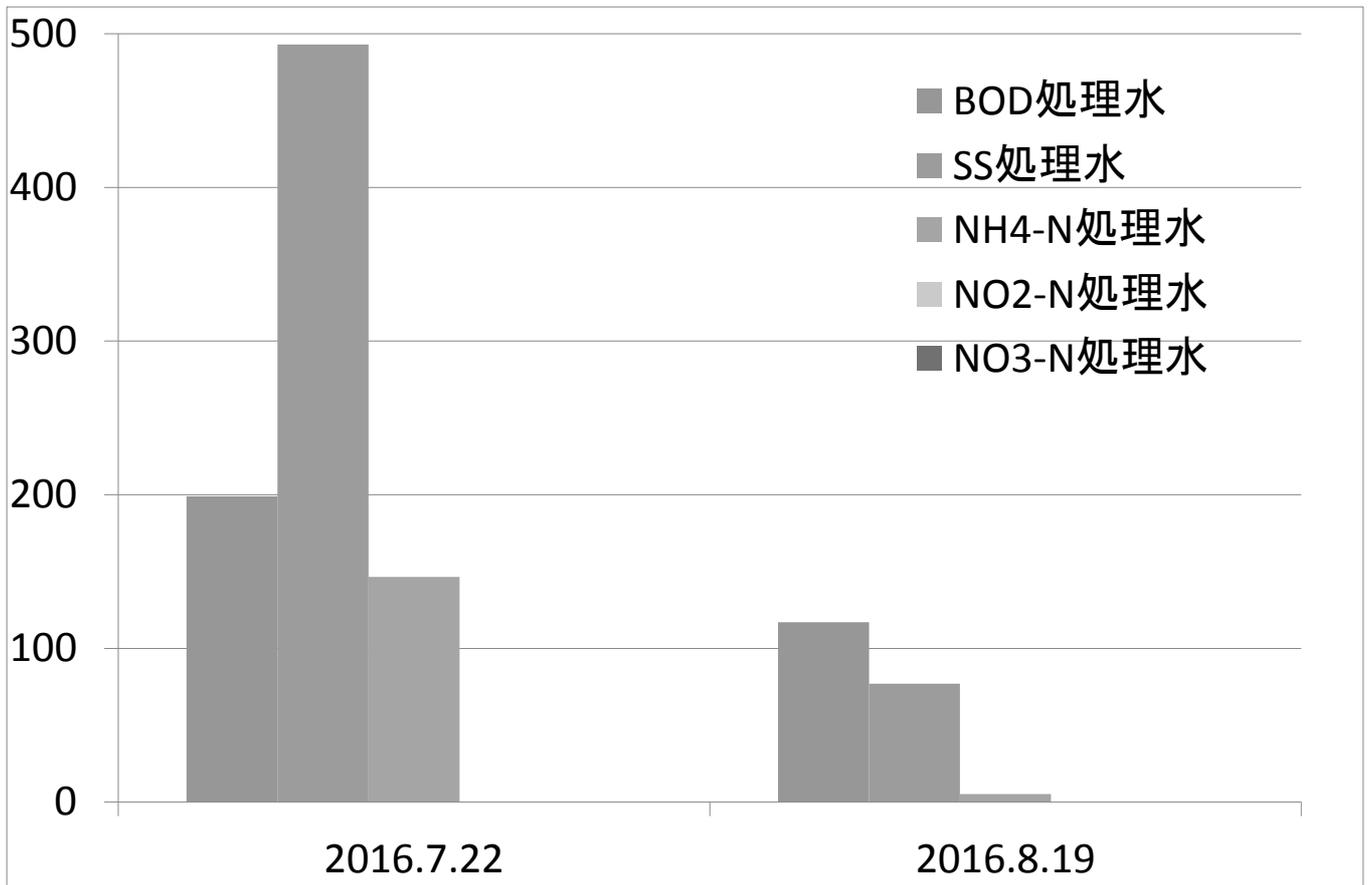
処理施設の仕様は千差万別

その上

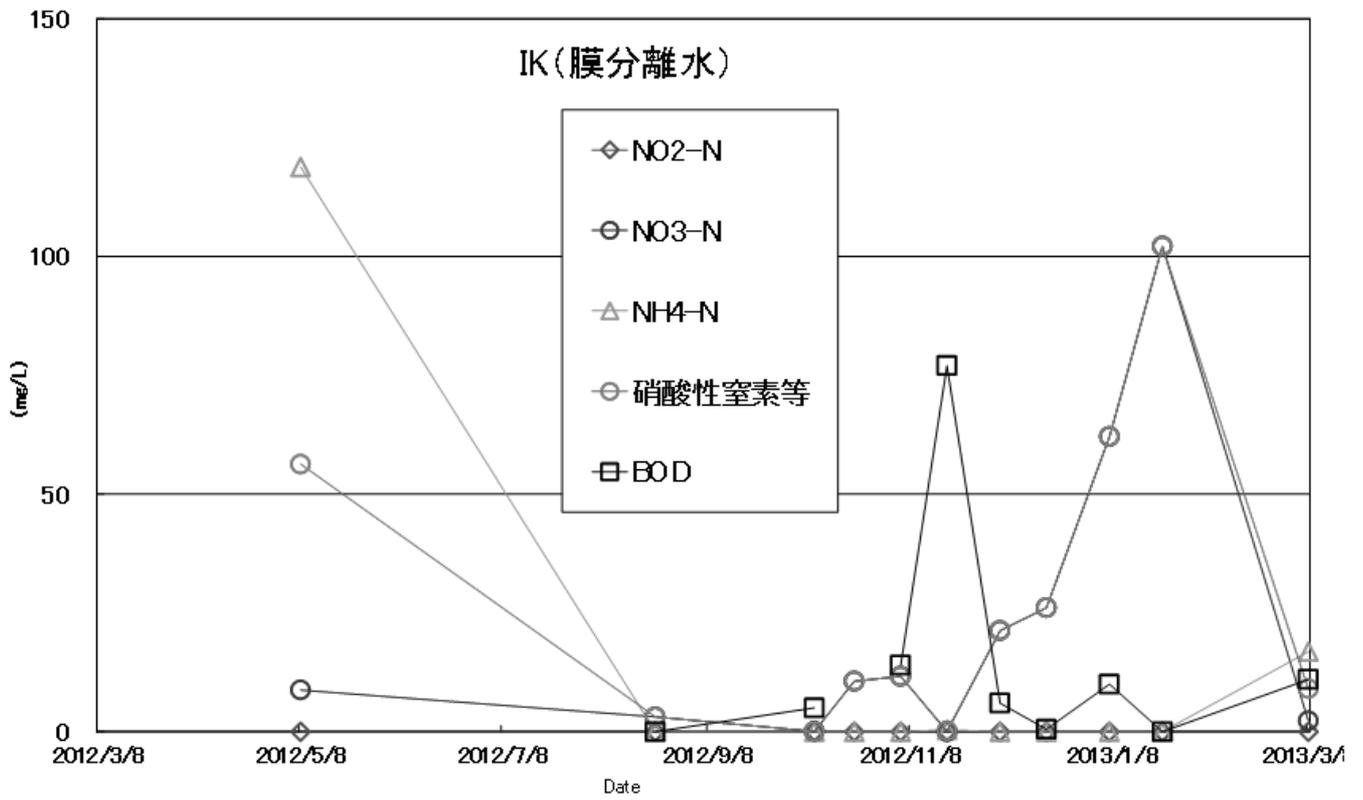
突発的なトラブルは日常茶飯事



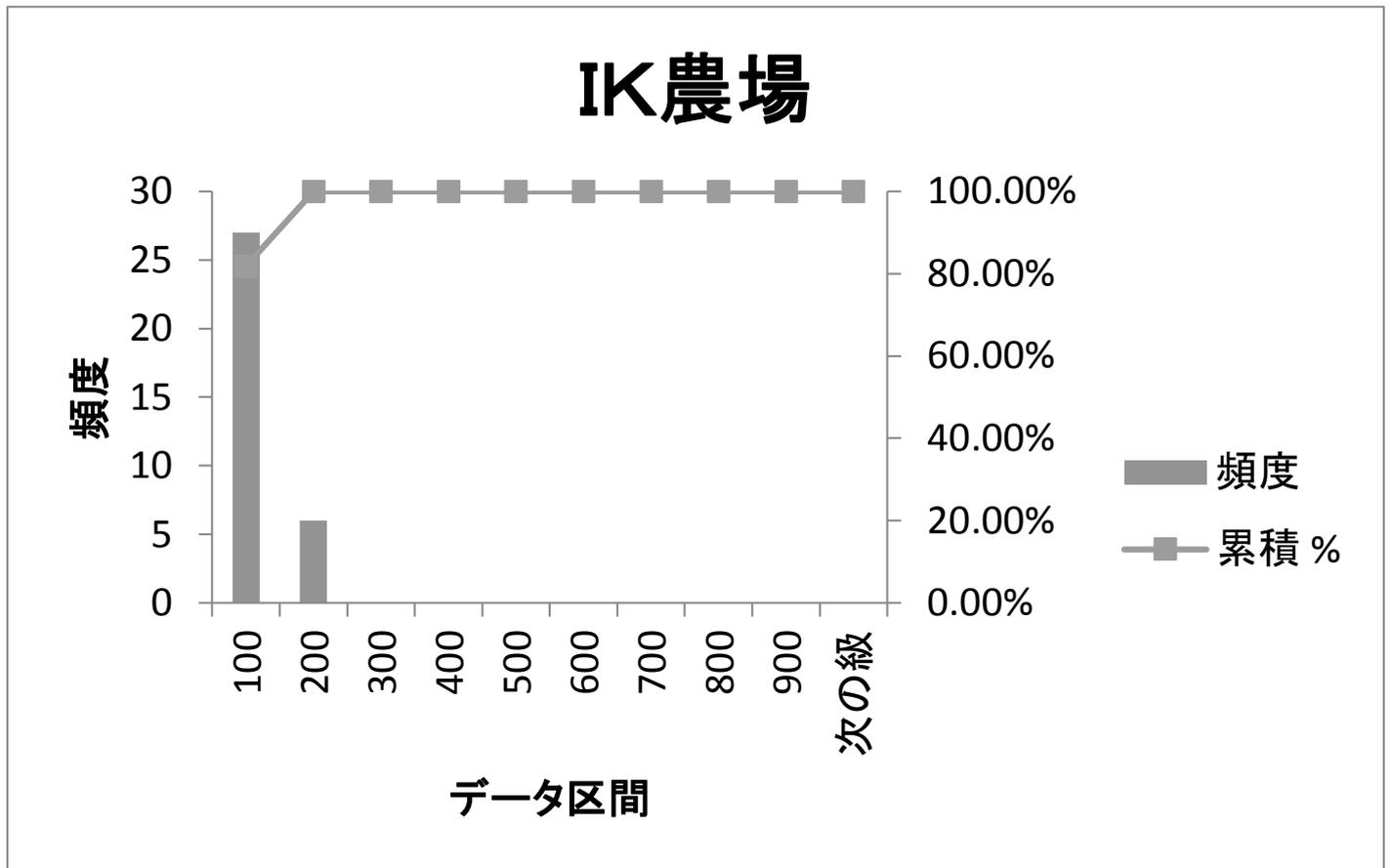


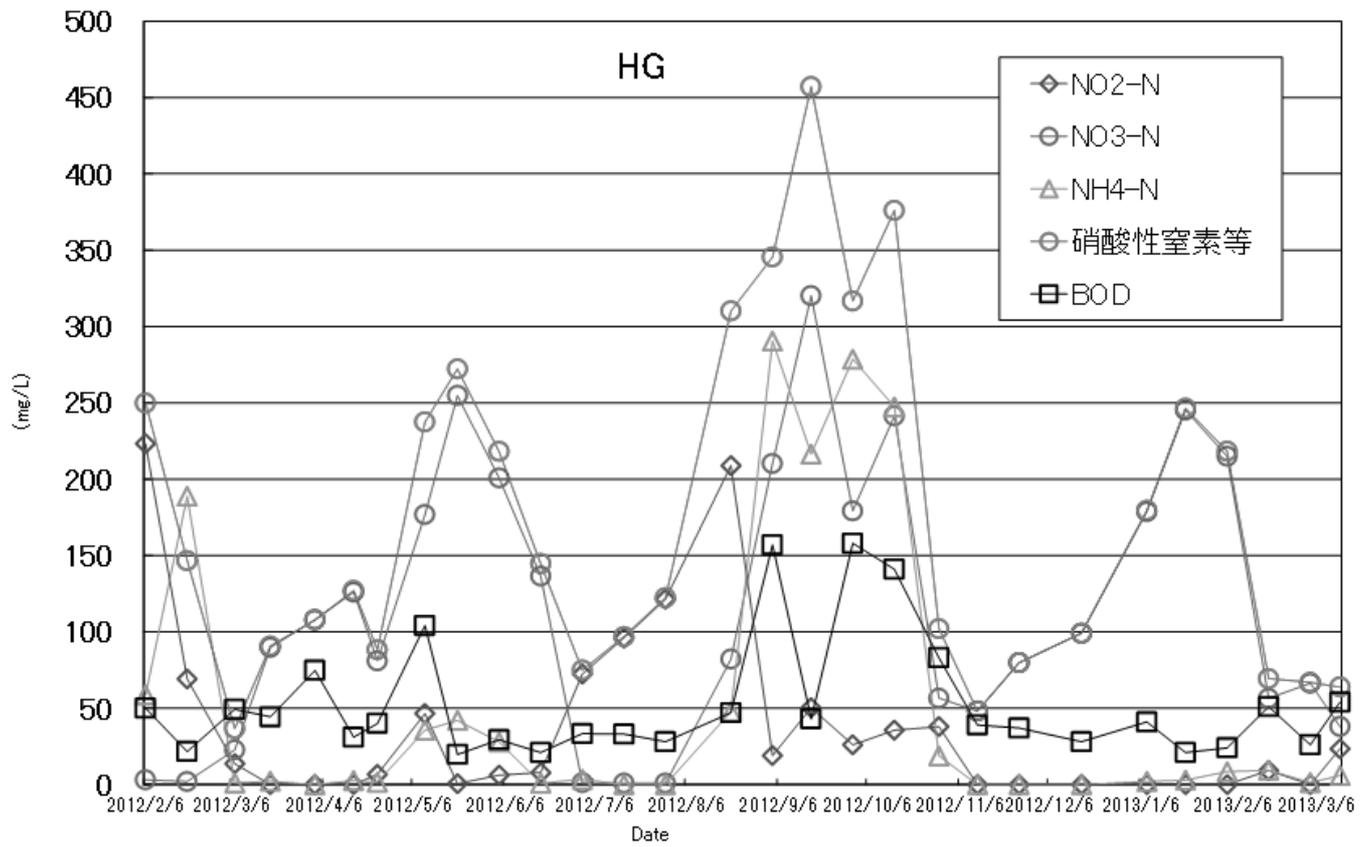


放流水の実情

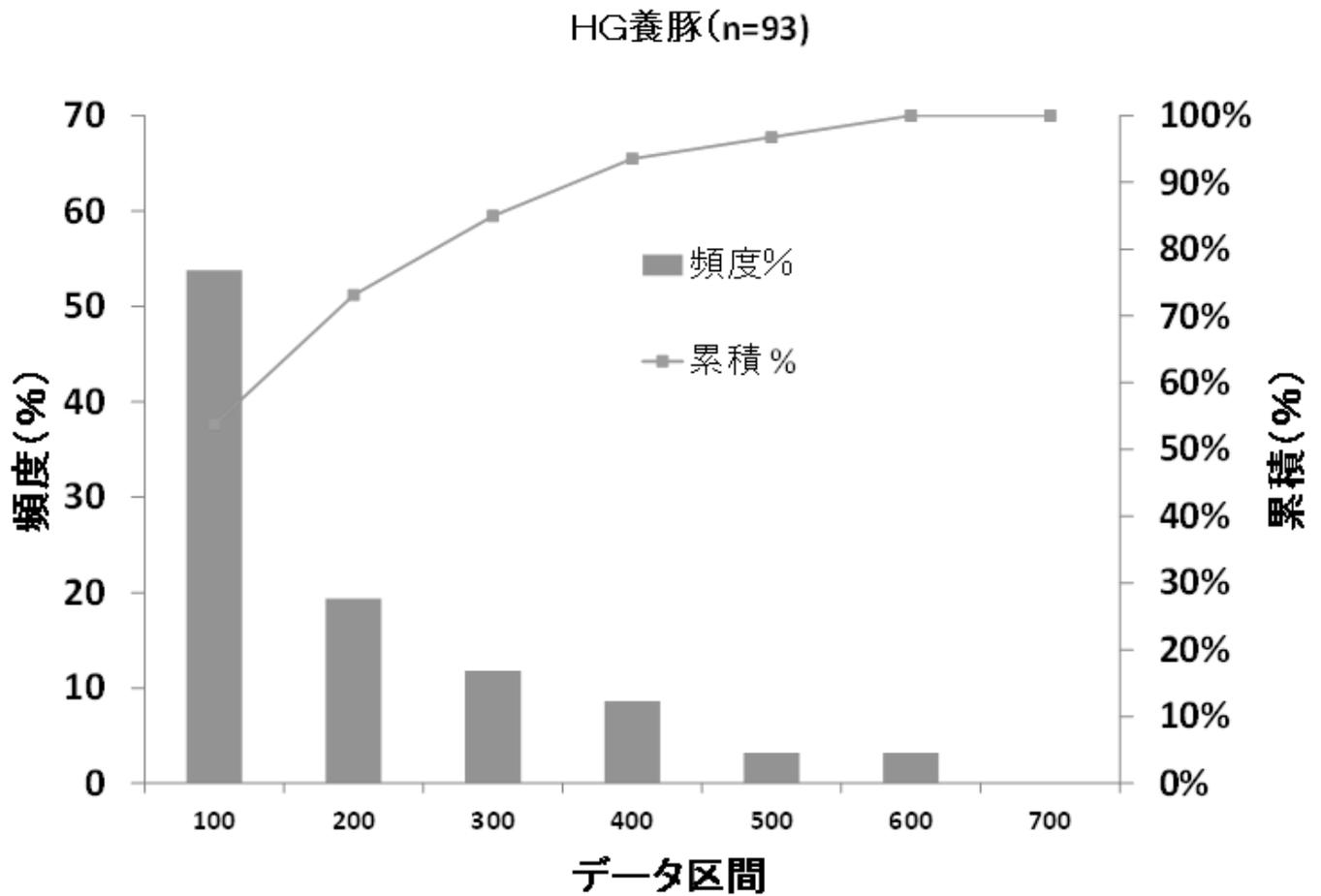


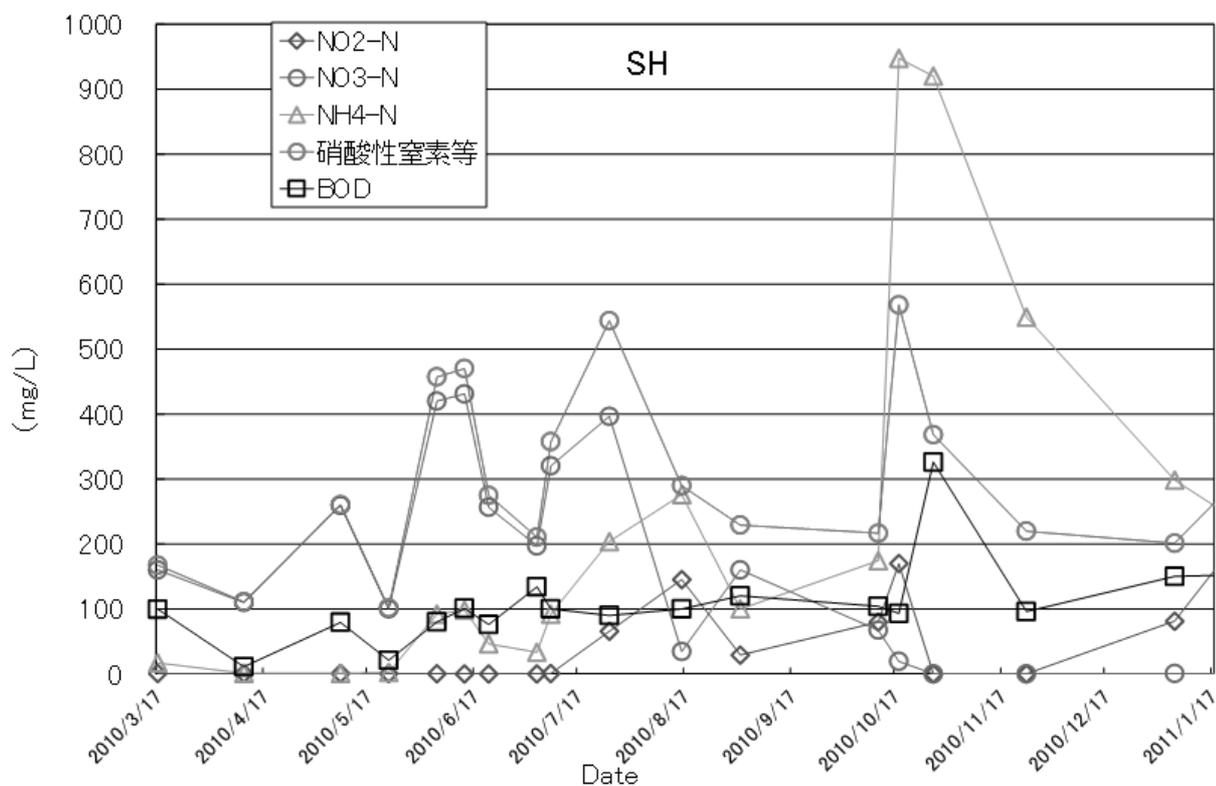
畜産環境技術研究所 長峰・小堤





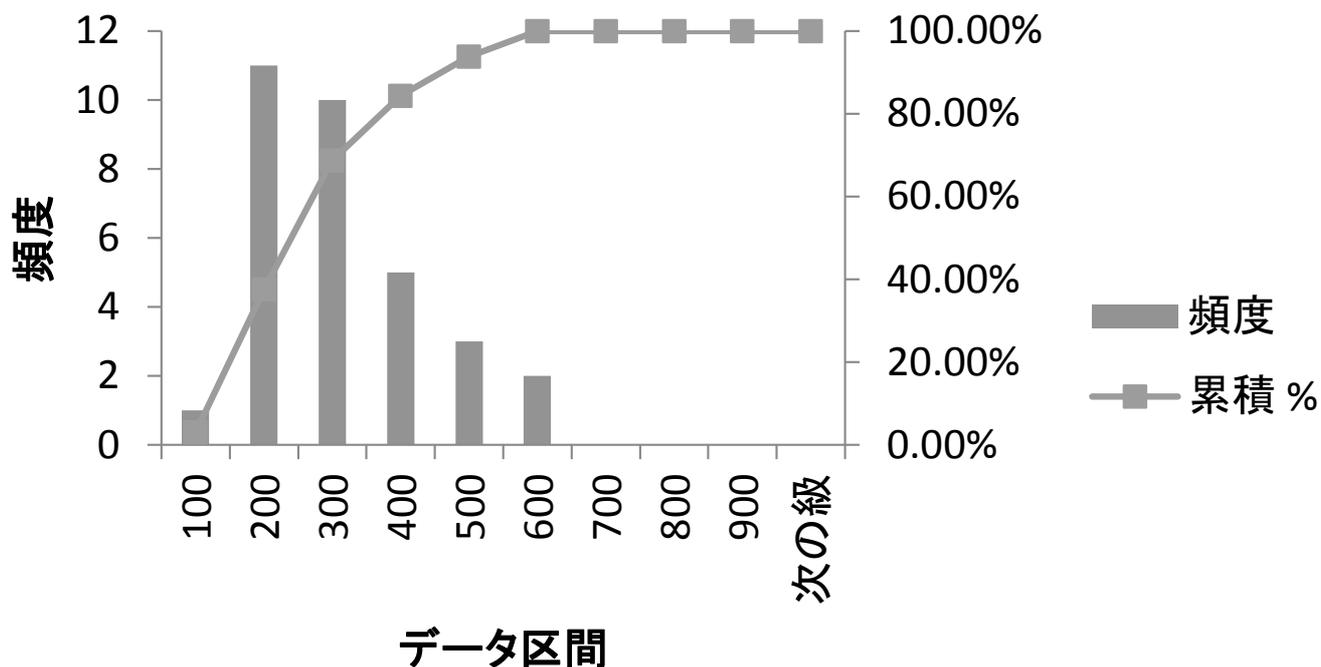
畜産環境技術研究所 長峰・小堤

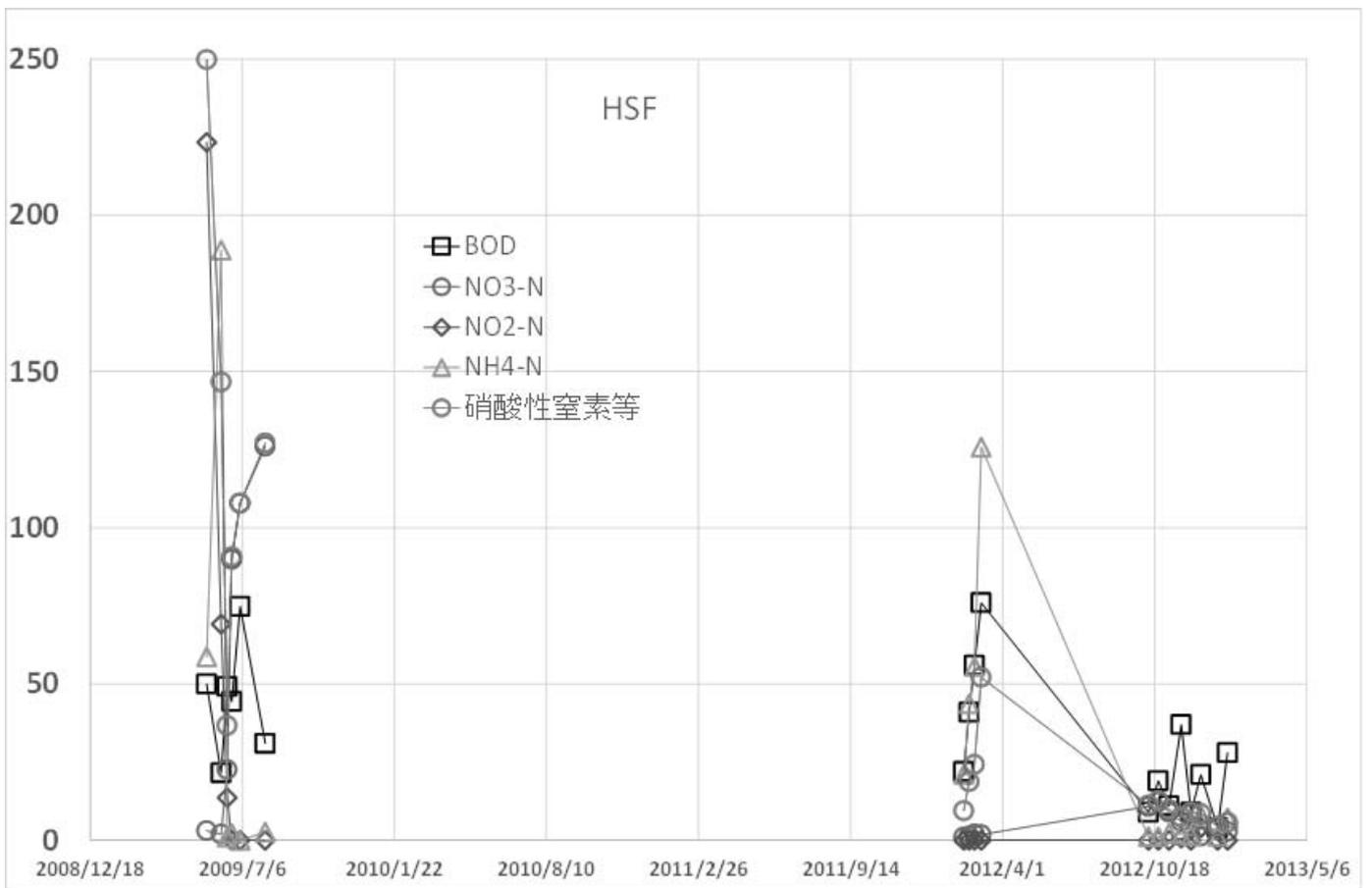




畜産環境技術研究所 長峰・小堤

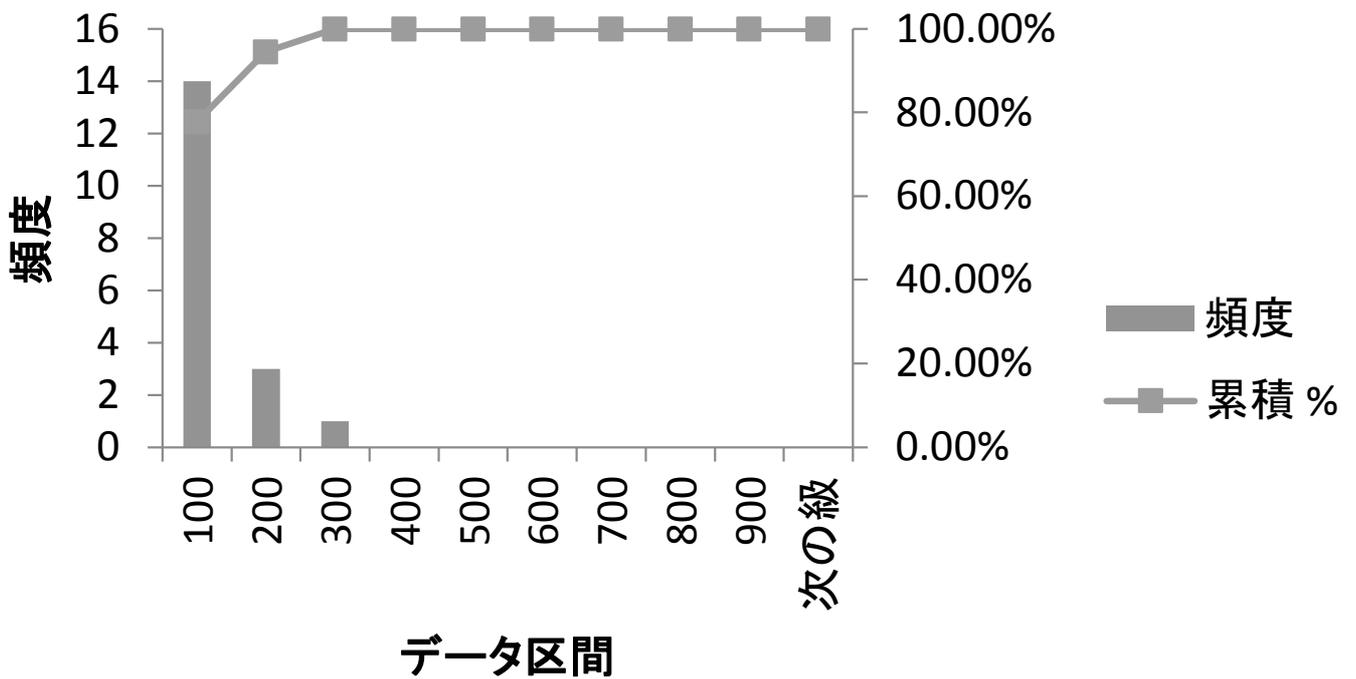
SH農場

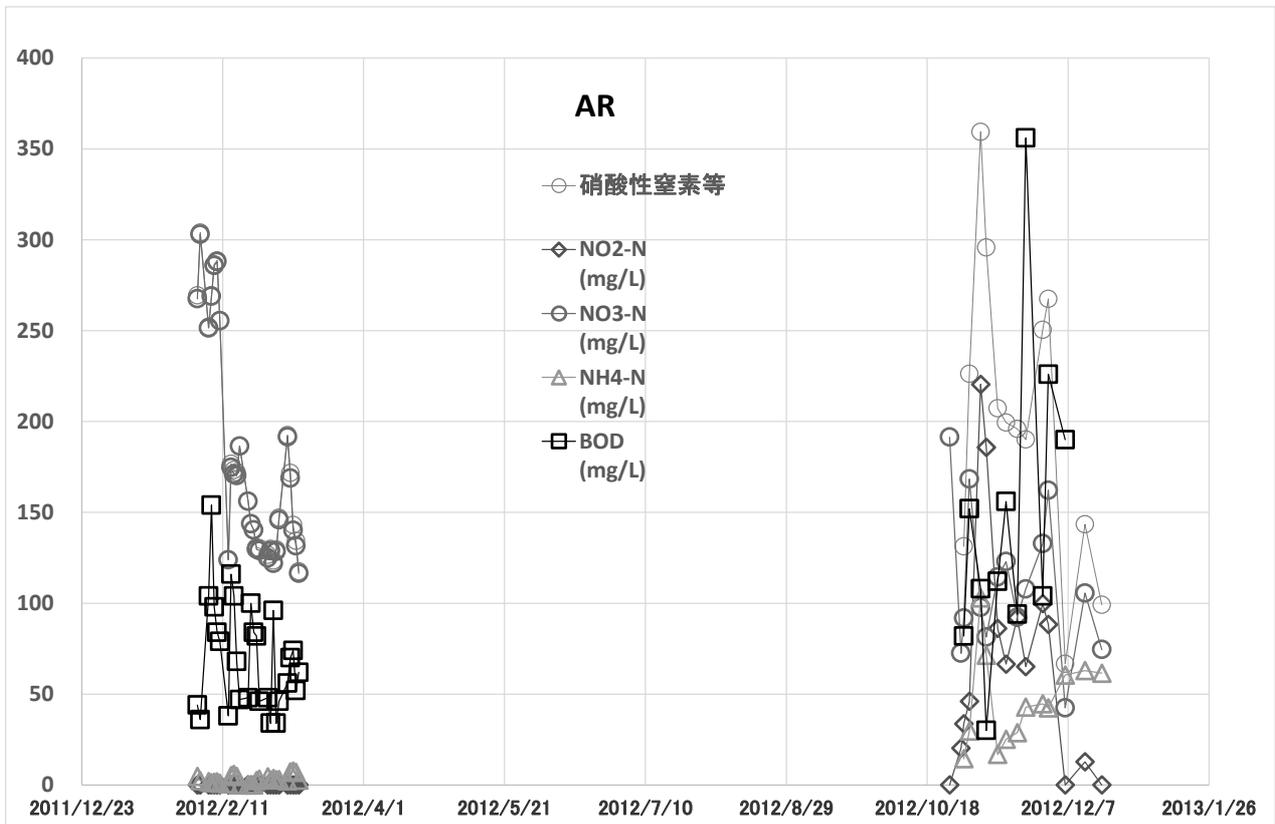




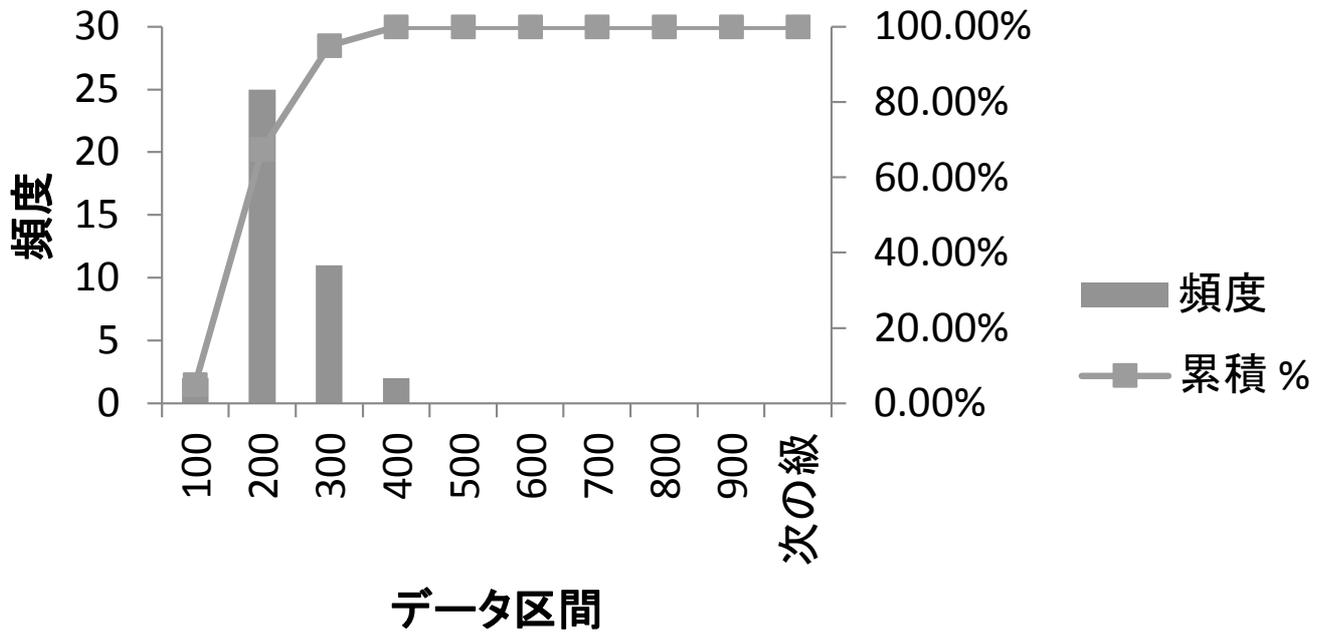
畜産環境技術研究所 長峰・小堤

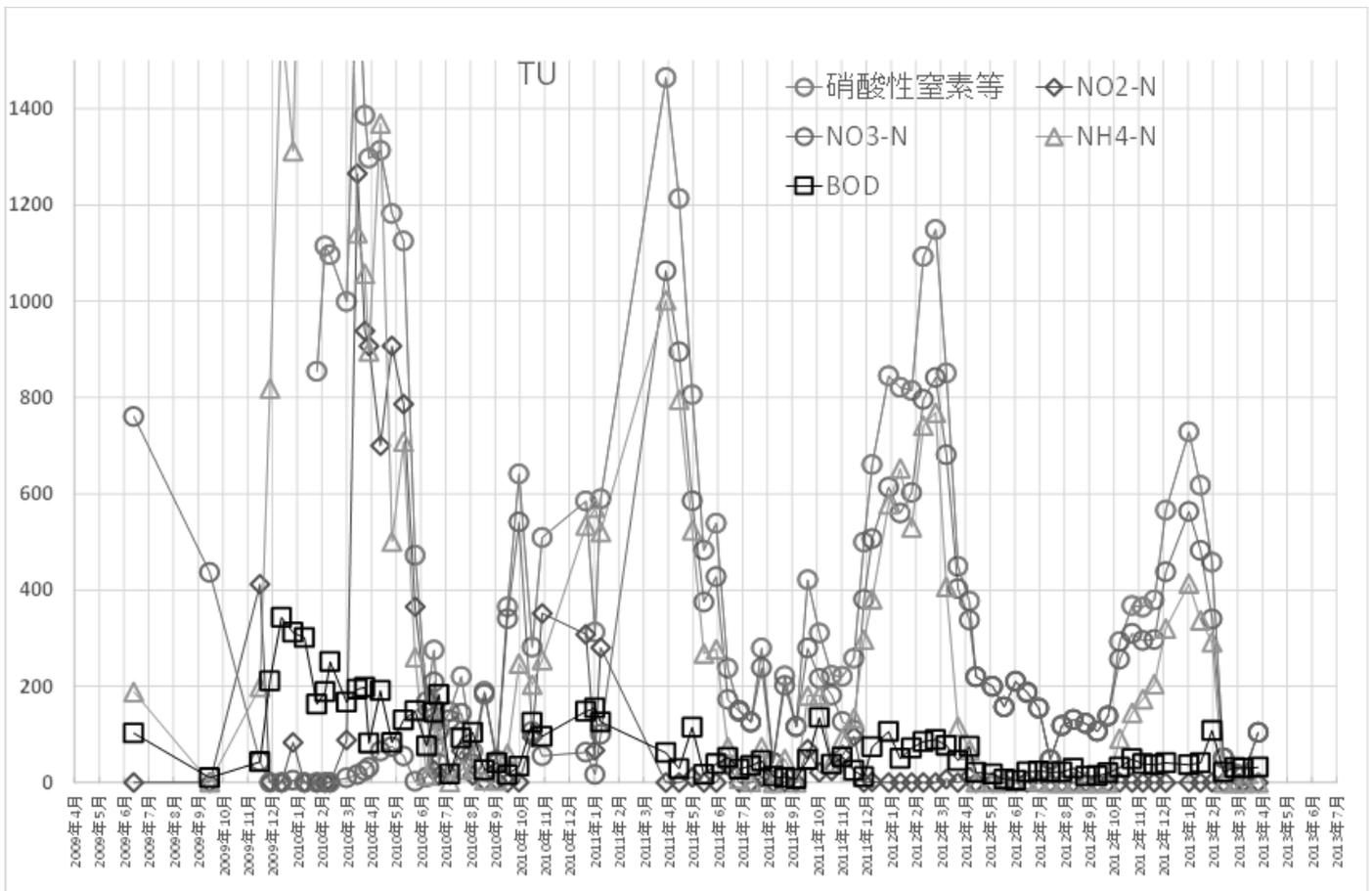
HS農場



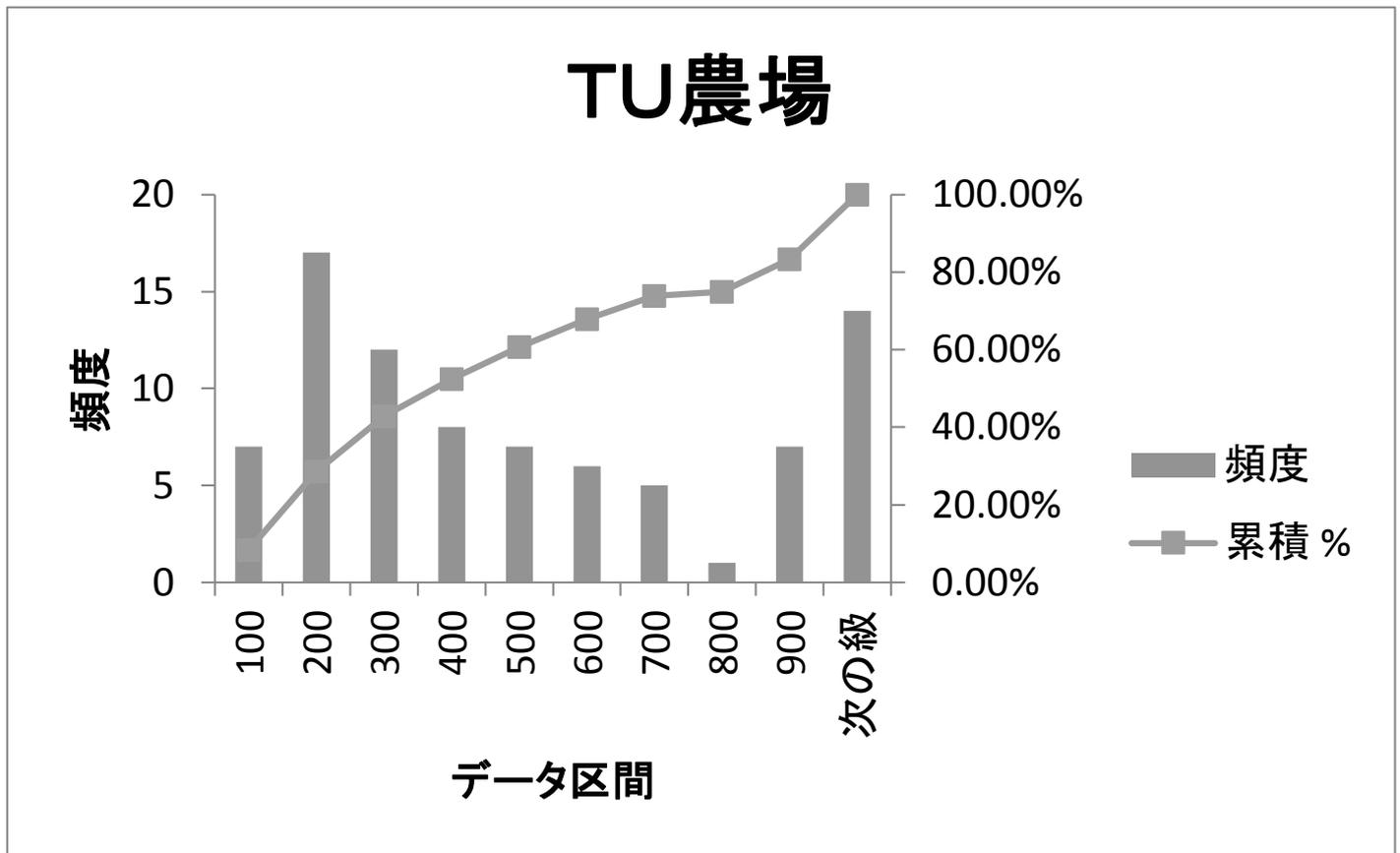


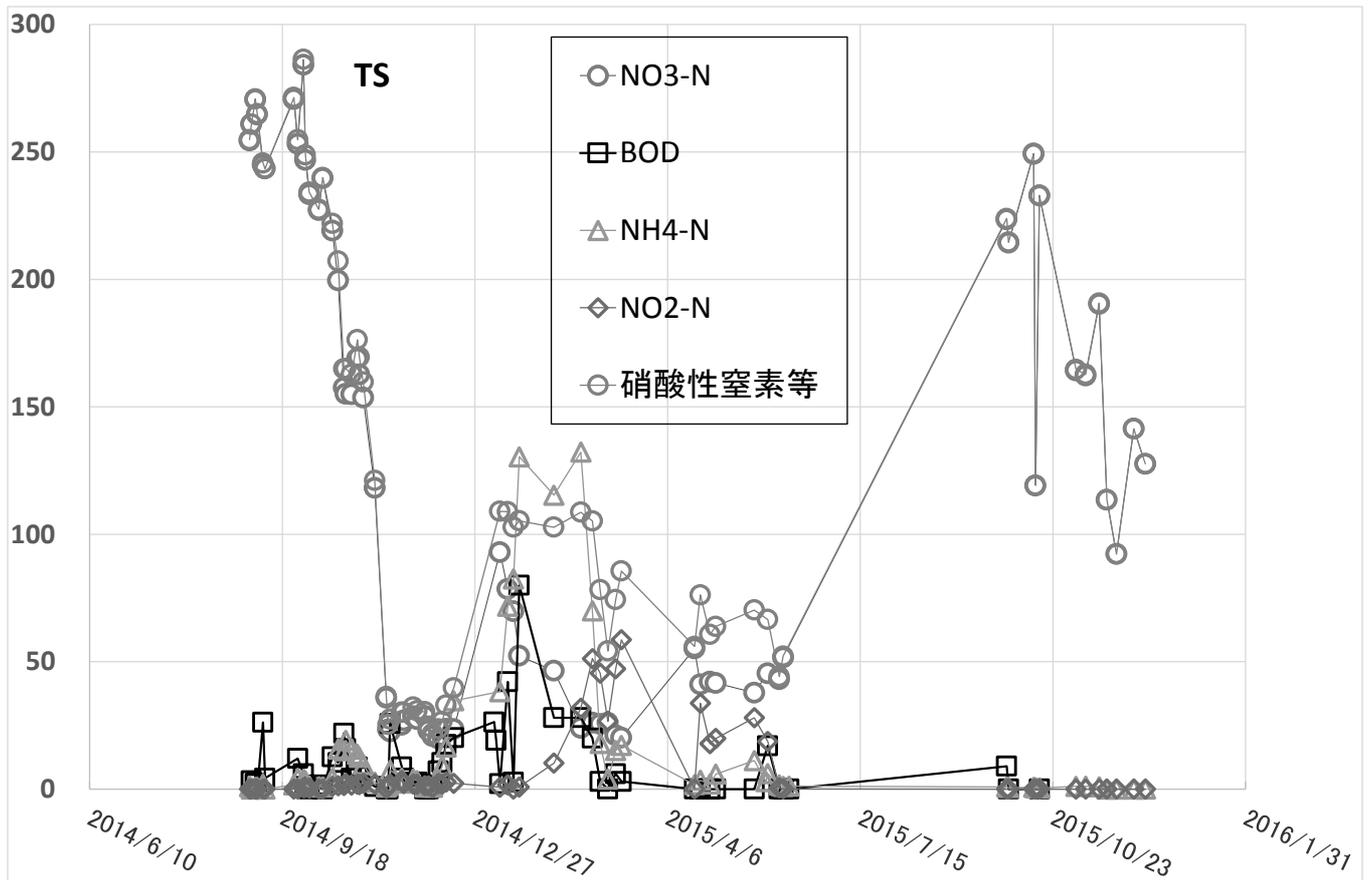
AR農場



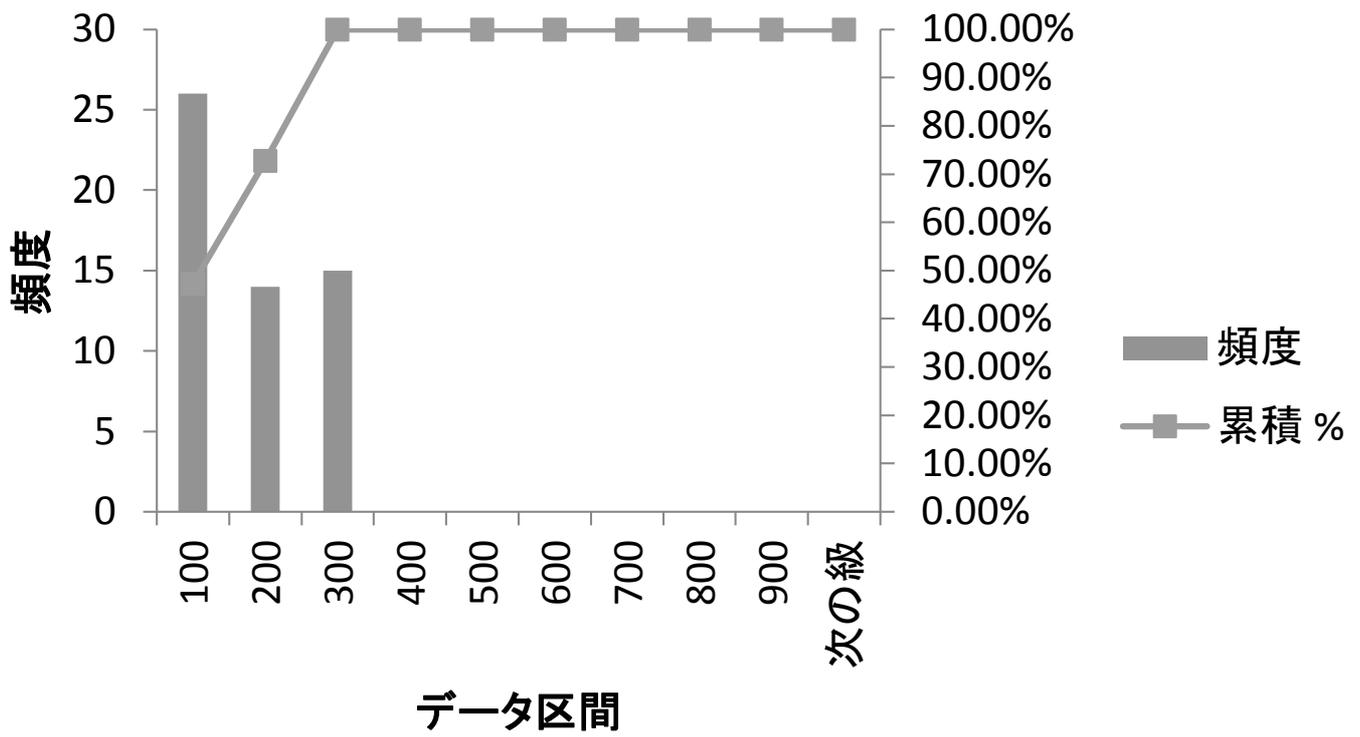


畜産環境技術研究所 長峰・小堤

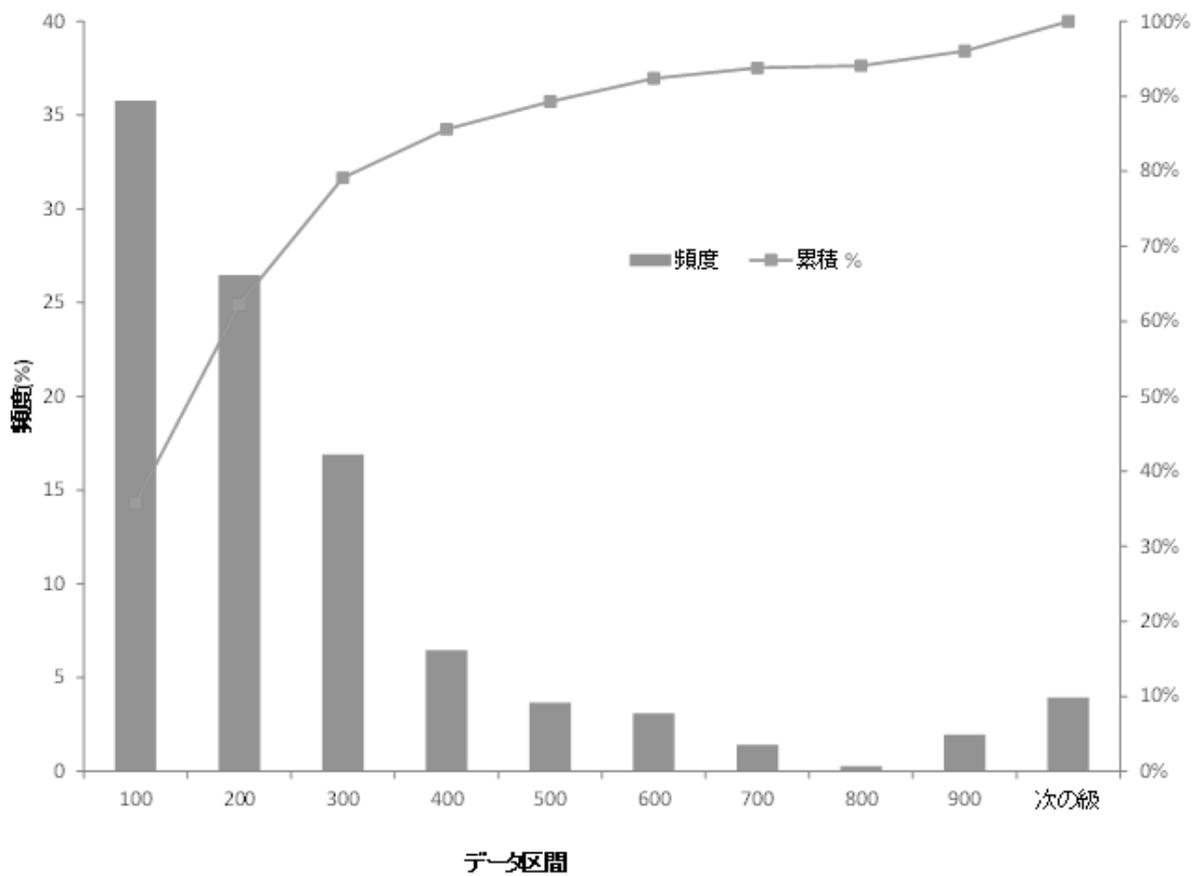




TS農場

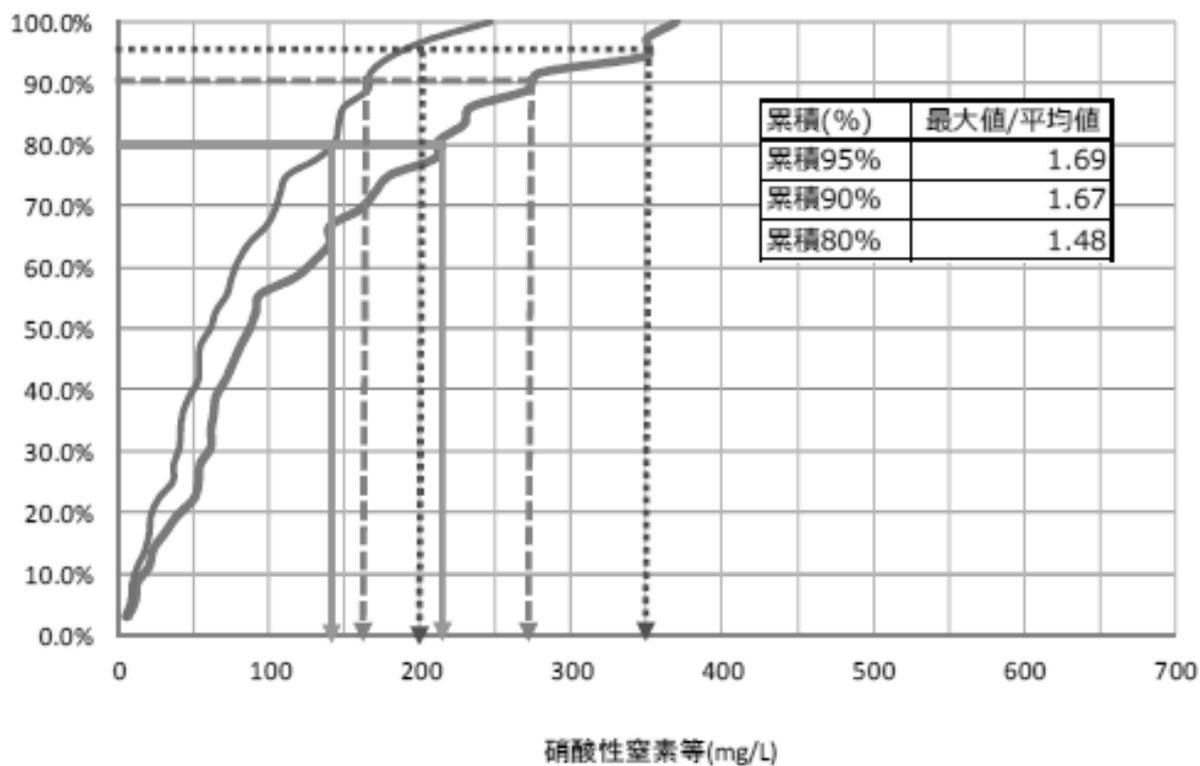


7農家全データ(n=355)



排水濃度累積度数分布(対象農家: 36事業場)

—— 最大値 —— 平均値



環境省ホームページより

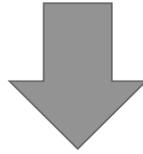
今後の技術的展開

汚水処理の問題状況
(病気になぞらえると)

原因と治療の原理は分かっているが



症状は千差万別

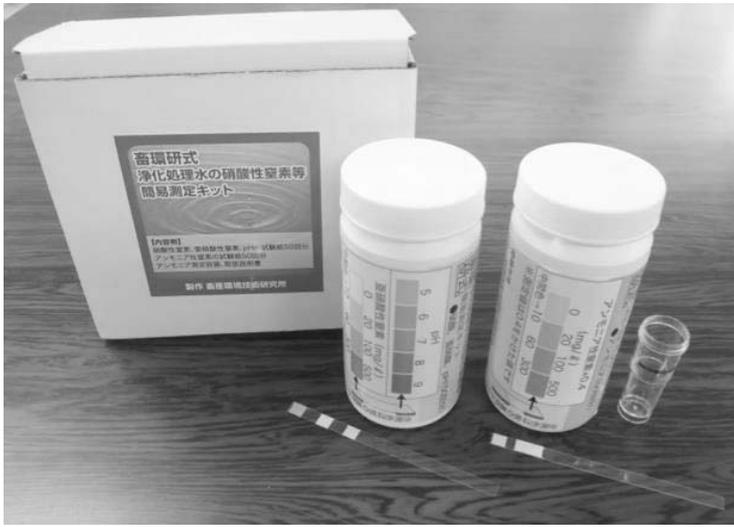


よって処方箋もさまざま

処方箋をどう作るか
選択肢その1

自己診断で頑張る

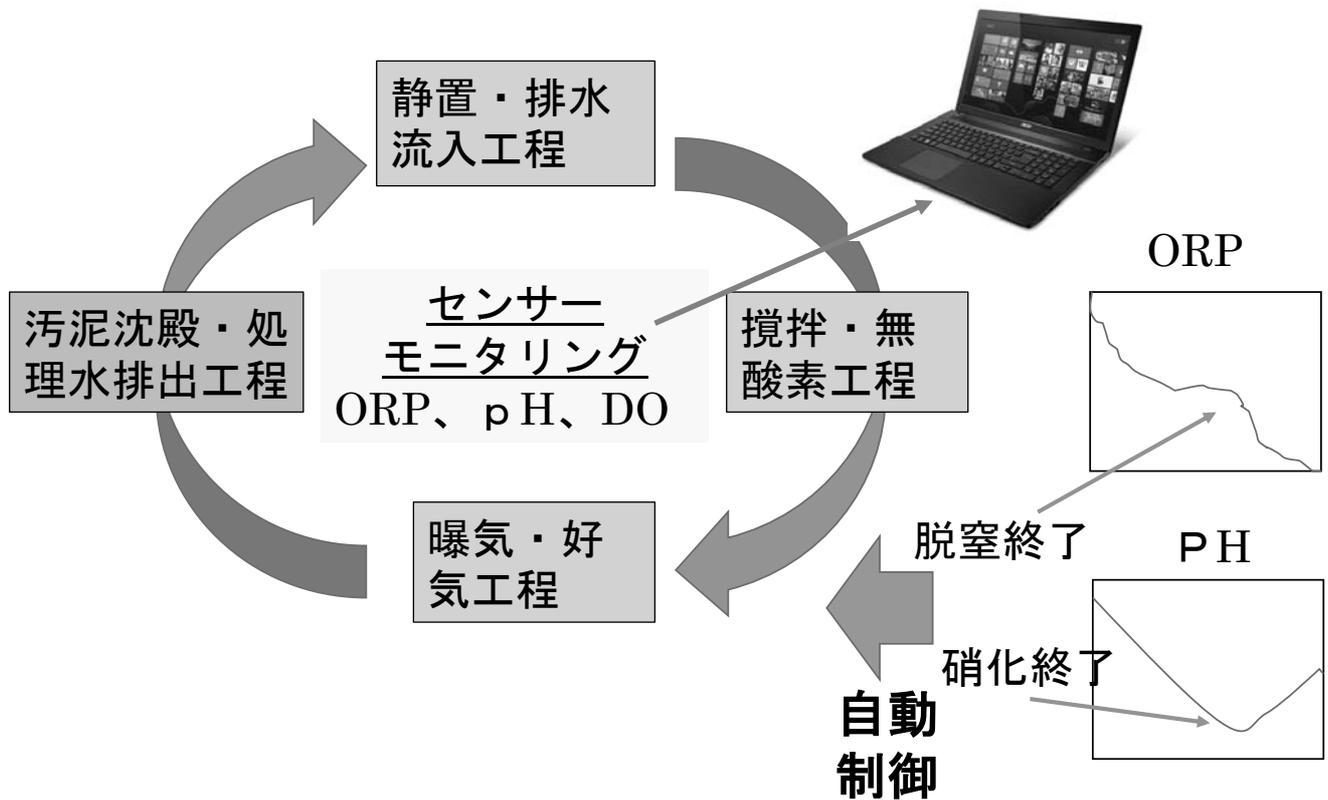
簡易測定キット



- 現場にて4分ほどで結果が出る
- 比較的安価である
- 複雑な計算が必要ない

処方箋をどう作るか 選択肢その2

I T 技術の活用



岸田・金主・須藤・佐々木・常田(2005)
ケミカルエンジニアリング:50: 108-113.2.

処方箋をどう作るか 選択肢その3

管理を委託する

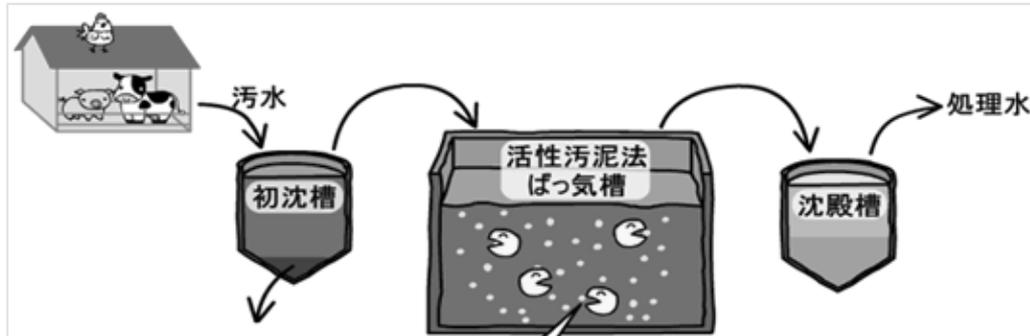


処方箋をどう作るか 選択肢その4

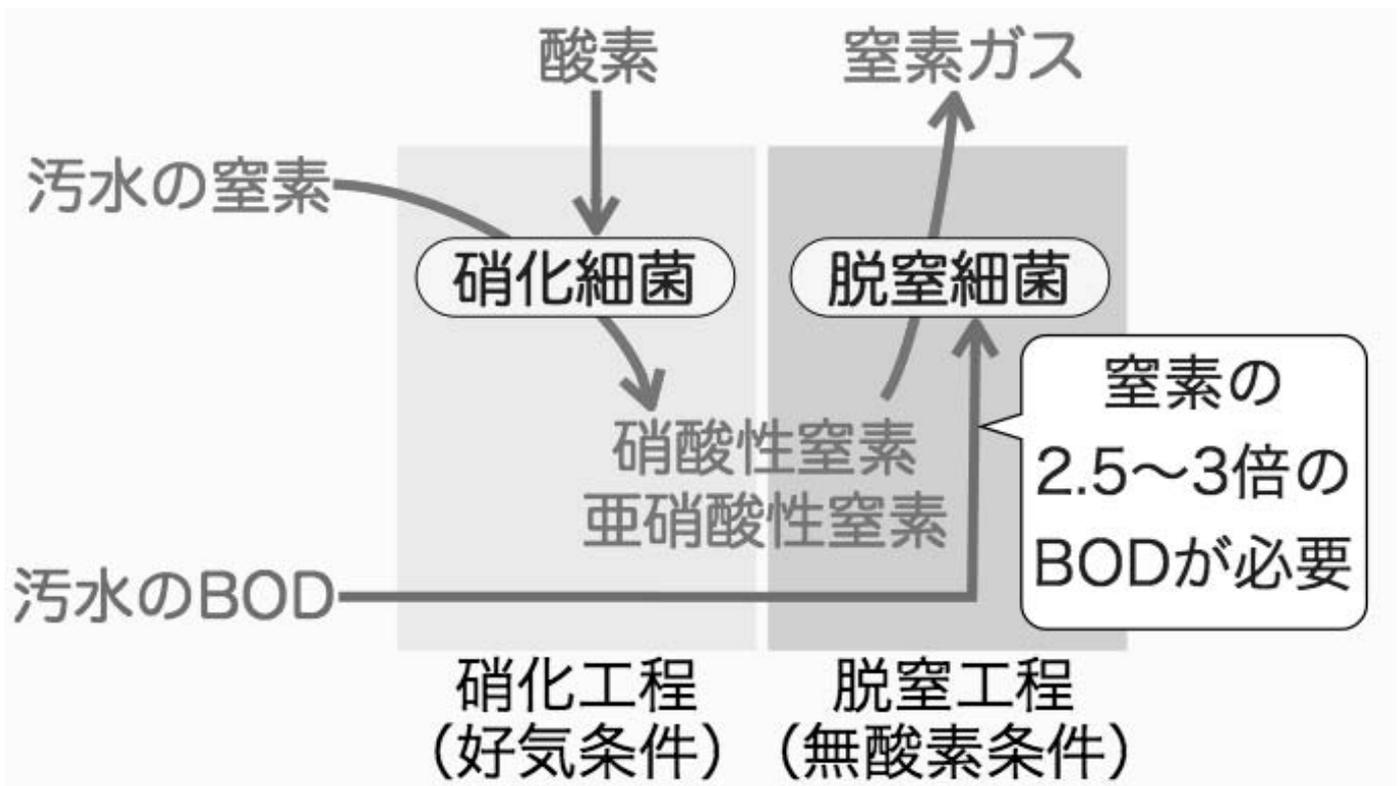
目標を単純化した工程 の組み合わせ法

ユーザビリティとは

製品が故障していなくても、
「人間側がそれを使えていないのであれば故障している
のと変わらないでしょ」
というのが、ユーザビリティの考え方。



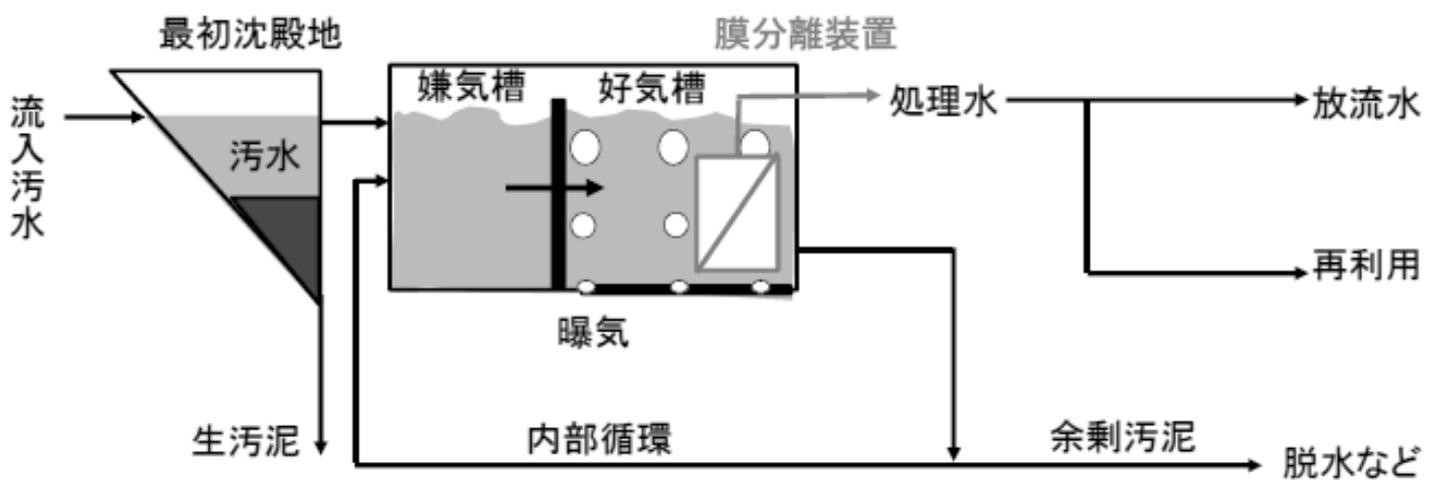
窒素除去の仕組み



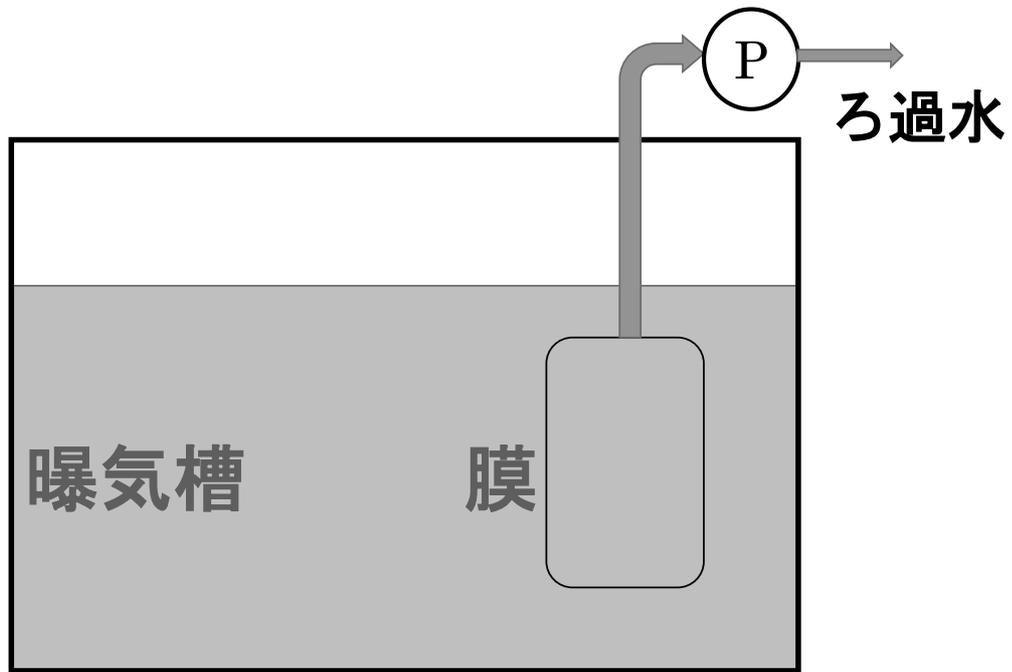
安定した硝化の促進



膜分離による硝化促進



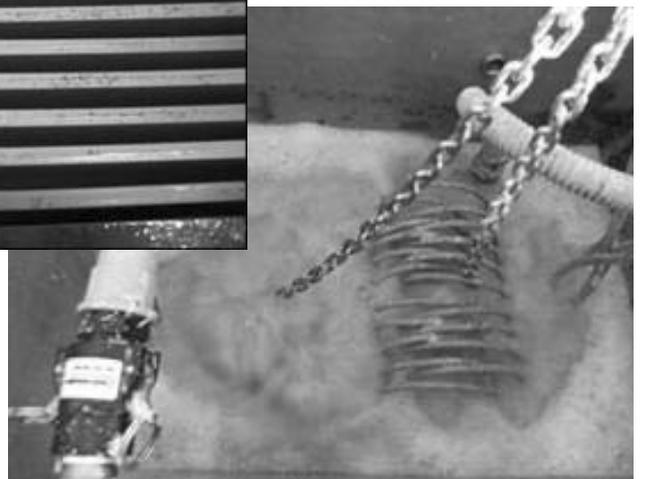
膜分離により汚泥濃度が高まる→汚泥滞留時間（SRT）が長くなる→増殖速度の遅い硝化菌でも菌数が増える→硝化活性増大



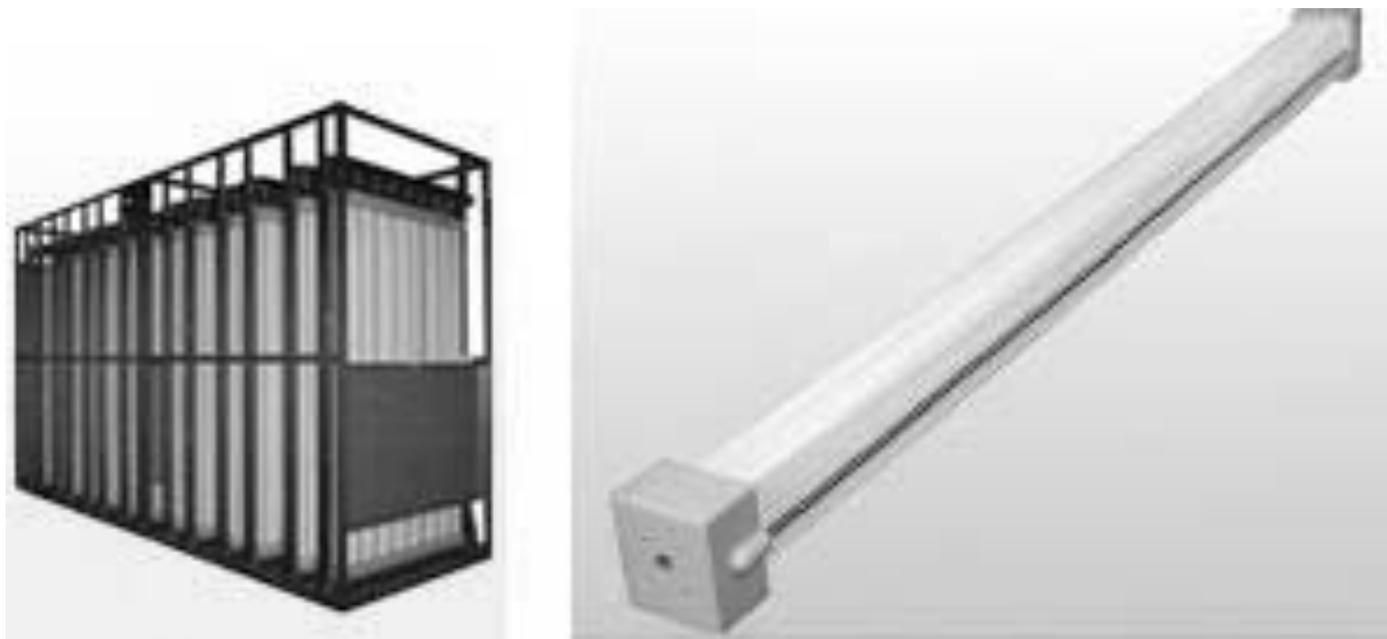
一般的な膜分離活性汚泥施設 浸漬型（一体型）



平膜タイプモジュールの一事例

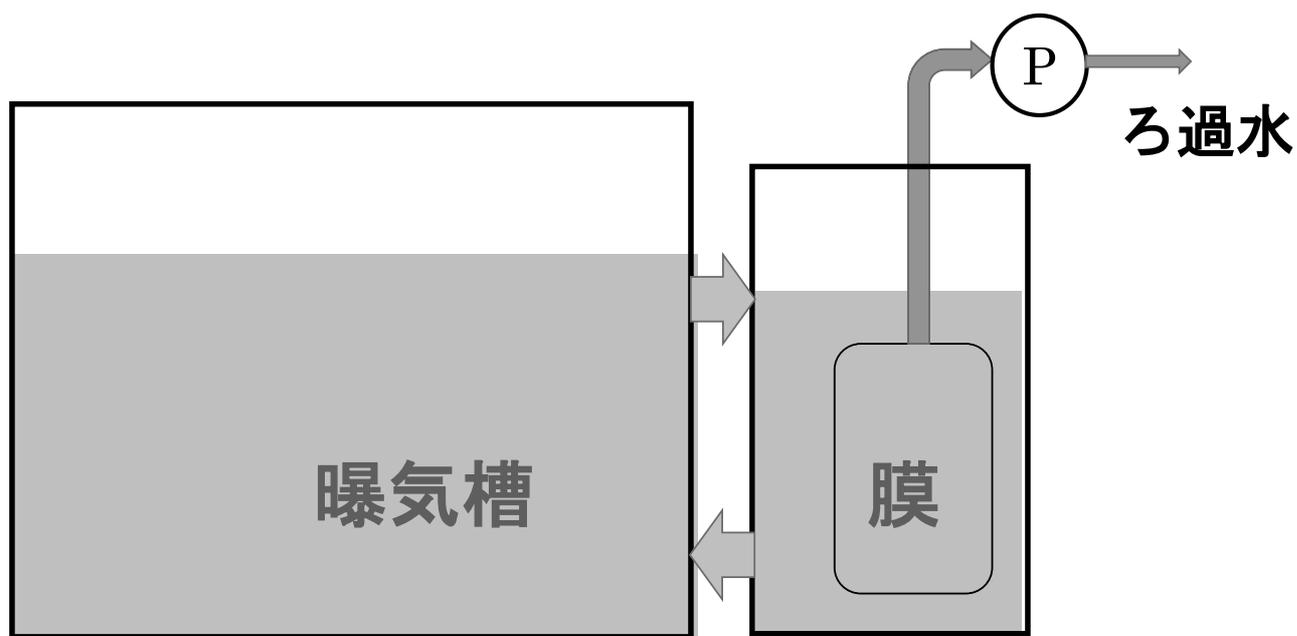


中空系タイプモジュールの一事例



外付け膜分離装置の設置事例

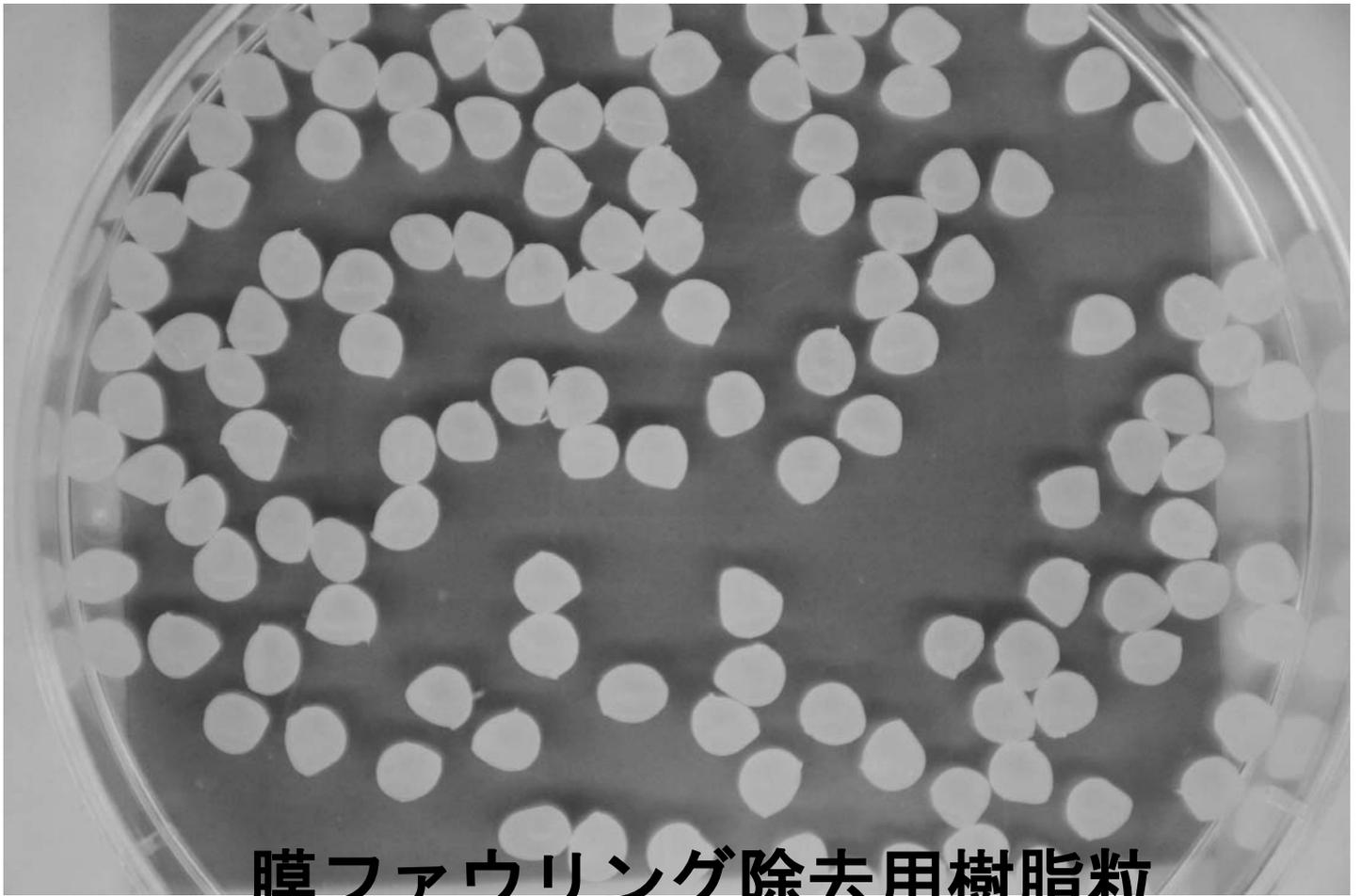




浸漬型（槽別置型）





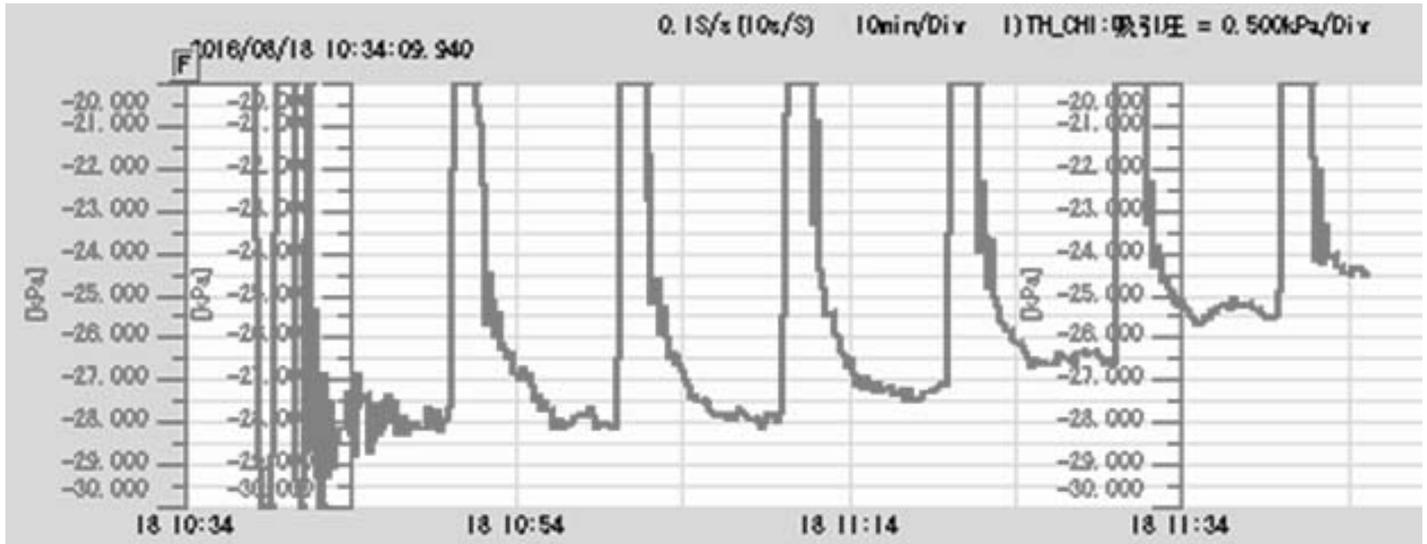


膜ファウリング除去用樹脂粒

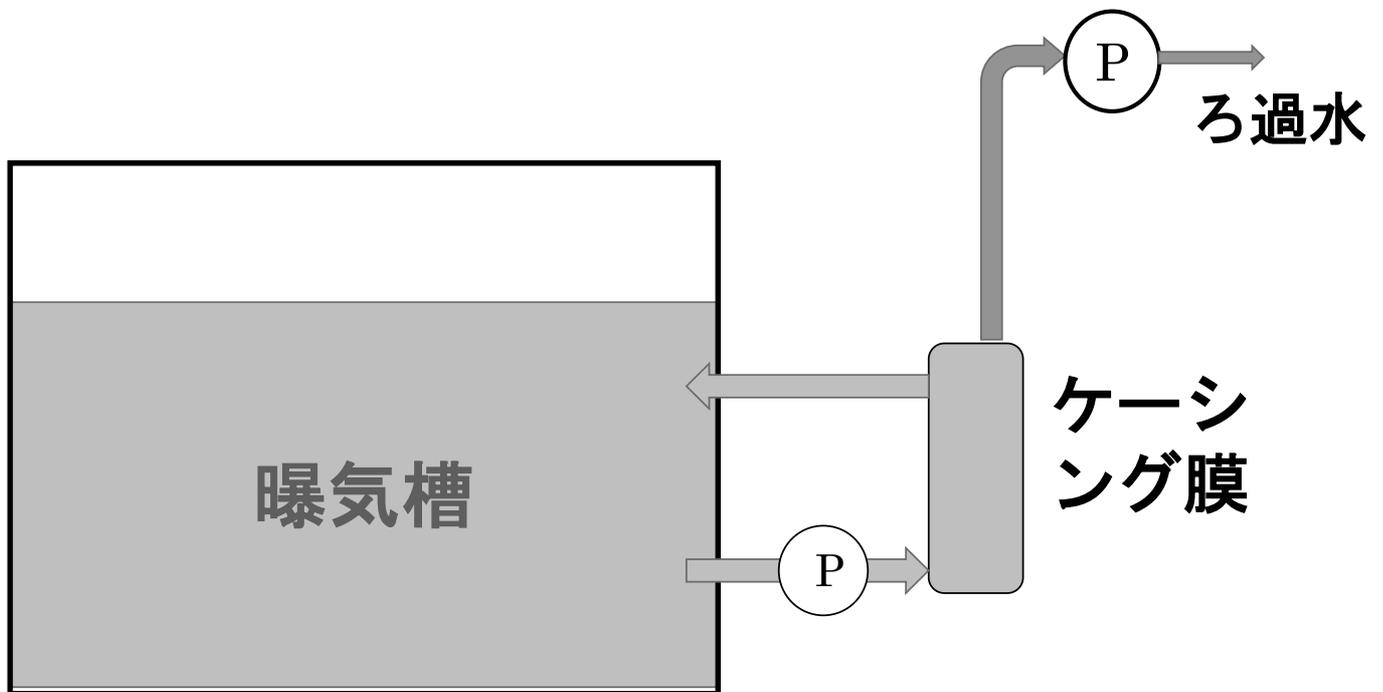


1m³の膜浸漬槽₇₈に投入した樹脂粒





樹脂粒投入後の吸引圧の変化
(透過水量一定条件)



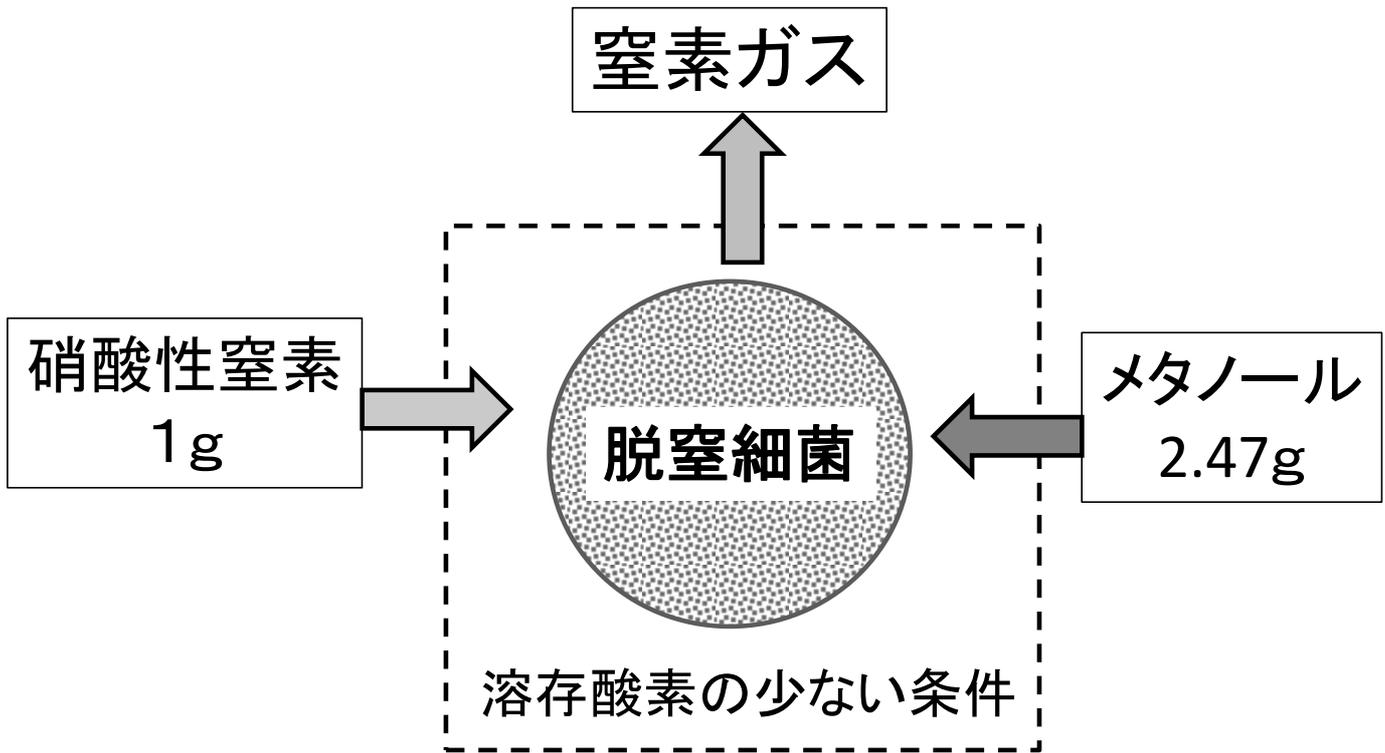
槽外型 (ケーシング型)



試験中の外圧中 空系のケーシン グ型モジュール

**安定した脱窒促進
(電子供与体の確保)**

最も古典的な技術 —メタノール添加法—



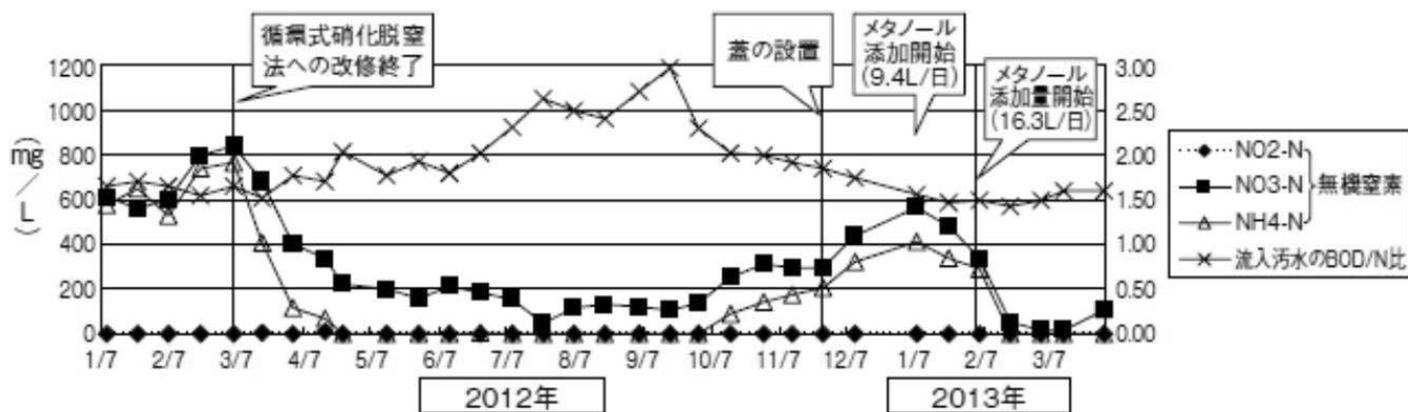
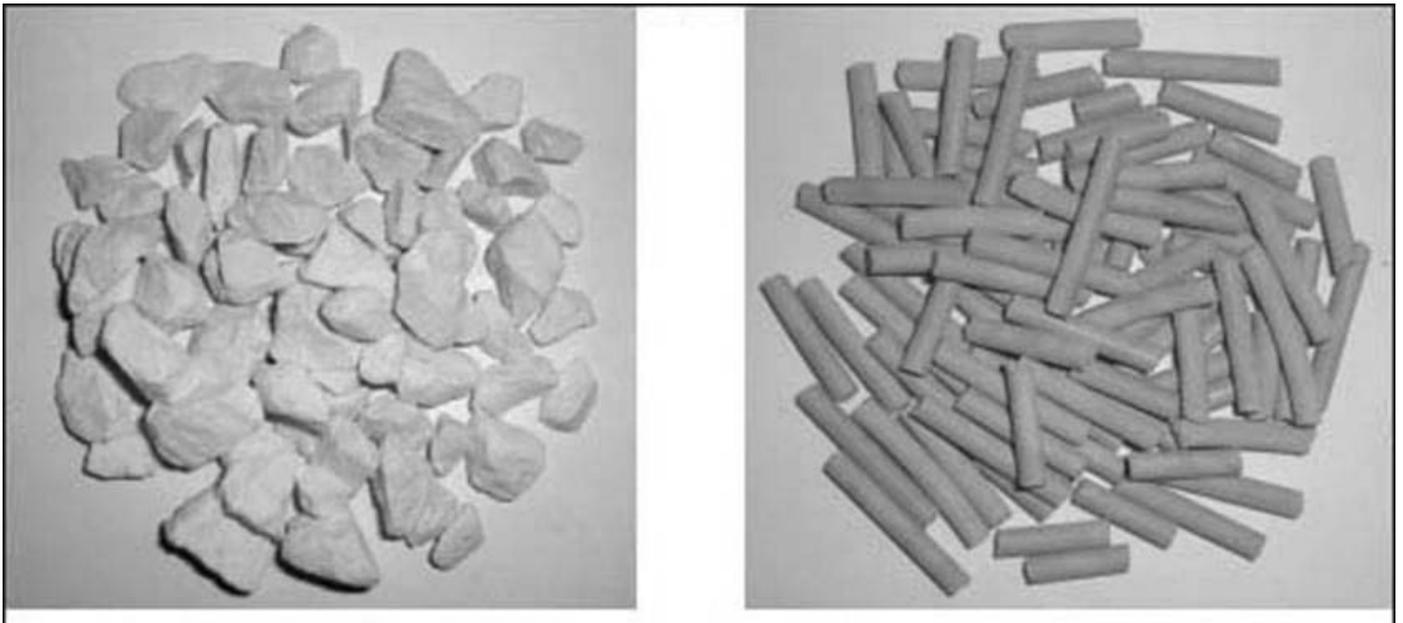
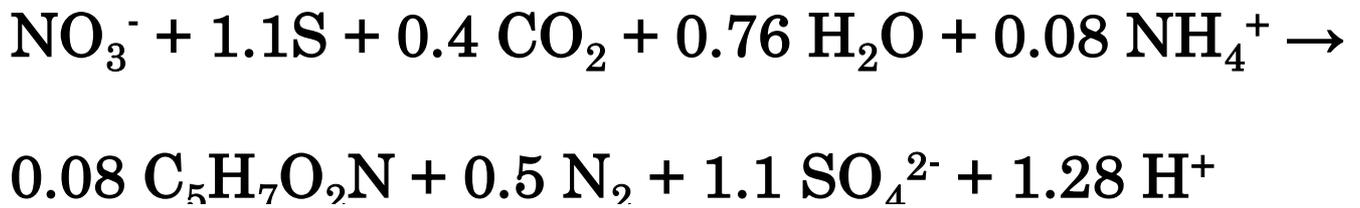
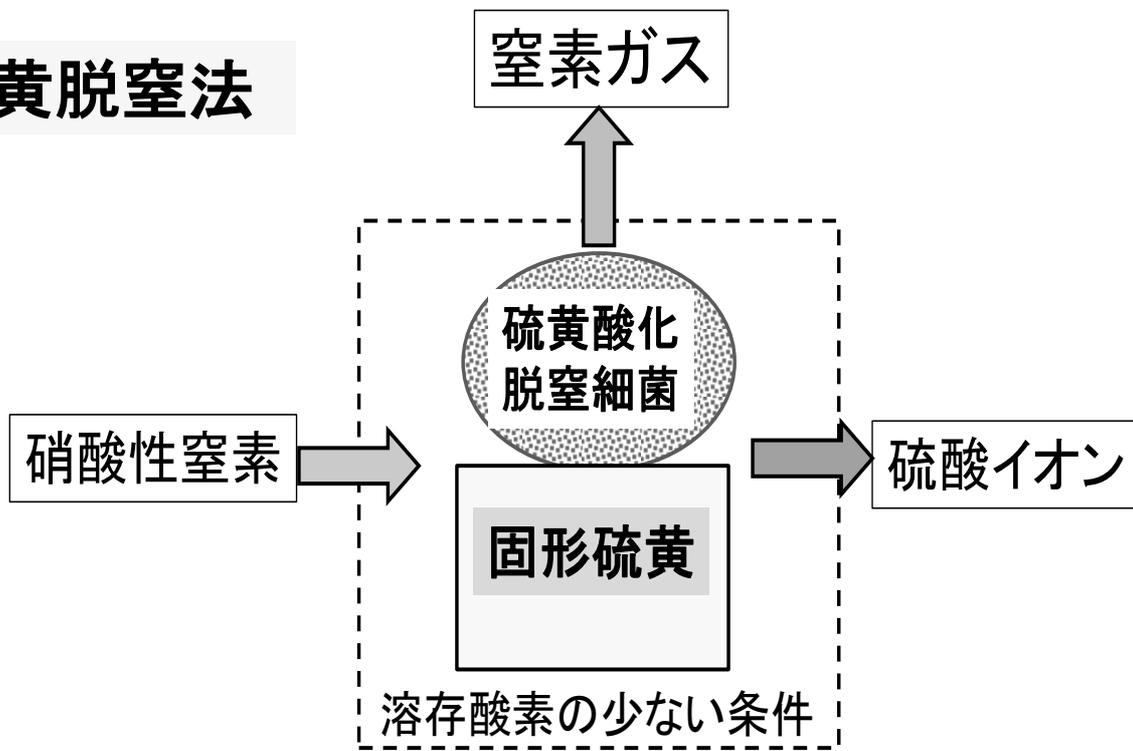


図2 改修前後の処理水の各無機窒素濃度と流入汚水のBOD/N比の推移

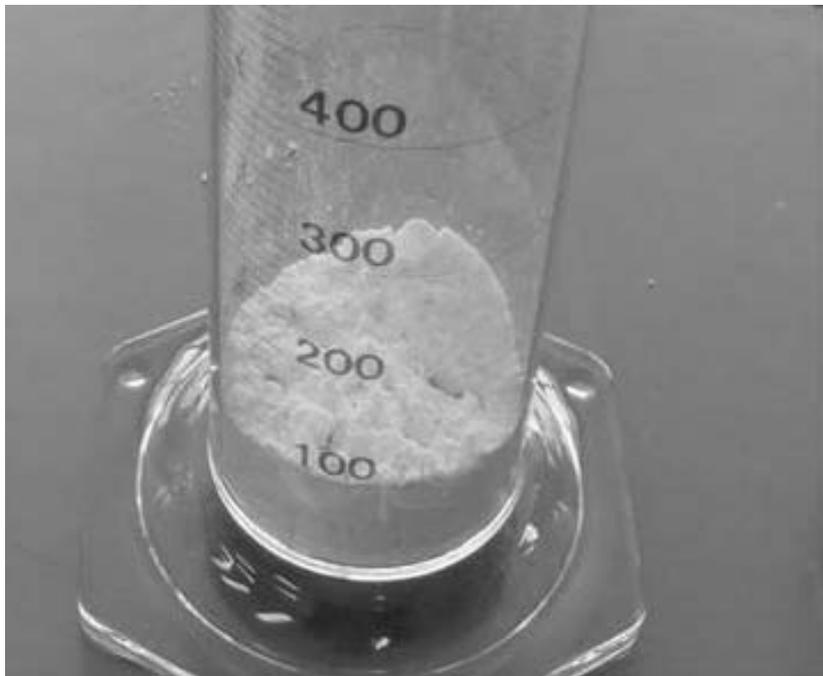
小堤（2014）畜産技術5月号

種類	入手先	BOD濃度
廃シロップ	缶詰工場	48,000 mg/L
焼酎蒸留廃液	焼酎工場	6,000～20,000 mg/L
廃グリセリン	バイオディーゼル工場	90万～100万 mg/L
豚糞スラリー	豚舎	—

硫黄脱窒法

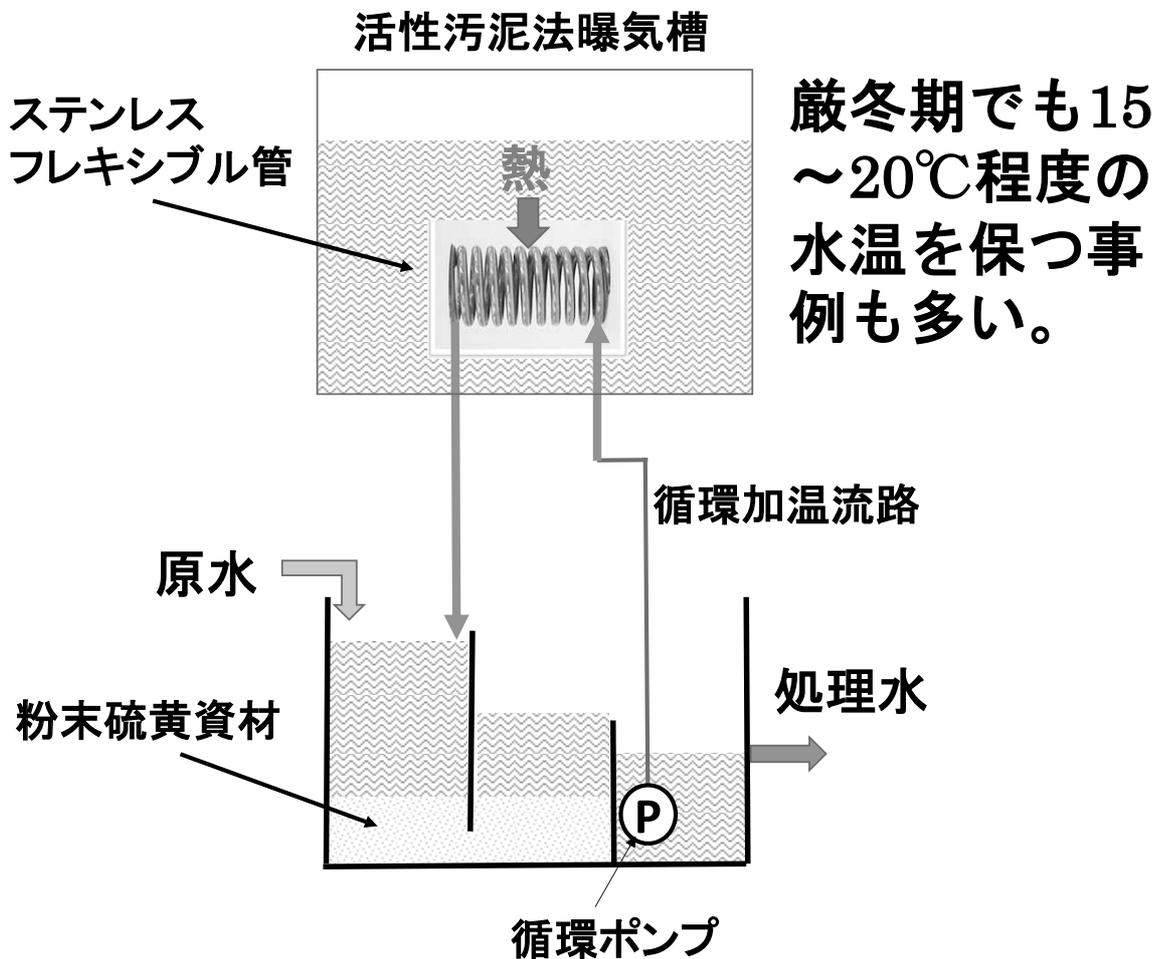


市販の硫黄脱窒用資材例



最近開発された粉末状資材

硫黄粉末、炭酸カルシウム粉末にノニオン系界面活性剤を加えて混練して製造。粉末でありながら水中での沈降性が高い長所がある。

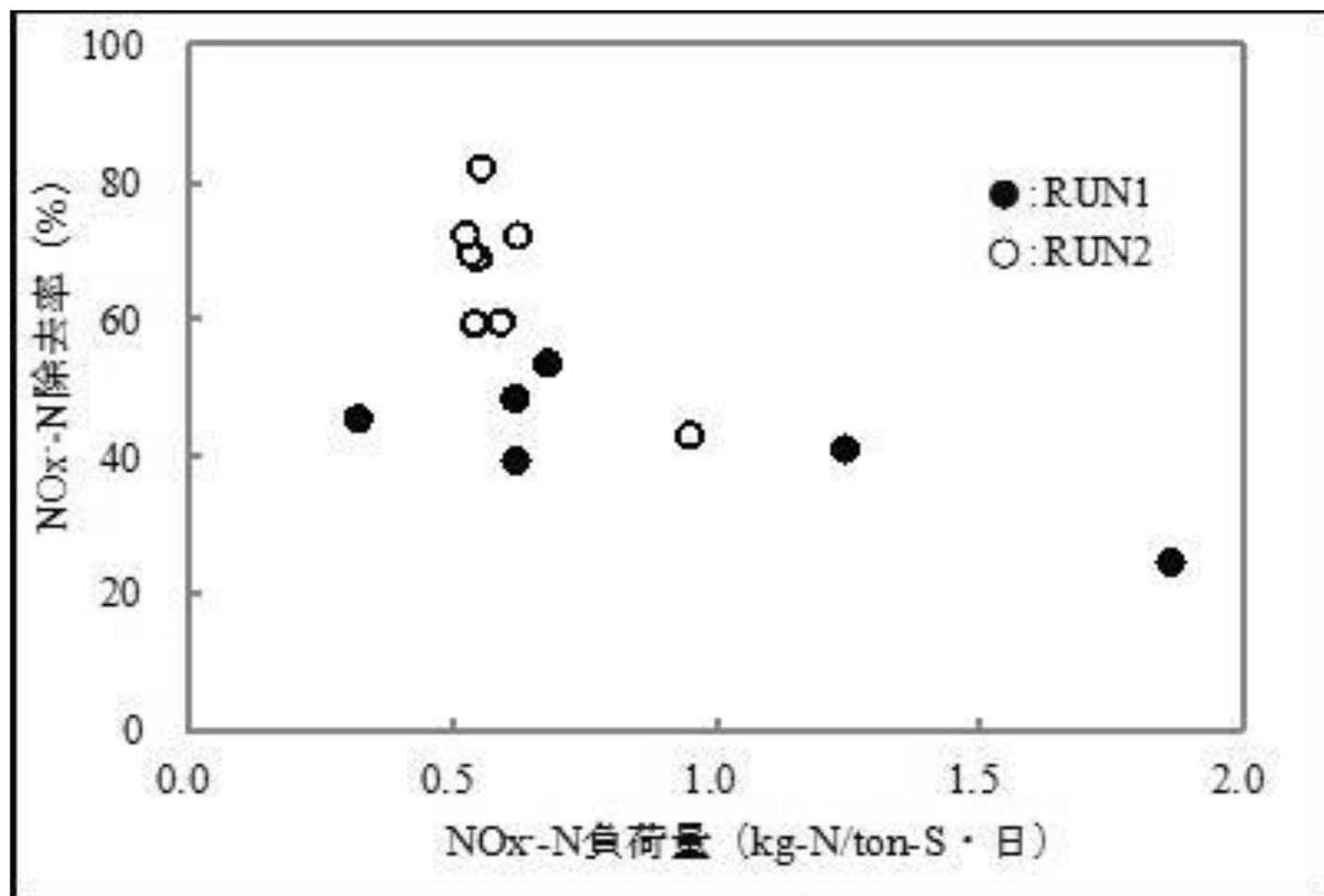
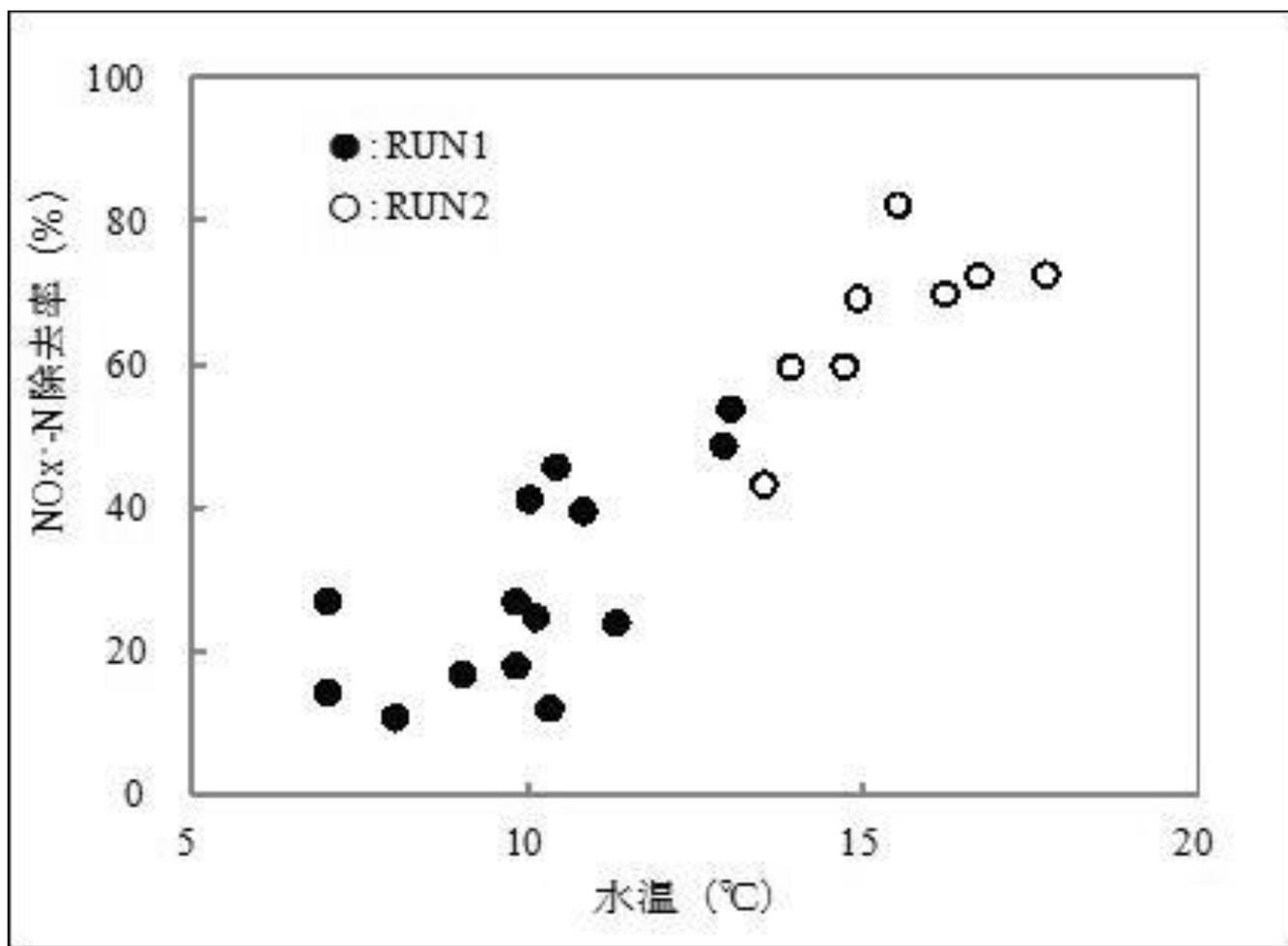




硫黄脱窒用に利用した
土木用土砂分離タンク



加温に使用したフレキチューブ





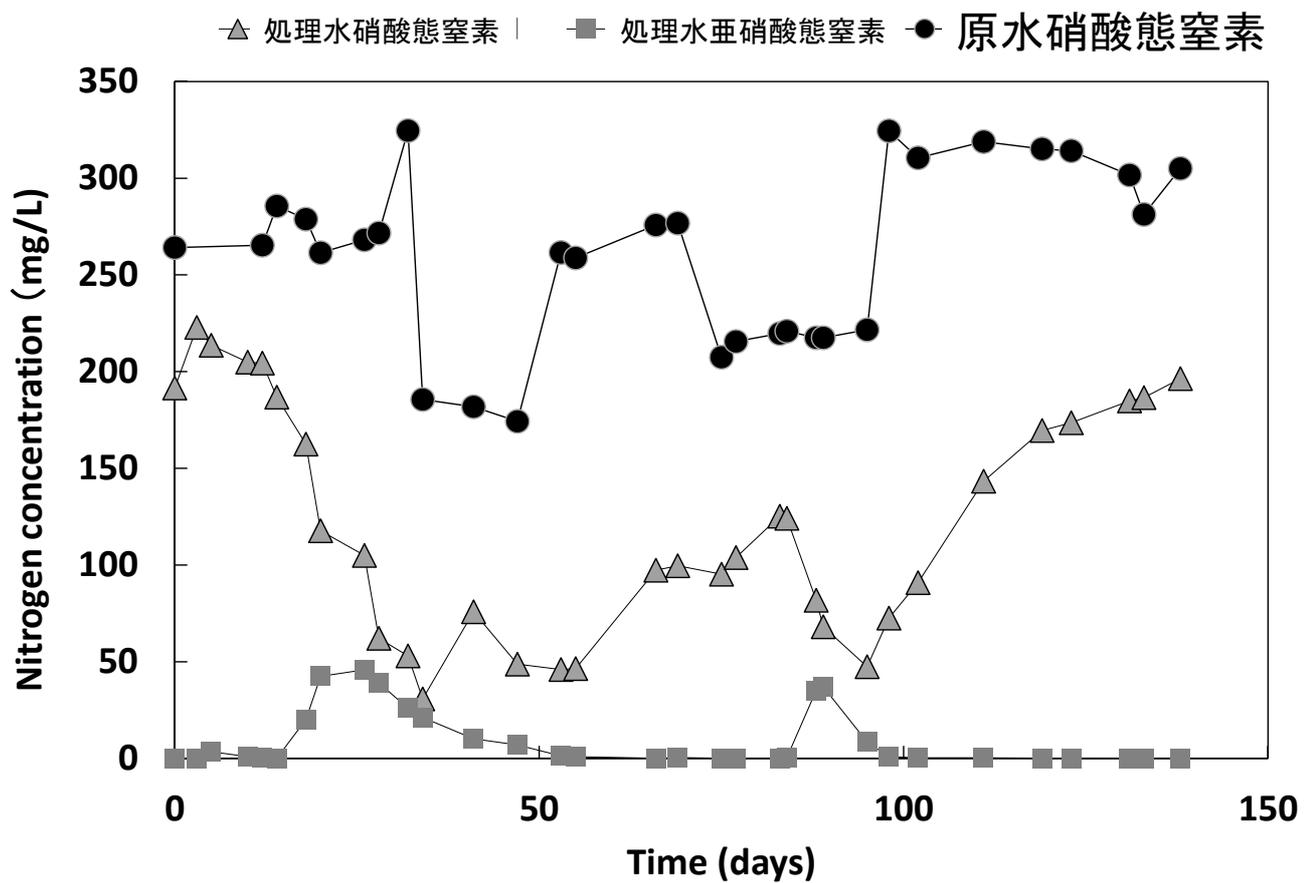
紙も電子供与体になる



脱水助剤用古紙粉末荷姿



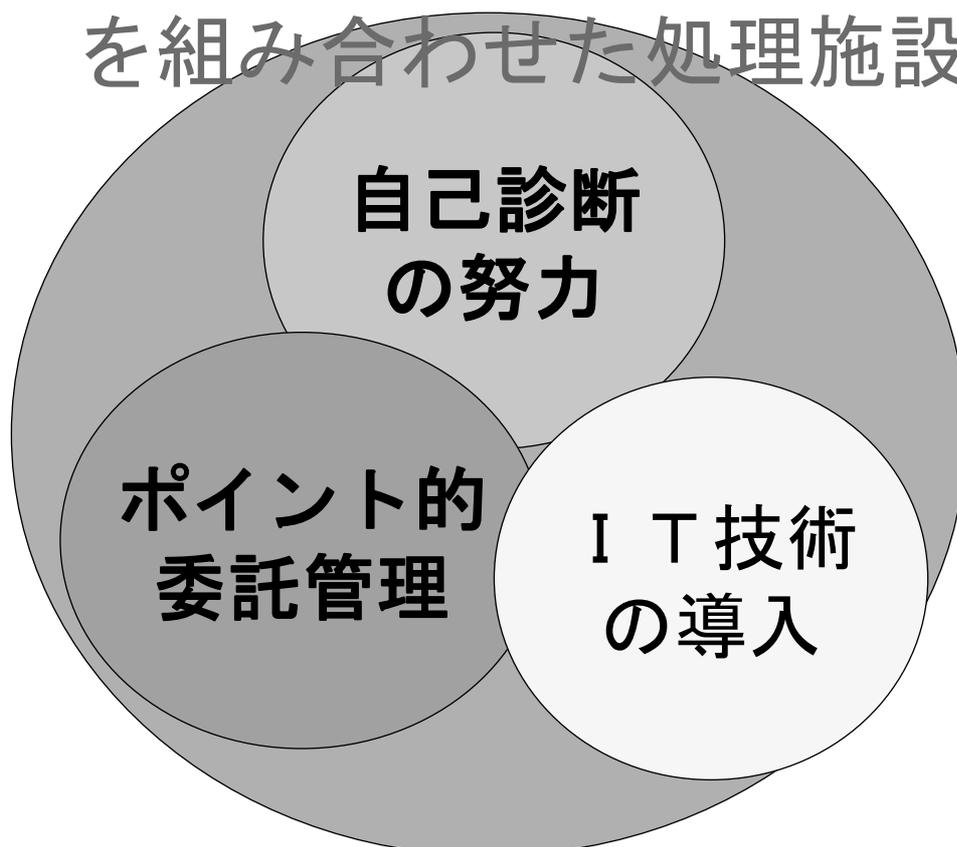
古紙粉末による脱窒実験装置（約50L）





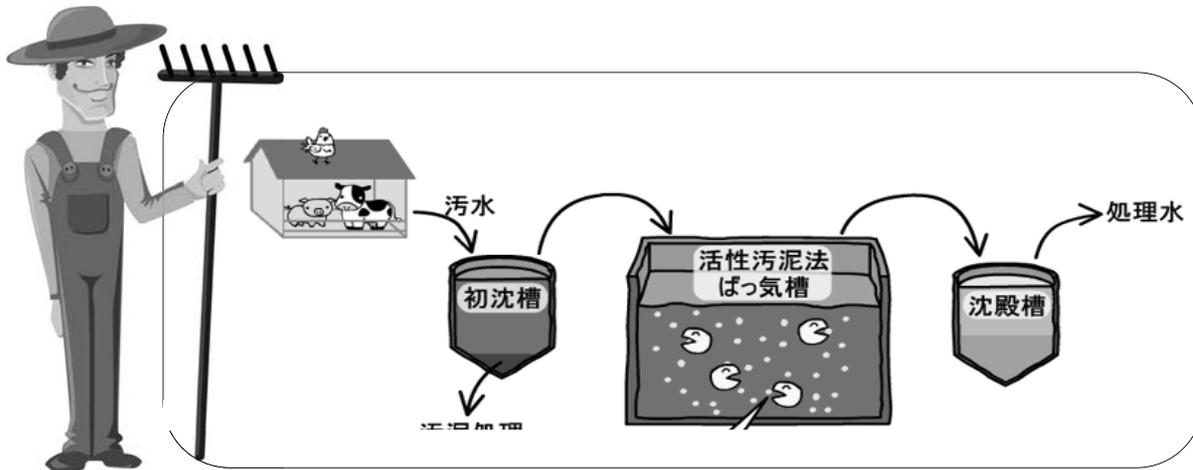


管理の容易な要素技術
を組み合わせた処理施設



目指すべき状況

「管理法は分かりやすいし、少々間違っても大きなトラブルにはならないな。硝酸性窒素規制が厳しくなっても何とかかなりそう。これからは安心して飼養管理に集中できるぞ。」



温室効果ガス発生を抑制する炭素繊維担体を用いた排水処理技術

岡山県農林水産総合センター

畜産研究所 経営技術研究室 白石 誠

1. 背景と目的

近年、温室効果ガス（GHG）の発生量が増加したため気温の上昇や集中豪雨等による農作物や人的な被害が顕在化してきた。このような状況の中、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次報告書では、温暖化に対する緩和対策等が行われないと2100年には平均気温が最大4.8℃上昇するとされている¹⁾。

GHGの発生は畜産経営からも認められており、2014年度における家畜ふん尿処理区分からのGHG排出量は一酸化二窒素（ N_2O ）が4,494 kt- CO_2 換算、メタン（ CH_4 ）が2,361 kt- CO_2 換算であり、我が国のGHG総排出量のそれぞれ0.3%、0.2%を占めている²⁾。また、1990年度の排出量と比較すると N_2O は5.8%の増加、 CH_4 は29.6%の減少となっている²⁾。増加が認められている N_2O については、温室効果が二酸化炭素（ CO_2 ）の298倍と高く、特に浄化処理からの排出係数は養豚で2.87%（ $g-N_2O-N/g-N$ ）、酪農・肉牛共通で5.00%（ $g-N_2O-N/g-N$ ）と処理区分の中でも最も多く発生している。このため、 N_2O に対する早急な対策が必要である。

浄化処理施設から発生する N_2O 対策としては、間欠曝気の効果が確認されている³⁾。しかし、現地において導入する場合、施設設計値の把握や運転管理等の適切な実施を行わないと処理水質の悪化などにつながる恐れがある。

このような中、曝気槽内に生物膜の担体となる炭素繊維（図1）を投入して硝化脱窒をスムーズに進行させ（図2）、 N_2O の発生を削減する生物膜法が山下ら⁴⁾により開発された。

そこで、この炭素繊維担体を用いたGHG削減技術を実規模レベルへつなげるために、有効容積0.7 m^3 の曝気装置を作成し、炭素繊維担体をろ材として用いた生物膜法が N_2O 等のGHG発生に及ぼす影響について調査した。

2. 材料と方法

(1) 試験方法

試験は、当所の養豚ゾーン(飼養頭数 250 頭)及び A 農場(飼養頭数 4,000 頭)の 2カ所で実施した。

試験システムを図 3 に示した。曝気槽に使用した容器は約 1 m³(縦 90cm×横 90cm×高さ 124.5cm)で有効容積を 0.7m³とした。そして、ガス採取のため上部に天蓋を設置し、天蓋の中心部または曝気槽側壁上部に穴を開けて内径 3 mm のガス採取用 P T F E チューブを挿入、測定機器内のポンプにより吸引した。

なお、採取されなかった曝気ของガスは天蓋等の隙間から排出される構造とした。

供試汚水は、スクレーパーによりふん尿分離された豚尿排水を用いた。

汚水の投入量は B O D 容積負荷が 0.2~0.3kg/m³/日となるよう設定し、1日 1 回口径 40mm のポンプ(170L/min、揚程 6m、0.15kw)を用いて投入した。曝気は下部から散気管により行い、1 時間当たり 4.8~6.0m³で 23 時間連続曝気、その後 1 時間曝気を停止し沈殿、曝気停止 45 分後に汚水を投入・排出する回分式とした。

処理方法は試験区として生物膜法を用いた。前述したように、生物膜法は微生物膜表面が好気性、内部が嫌気性となり硝化脱窒がスムーズに進むため一酸化二窒素の発生抑制が期待できる(図 2)。生物膜のろ材には山下ら⁴⁾が用いた炭素繊維担体を利用した。炭素繊維はアクリル樹脂や石油、石炭からとれるピッチ等の有機物を繊維化した後、特殊な熱処理工程を経て作られる微細な黒鉛結晶構造をもつ繊維状の炭素物質⁵⁾である。本試験に供試した炭素繊維担体は、軽くて腐蝕せず、繊維が水中で広がり表面積が拡大され吸着浄化能力を高める特徴がある(図 1)。

なお、対照区としては代表的な浄化処理方法である活性汚泥法を用い、汚水及び処理水等の成分と温室効果ガスである N₂O 等の調査により両法が G H G 発生に及ぼす影響を比較検討した。

(2) 測定方法及び測定項目

1) ガスの測定

測定に供するガスは、前述したとおり天蓋等に挿入した P T F E チュ

ープを通して測定機器へ導入し、GHGとして N_2O 及び CH_4 、悪臭としてアンモニア(NH_3)をマルチガスモニター及びマルチポイントサンプラーにより、数分～15分間隔で連続的に測定した。

N_2O 、 CH_4 及び NH_3 の排出量については、曝気量と曝気槽へ導入される新鮮空気及び曝気による排気ガスの濃度差異(mg/m^3)から求めた。

2) 水質の測定

汚水、曝気槽内、処理水について週1回以上サンプリングを行い測定した。測定項目はpH、EC、COD、BOD、SS、T-N、Kj-N、 NH_4-N 、 NO_x-N 、 NO_2-N 、 NO_3-N 、T-P、VS及び強熱残留物とした。

3) 曝気槽内の性状調査

曝気槽内の性状を調査するため、水面下30cmでpH、溶存酸素、液温をデータロガーにより10分間隔で記録した。また、活性汚泥濃度(MLS)の測定も併せて行った

4) 調査期間

試験は中間的な気温となる春季と秋季に実施した。春季が畜産研究所4月～5月、A農場6月～7月、秋季が畜産研究所、A農場とも10月～11月と計4回試験を実施した。

3 結果及び考察

N_2O 濃度は畜産研究所、A農場ともに炭素繊維を用いた生物膜法(試験区)が活性汚泥法(対照区)に比べ低く推移した。 N_2O の発生量については、畜産研究所試験で試験区が $10.5g\sim 16.1g-N_2O/kg-N$ 、対照区が $20.8g\sim 52.6g-N_2O/kg-N$ 、A農場では試験区が $11.0g\sim 64.3g-N_2O/kg-N$ 、対照区 $65.8g\sim 119.3g-N_2O/kg-N$ となり、いずれも試験区においても N_2O 発生量が明らかに少ない結果であった(図4、5)。

また、水質調査結果から、対照区は試験区と比較して脱窒が進行せず硝酸・亜硝酸態窒素が蓄積してpHを低下させる結果となったが、炭素繊維では硝酸・亜硝酸態窒素の蓄積が少なくpHの顕著な低下は認められなかった。

これらのことから、炭素繊維ろ材では生物膜内部において硝化脱窒がスムーズに進行し、その結果 N_2O の発生量が低下したものと考えられた。

4 まとめ

有効容積 0.7m^3 の曝気槽を用いて、炭素繊維を用いた生物膜法と活性汚泥法から排出されるGHGを測定したところ、 N_2O 発生量は、炭素繊維を用いた生物膜法が活性汚泥法に比較して17～50%と少なく、本法はGHG削減に有効であると考えられた。

5 今後の課題

今回の試験により、炭素繊維をろ材として用いる生物膜法は温室効果が高い N_2O の削減に有効な方法と考えられ、今後農家への普及を図るためには実規模での試験が重要となる。

また、本法は、新たに設置される浄化槽では設計段階で導入が検討できるため特段の問題はないと考えられるが、既存の浄化槽へ導入する場合には、活性汚泥法の性能を維持しつつ炭素繊維担体を設置する必要があるため、浄化槽内の配管や散気管等の位置に配慮して導入の検討を行う必要がある。

以上のことから、今後は実施設において削減効果を検討するとともに試験の設計諸元データを蓄積し、技術の最適化を図っていく必要がある。

謝辞

炭素繊維を用いた温室効果ガス抑制は農研機構 畜産研究部門との共同研究による成果です。

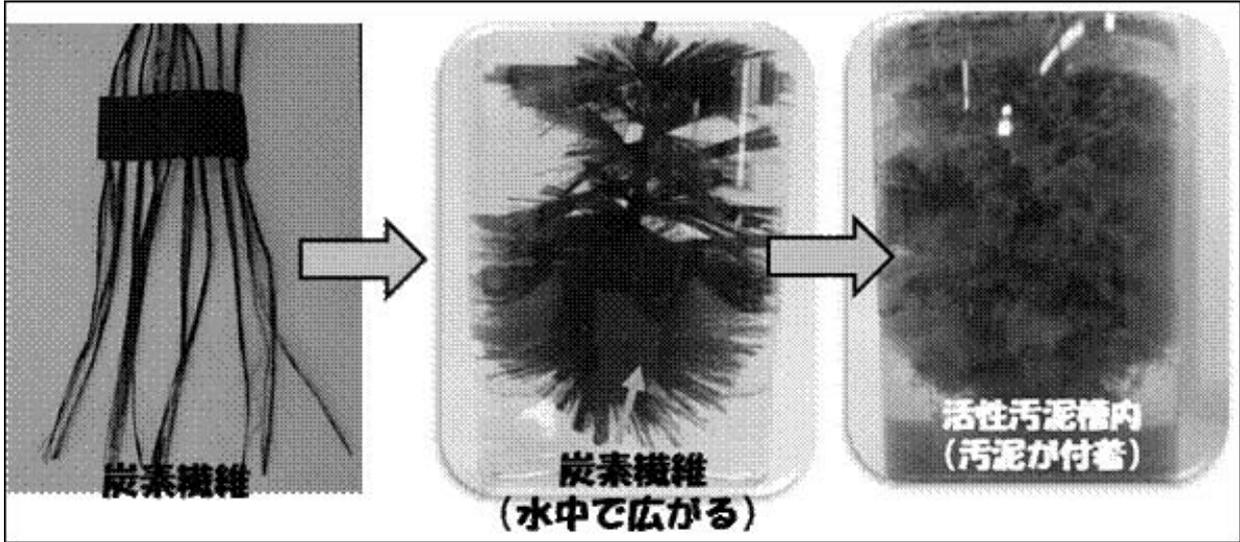


図 1 炭素繊維

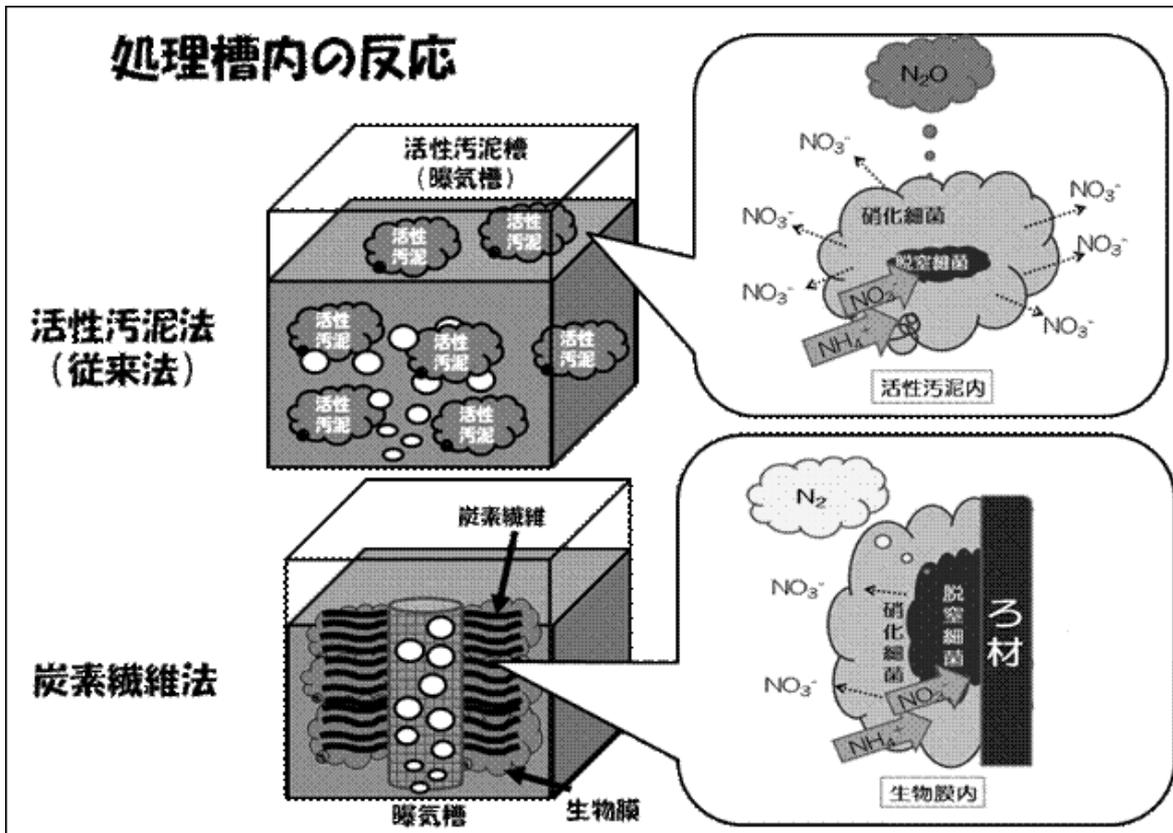


図 2 活性汚泥法と生物膜法の比較

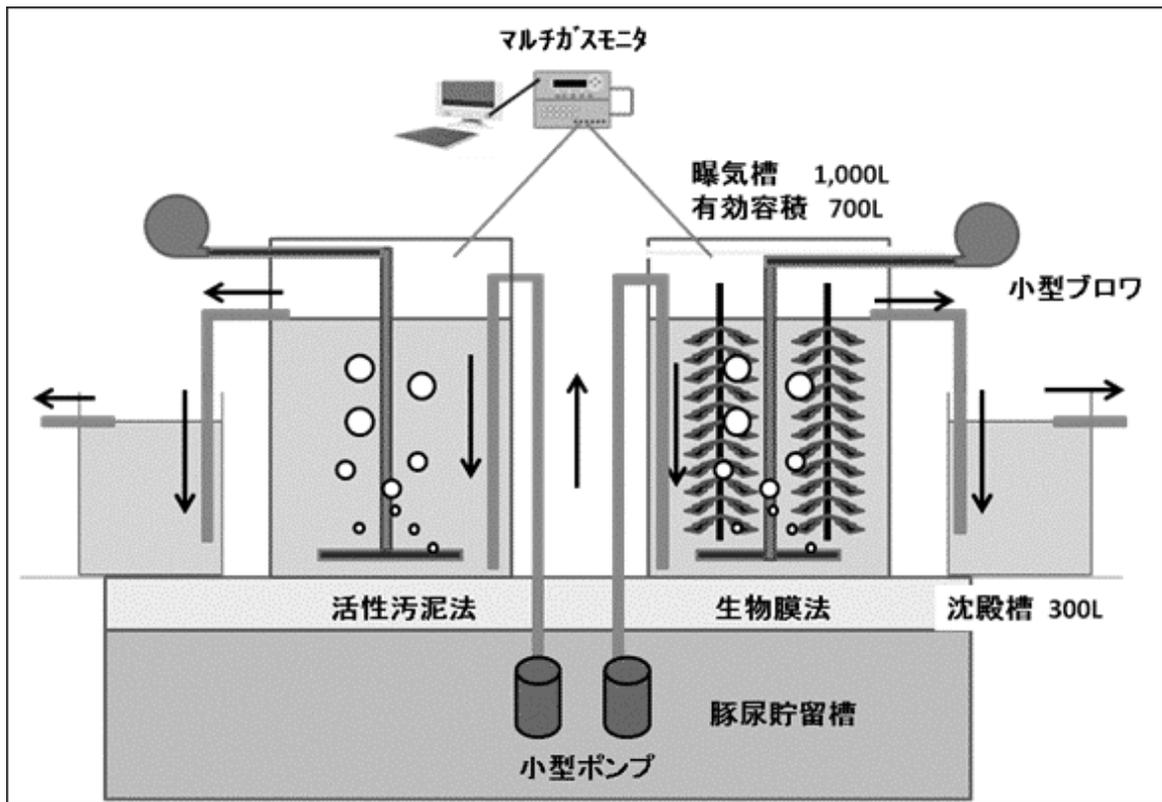


図 3 試験システム

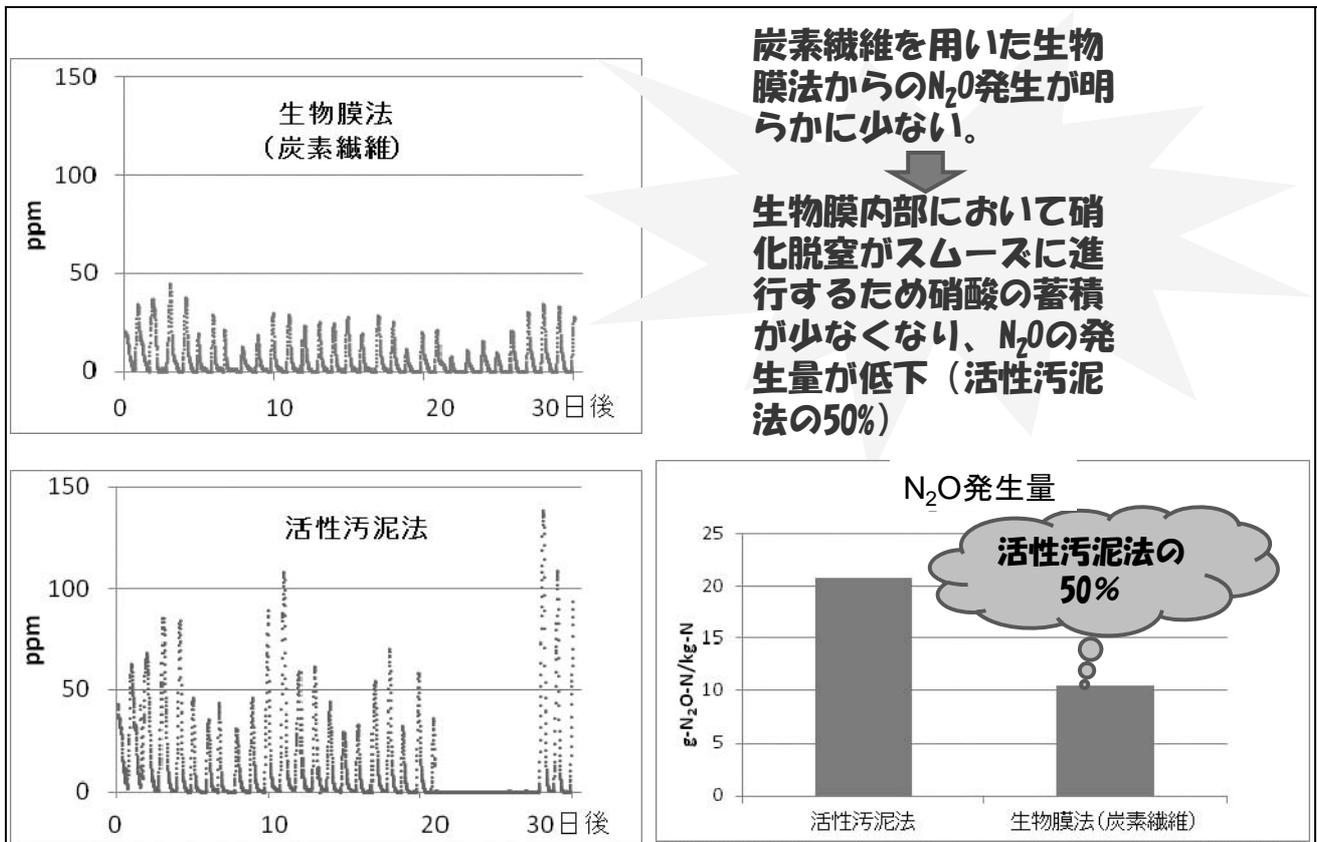


図 4 畜産研究所結果

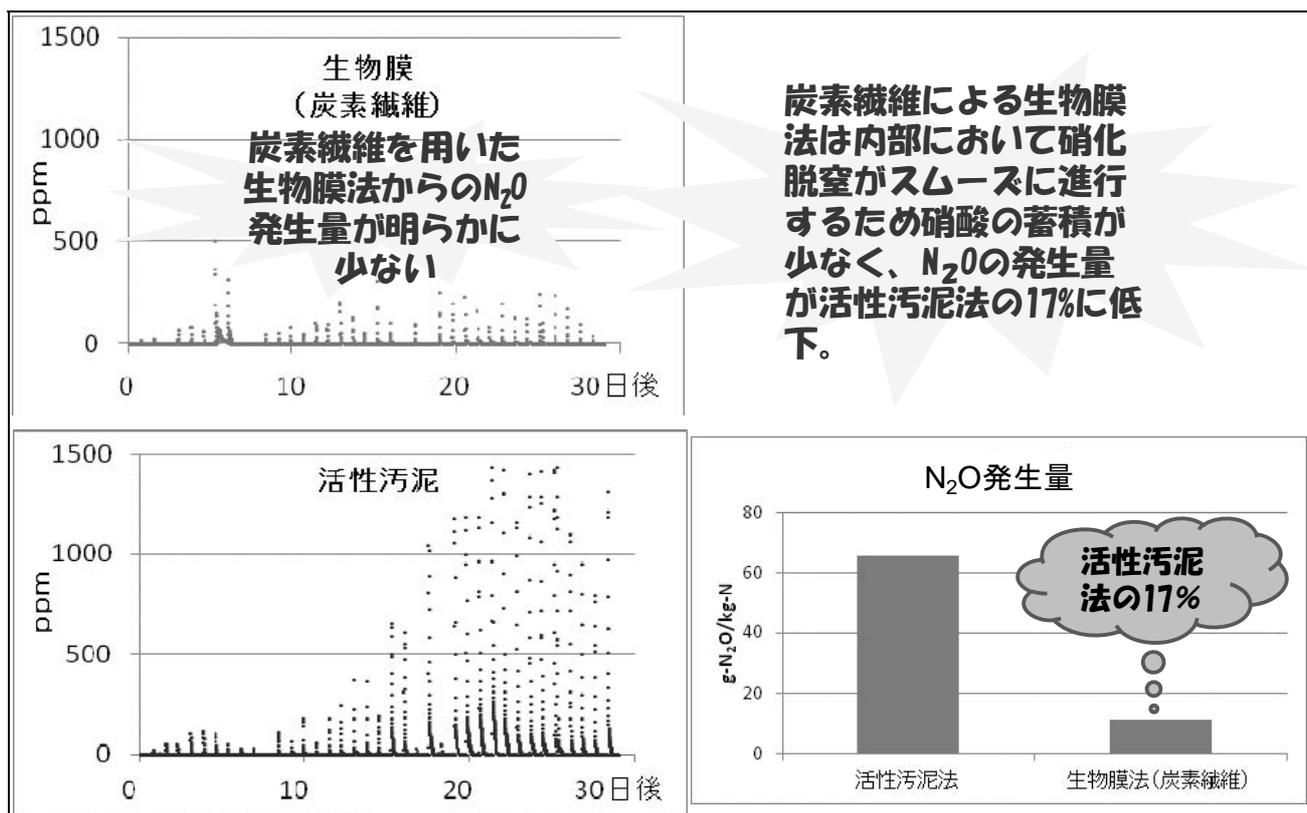


図5 A農場結果

参考文献

- (1) 環境省. 2014. IPCC第5次報告書の概要—第1作業部会(自然科学的根拠).
- (2) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 2015. 温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)編.
- (3) 長田隆. 2002. 豚のふん尿処理に伴う環境負荷ガスの発生. 畜産草地研究所研究報告第2号.
- (4) 山下恭広. 2015. 炭素繊維担体を利用した污水浄化処理技術. 畜産技術 2015年7月号, 18-21.
- (5) JCMA 炭素繊維協会
<http://www.carbonfiber.gr.jp/material/index.html>

畜産廃水処理施設に存在する高濃度アンモニア汚泥

農研機構 畜産研究部門 和木美代子

はじめに

畜舎廃水処理において、水質汚濁防止法の健康項目における「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」への対応が急がれる。この規制項目は公共用水域に水を排出する特定事業所すべてに適用される。一律排出基準として、100mg/Lが設定されているが、これに対して、畜産農業では当該汚水における窒素除去が困難であるとの理由から暫定基準が設定されており、現在は600mg/Lである（2019年6月まで）。当該基準は、今後さらに厳しくなる可能性もあり、一律排水基準を見据えた窒素除去技術開発が必要である。

硝化・脱窒による窒素除去反応

畜産廃水は主に活性汚泥処理により処理されているが、活性汚泥処理過程での窒素除去は、硝化反応および脱窒反応により起こる。硝化反応は、酸素のある好氣的な条件で起こり、アンモニア酸化細菌により、アンモニアが酸素で酸化され亜硝酸が生成する、もしくは、さらに亜硝酸酸化細菌により、亜硝酸が酸素で酸化され硝酸が生成する反応である（図1）。脱窒反応は酸素の無い無酸素条件で従属栄養細菌により起こり、硝酸もしくは亜硝酸が、汚水に含まれる有機物により還元され、窒素ガスが発生する反応である。この硝化反応と脱窒反応がバランスよく起こることにより窒素除去が行われる。硝化反応と脱窒反応は、好気条件と無酸素条件のように、適する条件が異なるが、実際には、活性汚泥浄化槽の中では曝気をしていても部分的に無酸素な空間が生じる、溶存酸素濃度が低く両反応に適用される条件が生じる、また窒素除去を目的として間欠曝気処理が適用されている等の理由で、曝気槽内では両反応が共存して、窒素が除去される。

筆者らがおこなった養豚廃水の処理をおこなう活性汚泥処理施設の調査では、流入水には平均1300mgN/Lの窒素が含まれていたが、概ねその半分以上が、処理過程で除去されていた。しかし一方で、それらの処理水には依然、平均

430mg/L といった高い濃度の窒素が残存しており、将来、窒素規制が強化された場合は、施設によっては窒素除去の高度処理が必要であると考えられる[1]。硝化・脱窒反応により十分な窒素除去を行うには、畜産廃水のように脱窒反応のための有機物（メタノール等）を新たに加える事がコストの点から困難な場合、処理前の原污水に含まれる有機物/窒素比が十分に高い必要がある。養豚廃水処理において、適切な間欠曝気または回分式運転を行うことで、硝化反応—脱窒反応を保持し 90%以上の窒素除去を行うのに必要な有機物/窒素比(BOD/N比)は3程度以上との報告があるが[2][3]、筆者らが調査した養豚廃水処理施設の一次処理水（活性汚泥流入水）のBOD/N比は、平均2.7で、最小0.02、最大5.1であり、有機物濃度が窒素除去の視点で不足している施設が存在する[1]。

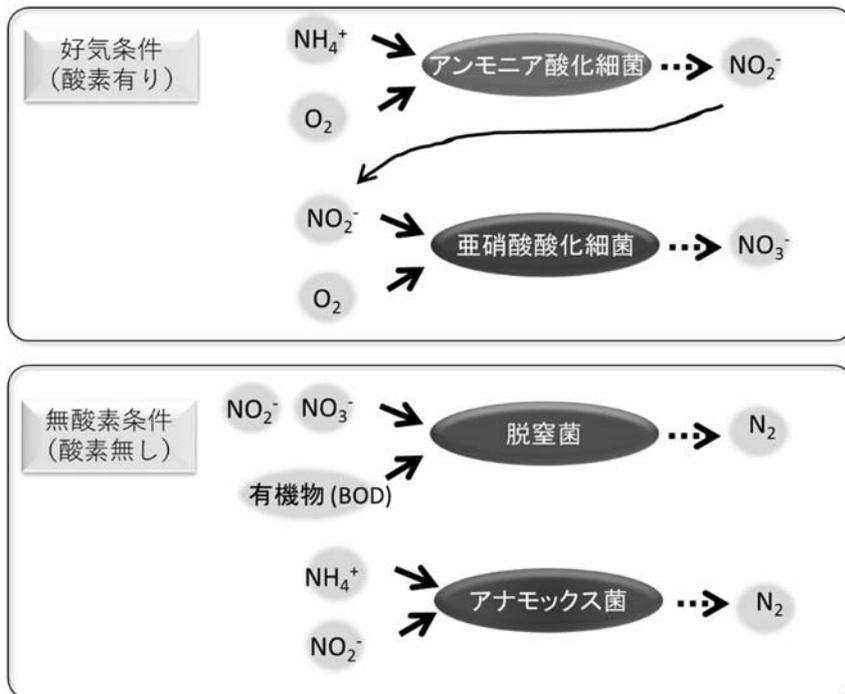


図1 窒素代謝に関わる微生物反応

アノモックス反応

アノモックスは、アンモニアと亜硝酸という無機窒素化合物同士をカップリングさせることにより、窒素ガスを生成する微生物による反応である（図1）。1990年代に工場廃水の浄化処理施設に存在することが見出された[4]。その反応は脱窒のための有機物が不要であることから、有機物/窒素バランスの低い汚

水からの窒素除去への利用が期待されている。当該微生物の特徴として、独立栄養細菌でありその増殖速度が極端に遅いこと、すなわち、まとまった量の菌体を得るのに長い培養期間を要することが挙げられる。反応は無酸素条件下で起こるが、多少の酸素に触れても直ちに死滅することは無い。また、菌体濃度が高まると、菌体の多くを占める、ヘムを持つヒドラジン酸化酵素のため、赤く見える。当該反応を用いた処理のための装置化においては、反応に亜硝酸が必要であり、亜硝酸は好気条件下で容易に硝酸に酸化されることから、亜硝酸酸化反応を押さえながら、基質となる亜硝酸を汚水中に保持することに技術を要する。

畜産廃水処理施設における高濃度のアナモックス菌

アナモックスは従属栄養細菌に比べて増殖速度が各段に遅いことから、通常の有機物が多く含まれる汚水においては、そこに含まれる菌の濃度は極端に低い。環境サンプル中の微生物濃度を調べる手段として、定量 PCR の技術がある。当該技術は、非常に感度が高いことから、当該手段を用いれば、汚水（汚泥）中にアナモックス菌の存在が検出される場合もあるが、多くの場合その濃度は高くなく、それらの汚泥を用いてアナモックス菌を集積する場合、最適条件においても数ヶ月はかかる。

しかし、筆者らは、養豚廃水の活性汚泥処理施設において、バイオフィームに着目して調査を行った結果、非常に高濃度のアナモックス菌が複数施設において存在していることを見いだした。汚泥は目視で赤いことが確認され、最も高いもので、約 $300 \mu\text{mol-N}_2/\text{g-IL/h}$ の活性が示された。これは単純に計算すると、MLVSS 5000 mg/L の条件で、 $1\text{kgN}/\text{m}^3/\text{day}$ の窒素除去活性を持つ事に相当する。すなわち、汚泥は、集積過程を経ることなく、アナモックスリアクターとして利用なレベルであると言える。汚泥中にはアナモックス菌である、*Candidatus Brocadia* もしくは *Ca. Jettenia* に近縁な微生物が存在していた。このようなバイオフィームは曝気槽中の溶存酸素濃度が低い施設において見いだされる傾向があった。このような溶存条件、現象は、硝化・アナモックス・脱窒反応が同時に起こるプロセス (SNAD (simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification) process [5]) に共通しており、汚泥が見いだされた施設

においても、当該反応が起こっていたと推測された。バイオフィルムに着目して調べることにより、畜産処理施設において、高濃度のアナモックス菌を含む汚泥を入手できる可能性がある。今後は、当該汚泥を用いて、処理装置を運転する予定である。

謝辞

アナモックス汚泥の調査は、茨城県畜産センターおよび、静岡県中小家畜研究所との共同研究の成果である。本研究の一部は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(課題番号 28008A)および先端ゲノム解析支援共同研究の助成を受けて実施した。

参考文献

1. 和木美代子 他、養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素の特性. 水環境学会誌 2010. **33**(4): p. 33-39.
2. Osada, T., K. Haga, and Y. Harada, *Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process*. Water Research, 1991 **25**(11): p. 1377-1388.
3. 金主鉉 他、回分式間欠曝気活性汚泥法による豚舎排水の有機物・窒素除去に関するパイロットプラント実験. 水環境学会誌, 1999. **22**(12): p. 990-996.
4. Strous, M., et al., *Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (anammox) process in different reactor configurations*. Water Research, 1997. **31**(8): p. 1955-1962.
5. Wang, C.C., et al., *Simultaneous partial nitrification, anaerobic ammonium oxidation and denitrification (SNAD) in a full-scale landfill-leachate treatment plant*. Journal Of Hazardous Materials, 2010. **175**(1-3): p. 622-628.

密閉縦型堆肥化装置における堆肥発酵熱利活用の可能性

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産研究部門 中久保 亮

はじめに

ふん尿処理に頭を悩ます畜産農家は少なくない。ふん尿処理が畜産農家の義務ではあるものの直接的メリットの少ない、経営コストとして負担すべき存在であることが、その根本的要因として考えられる。ふん尿由来の悪臭苦情は養豚経営の存続に関わる問題であり、ふん尿処理をないがしろにすることはあり得ない。しかし、適切な堆肥化を行うためには水分調整、切返し、ブローによる強制通気等、労力・経費が必要であり、これは堆肥の販売では到底賄いきれないコストである。そこで筆者らは、ふん尿処理を経営負担から経営メリットへと転換する画期的な堆肥化関連技術として、堆肥発酵熱を活用した高度堆肥化システム（スマートコンポスト）を提唱し、実用化に取り組んでいる。

密閉縦型堆肥化装置

有機物の堆肥化では、有機物 1 kg あたり灯油 550g 相当 (20MJ) の発酵熱が発生する。日本で飼養されている豚のふん排泄量 788 万 t/年 から灯油換算で 6.5 万 kL/年の熱エネルギーが未利用のまま大気中へ排出されている計算である。これは、農林業全体の消費エネルギーの約 84% (資源エネルギー庁エネルギー消費統計) に相当する膨大なエネルギー賦存量である。この発酵熱を畜産経営に活用するために、筆者らは密閉縦型堆肥化装置に着目した。

密閉縦型堆肥化装置は「コンポ」、「縦コン」といった通称で知られており、中小家畜を中心に広く全国に普及している (図 1)。密閉した装置内でふん尿を機械的に攪拌・強制通気するもので、従来の堆肥化方式と比較して発酵期間を短縮できること、縦型に設置するため省スペースであること、切返しや水分調整の手間を必要としないこと、密閉式であるため悪臭処理が比較的容易であること、といったメリットがあり、国内稼働 6000 基と日本畜産業に広く普及している堆肥化施設である。また、文字通り密閉構造であることから排気として排出される堆肥発酵熱を比較的容易に回収可能である。本講演では、密閉縦型堆肥化装置から 60~70℃ の排気として排出され



図 1 密閉縦型堆肥化装置

る発酵熱を活用した①堆肥化装置の入排気熱交換による堆肥化装置への発酵熱返送、②堆肥発酵排熱による子豚床暖房について、その概要をご紹介します。

堆肥発酵熱返送

密閉縦型堆肥化装置は他の堆肥化施設と比較して大風量による通気を行うため、堆肥化装置に入気される外気温度の影響を受けやすく、冬季には発酵状態が不安定になりやすいことが経験則として知られている。この対策として、堆肥化装置メーカーは電熱ヒーターによる入空気加温装置を用意しているが、堆肥化装置消費電力が20～50%増加するため、使用されない場合も多い。そこで、堆肥化装置の入排気熱交換により、発酵熱を乾燥温風として堆肥化装置に返送し、発酵プロセスの安定化を試みた。農研機構では、堆肥底部から空気を吸引する吸引通気式堆肥化システムにおいて、50℃相対湿度100%の排気から発酵熱(0.45MJ/(時・m³_{原料}))を回収し、45℃の温水を生産する熱交換システムを開発済みであり¹⁾、本研究はこの技術を密閉縦型堆肥化装置に応用したものである。

【実験方法】

栃木県那須塩原市に位置する搾乳牛100頭規模の農場に設置されている密閉縦型堆肥化装置(中部エコテック(株)D63型)において、実証試験を行った。直交流プレートフィン型熱交換器(セキサーマル(株))を設置して堆肥化装置の排気と入気との熱交換を行い、入気温・湿度、排気温度、入気CO₂濃度、排気CO₂濃度を測定した。CO₂濃度測定にはLGR社製温室効果ガス濃度アナライザーを使用した。

【結果と考察】

試験期間中、通気量は約7m³/min、平均入気温度2.7℃(24.8%RH)、平均排気温度は62.8℃であった。図2に発酵原料投入による排気CO₂濃度および排気温度変化を示す。試験農場では朝・夕の一日2回、堆肥原料(牛ふん尿スラリーおよび廃白土)が堆肥化装置に投入される。堆肥原料投入により、CO₂濃度および排気温度は急激に低下した。堆肥化微生物群の活性は約54℃で最大化することが知られているが、本試験においても54℃近辺を境に微生物活性の変化がみられた(図3)。

熱交換器により、入気空気は2.7℃から43.6℃に加温された。供試堆肥化装置には3kWのヒーターが装備されているが、熱交換器による発酵熱返送によりこれを上回る5kWの出力が得られた。農場へのヒアリング調査では、堆肥発酵熱返送により処理量は夏季5m³/day、冬季4m³/dayからそれぞれ6m³/day、5m³/dayに増加しており、特に冬場において発酵安定化に寄与するものと考えられる。

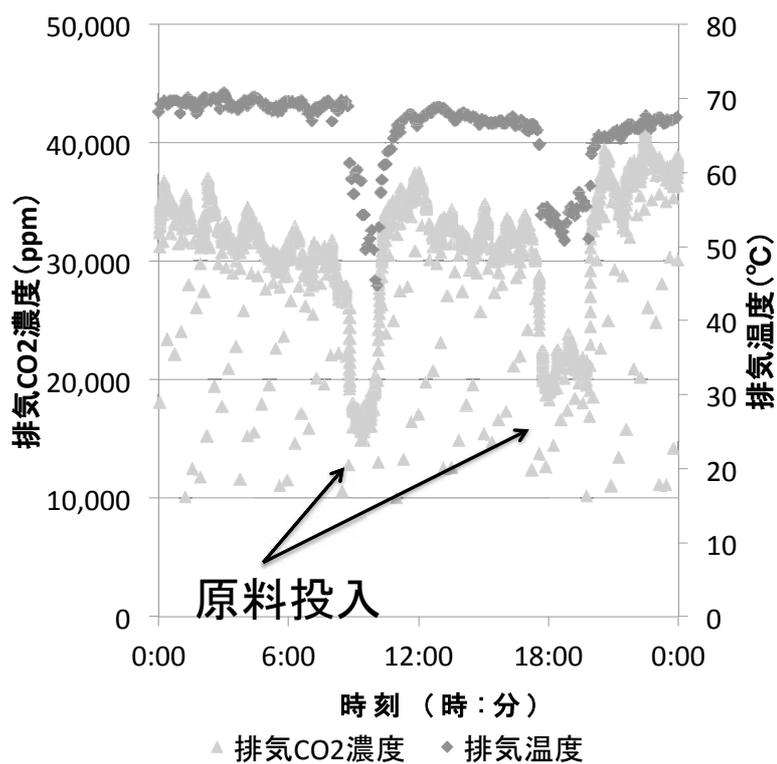


図2 発酵原料投入による CO₂ 濃度および排気温度変化

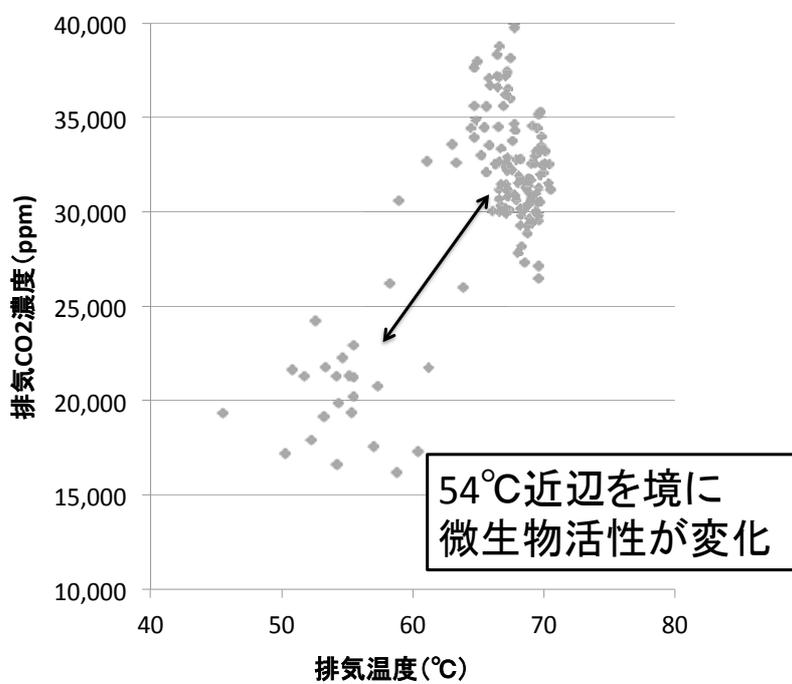


図3 排気温度と排気 CO₂ 濃度との関係

堆肥発酵熱床暖房

子豚の保温・暖房技術として近年普及が進んでいる豚舎床暖房は優れた飼養管理技術である反面、母豚 200 頭一貫経営農場に換算して年間 70 万円という暖房コストが課題となっている。そこで、密閉縦型堆肥化装置の 60～70℃の排気の熱交換で得られた温水により、灯油焚き床暖房を代替する堆肥発酵熱床暖房システムの実証試験を行った。

【実験方法】

福島県の母豚 200 頭一貫経営の養豚場に既設の密閉縦型堆肥化装置（中部エコテック（株）S36 型）を使用した。通常時と同様の堆肥化条件で試験を実施し、発酵槽容積 39m³ に対して、豚ふんおよび浄化槽汚泥をそれぞれ 3 m³/day および 1 m³/day 投入した。

直交流プレートフィン型熱交換器（セキサーマル（株）CP250）を堆肥化装置から排気脱臭槽への排気配管に設置した（図 4）。灯油焚き床暖房システムが導入されている分娩豚舎と熱交換器とを循環する温水配管（口径 32mm ポリエチレン 2 層管、総延長 320m）を地下埋設し、ラインポンプ（荏原製作所 32LPS5.75A、出力 0.75kW）により熱交換温水を循環させた。

貯湯タンクとして容積 500L の丸型バルククーラーを分娩豚舎灯油ボイラー室に隣接して設置した。タンク内に温度センサ設置し、温度調節器（オムロン（株）E5CC）およびラインポンプ回転数制御用インバータ（三菱電気（株）FR-S500）からなる PID 制御系により、タンク内温水温度を制御した。

分娩豚舎に既設の灯油ボイラー床暖房システムに上述の貯湯タンクを接続し、堆肥化装置排気熱交換により得られた温水を熱媒として床暖房に供試した。分娩豚舎内には 400mm×600mm の床暖房パネルが合計 144 枚設置されており、暖房能力はカタログ値で 62MJ/hour であった。床暖房システムは通常冬季のみの稼働であり、温水温度 41℃を目標値として灯油ボイラーによる連続加温が行われていたが、本実証試験は夏季に実施したため、農場主の意向により貯湯タンク温水温度 39℃を目標値とした。堆肥化装置排気熱交換による加温のみで床暖房システムを稼働させ、灯油ボイラーによる加温は行わなかった。

2016 年 7 月 9 日から実証試験を開始した。外気温、熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換前温水温度、熱交換後温水温度、貯湯タンク流入温水温度および貯湯タンク内温水温度を測定し、堆肥発酵熱床暖房システムの稼働状況を評価した。

【結果と考察】

図 5 に試験期間中の外気温、熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換前温水温度、熱交換後温水温度、貯湯タンク流入温水温度および貯湯タンク内温水温度の温度推移を示す。

貯湯タンク温水温度は堆肥化装置の排気温度変化に影響されることなく 39℃を維持しており、貯湯タンク温水温度を目標値とする熱交換用ポンプ回転数の PID 制御により、発酵熱床暖房の安定稼働が可能であることが示された。

熱交換前排気温度、熱交換後排気温度、熱交換後温水温度には発酵原料の投入に伴う急激な温度低下がみられた。冬季においては、外気温度の低下に伴い排気温度が低下し、かつ熱交換器と分娩豚舎床暖房とを繋ぐ総延長 320m の温水配管からの熱損失が増大する。このため、冬季の発酵原料投入時には一時的に灯油ボイラーによる補助加温が必要だと考えられた。

平均出力 60.6kW の排気発酵熱から床暖房出力 5.1kW を取得した (図 6)。これは灯油消費量 12L/day、灯油コスト 3 万円/月に相当する。また、熱交換用ポンプ消費電力は平均 0.19kW (電気料金換算で 2200 円/月) であった。

今後は冬季実証試験を実施し、実証データを蓄積する予定である。



図 4 熱交換器

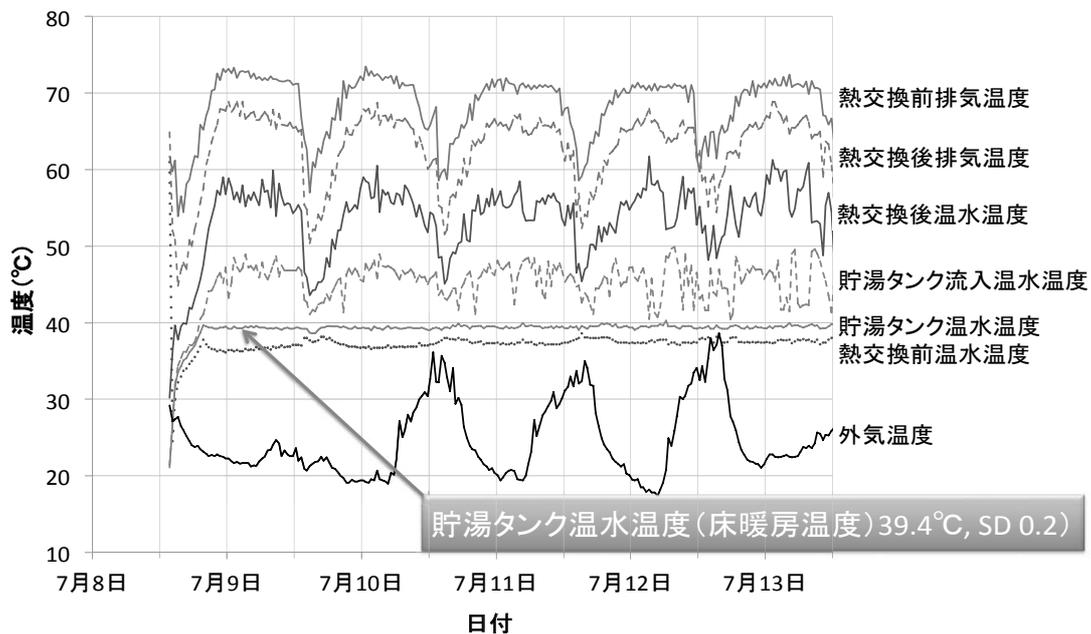


図 5 貯湯タンク温水温度 (床暖房温度) 他の経時変化

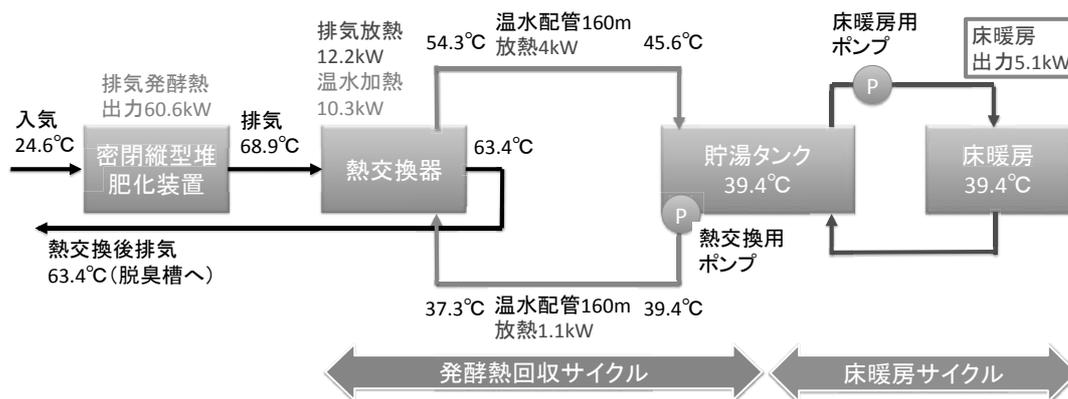


図6 発酵熱床暖房のシステム概要および平均出力

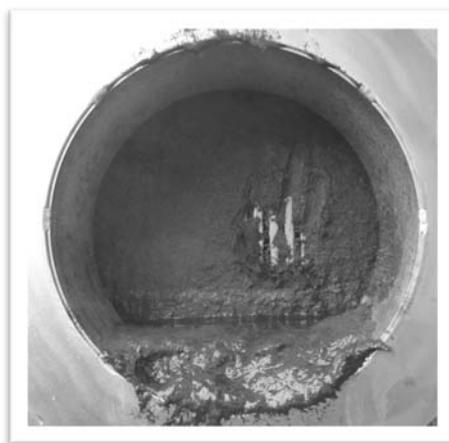


図7 堆肥粉塵による熱交換器の閉塞

今後の展開

密閉縦型堆肥化装置は吸引通気式堆肥化と比較して熱交換で得られる熱量が大きく、発酵熱利用に適したふん尿処理方式といえる。しかし、長期稼働では排気中に含まれる堆肥粉塵により熱交換器が閉塞する(図7)、温水配管内へのバイオフィーム形成等のトラブルが発生することもあり、継続的な実証研究によるノウハウ蓄積が普及の鍵である。

謝辞

堆肥発酵熱床暖房についての研究は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」による助成により実施されました(課題番号 28025C「畜産経営基盤強化に資する高度堆肥化システム(スマートコンポスト)の実証」)。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小島陽一郎、阿部佳之. 2011. 吸引通気式堆肥化処理による発酵熱の回収と利用-異なる副資材の混合が熱の回収量および利用量に与える影響. 農業施設農業施設 42(2), 51-58.

本資料より転載・複製する場合は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得てください。

畜産研究部門 平 28-4 資料

平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会資料

編集・発行 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
企画管理部

Tel.029-838-8290、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

発行日 平成 28 年 11 月 10 日

印刷所

