

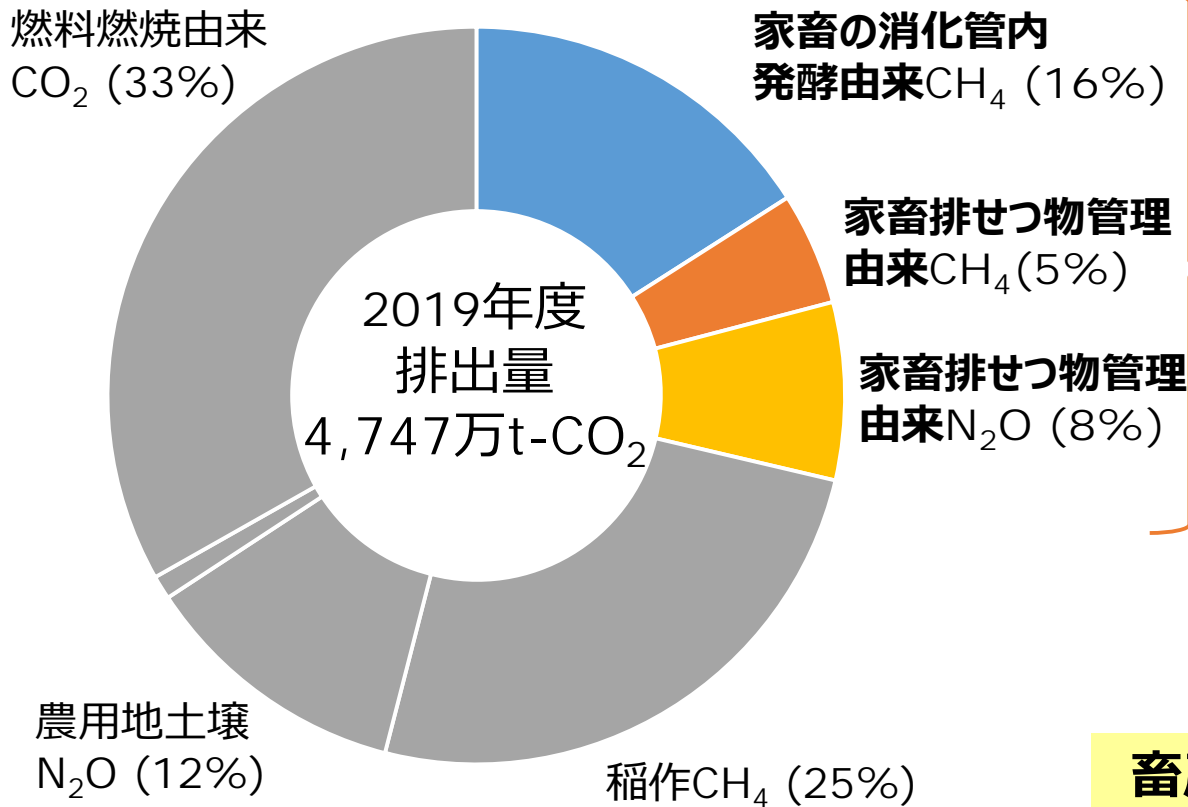
第4回DSMサステナビリティ経営フォーラム  
2022年9月27日

# 日本における畜産業からの 温室効果ガス削減技術開発

農研機構畜産研究部門  
山崎 信

## 農林水産業からのGHGの排出と畜産の割合

全体に占める農林水産業からの割合は、約4%



「みどりの食料システム戦略」の策定  
2030年に温室効果ガスを46%削減  
2050年のカーボンニュートラル実現  
そのためには



畜産は農林水産業由来温室効果ガス (GHG) のうち3割程度を占めていることから



**畜産由来GHGを削減する必要**

CH<sub>4</sub> : メタン、N<sub>2</sub>O : 一酸化二窒素

## メタン産生量測定法について

### チャンバー法

ガス採取

からだ全体を  
隙間なく囲う

牛出入口

搾乳室

搾乳用扉

ヒト出入口

- すべての呼気を回収可能
- 最も精密にガスを測定する方法
- 元々は牛のエネルギー代謝を測定
- 熱産生、消化率を測定できる
- 温湿度制御
- **日本では農研機構にある4台のみ**

### ヘッドボックス法

- 首から上部をフードの中に入れ、呼気を回収
- 呼気以外(糞尿血液等)も経時的にサンプリングが可能



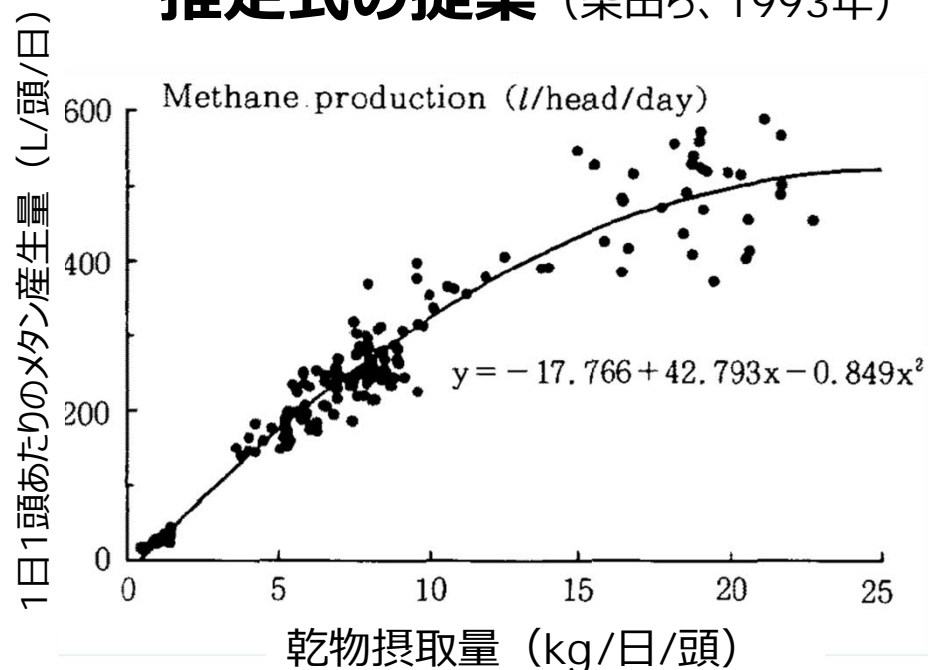
- 日本飼養標準（乳牛）
- 日本標準飼料成分表



我が国唯一の、家畜飼養の基準となる刊行物（乳牛は1963年初版、2017年に6次改訂版出版）

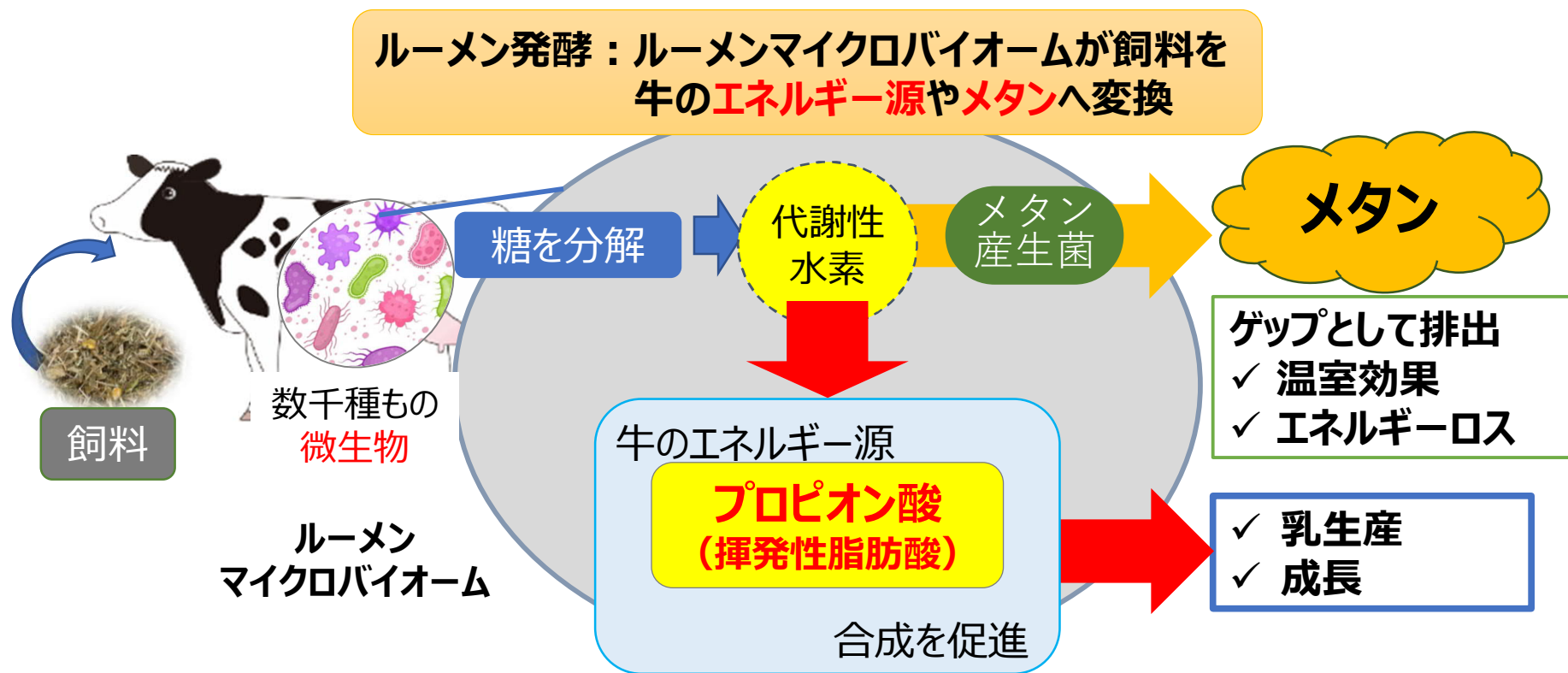
エネルギー代謝を測定することにより、成長過程や生産量等に応じた適正な養分要求量を示す

- 反すう家畜からのメタン産生量推定式の提案（柴田ら、1993年）



我が国の温室効果ガス  
インベントリの算定に活用  
（日本国温室効果ガスインベントリ報告書、2021年）

- 飼料から摂取したエネルギーの6~12%はメタンとして損失
- メタン排出量を80%削減することで、乳・肉生産に配分されるエネルギーを最大10%向上⇒**持続性と生産性向上の両立**



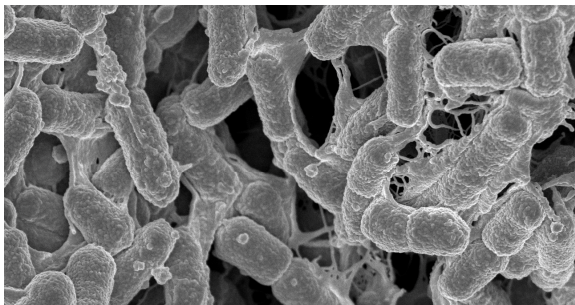
**ルーメンマイクロバイオームの制御がカギ**



## ■ 農研機構が発見した新規プロピオン酸増強菌の機能最大化と利用技術を開発

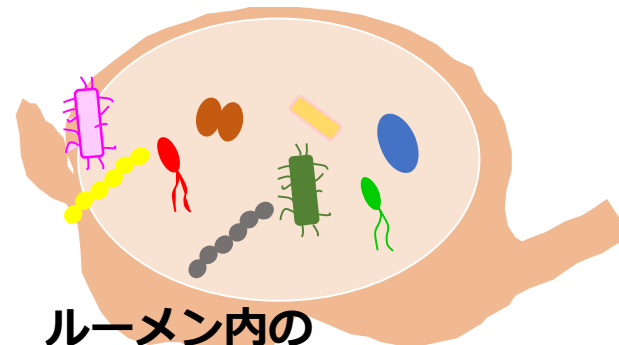
- ①新規プロピオン酸増強菌の特性解明
- ②新規プロピオン酸増強菌とルーメン微生物群内での役割解明

### 新規プロピオン酸増強菌



*Prevotella lactificifex*と命名

### ルーメン微生物との相互作用



ルーメン内の  
プロピオン酸産生関連微生物

機能最大化

**プロピオン酸産生増強**  
→メタン削減、乳・肉の生産性向上を目指す

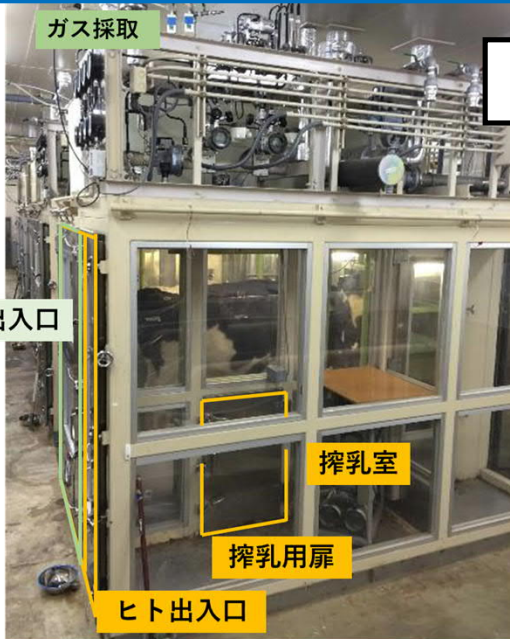
ムーンショット型  
研究開発事業

メタン産生が多い牛と少ない牛がいることがわかってきた⇒育種選抜によりメタン産生量を削減できないか

精度↓ 頭数↑

多くの牛のメタン産生量を測定したい！

3方（両側と前）のみ囲った半開放空間



### チャンバー法

- すべての呼気を回収可能
- 最も精密にガスを測定する方法
- 日本では農研機構にある4台のみ

### ヘッドボックス法

- 首から上部をフードの中に入れ、呼気を回収
- 呼気以外(糞尿血液等)も経時的にサンプリングが可能

### スニファー法

- 半開放空間において呼気ガスを一部採取し測定する方法
- メタン産生量の相対比較が可能
- 取り外しできるので一般農場での測定が可能

牛の消化管内発酵由来メタンを削減するため、メタン発生量削減に向けた牛の育種方策を確立する

## ■ 育種現場（農場レベル）で使える 新規メタン発生測定システムを開発

- 搾乳ロボットを利用（乳用牛）
- 搾乳中の呼気のメタン/炭酸ガス比を測定
- 乳用牛用および肉用牛用測定システムを開発



## ■ 多頭数の個体別メタン発生データの 測定・蓄積

1日2～3回、7日間の  
測定から平均的な  
CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>比を求め推定



## ■ メタン発生量推定方法を開発

- 搾乳ロボット内の牛の呼気中メタン濃度と二酸化炭素濃度からメタン排出量を推定する算出式2種類を開発
- 普及員、牛群検定員、コンサルタント、公設試等で活用できる測定・算出方法をマニュアル化して公表

メタン排出量算出式

マニュアル

### ① 乾物摂取量を用いる高精度な式

$$\text{CH}_4(\text{L/day}) = -397 + 0.317 \text{ 体重} + 13.3 \text{ 乾物摂取量} + 3.14 \text{ エネルギー補正乳量}^* + 4343 \text{ CH}_4/\text{CO}_2 \quad (R^2=0.898)$$

### ② 乾物摂取量が不要な簡便式

$$\text{CH}_4(\text{L/day}) = -507 + 0.536 \text{ 体重} + 8.76 \text{ エネルギー補正乳量} + 5029 \text{ CH}_4/\text{CO}_2 \quad (R^2=0.833)$$

\*エネルギー補正乳量 (kg/日) = 乳量 × (376乳脂率 + 209乳蛋白質率 + 948) / 3138, Tyrell & Reid (1965)

### ウシルーメン発酵 由来メタン排出量 推定マニュアル

呼気中メタン/二酸化炭素濃度比  
を活用した on farm 測定法

本マニュアルは、農研機構（NARO）が実施した「牛の消化管内発酵由来メタン排出量推定マニュアル」に基づき、普及員、牛群検定員、コンサルタント、公設試等が活用できるように作成されたものです。  
ルーメンに存在する微生物によって発生されるメタンは、ルーメン内で消化管の他の部分へと移動する前に大部分が消化管の壁から吸収されます。  
気候変動緩和コンソーシアム  
2022年3月



## ■ 低メタン発生牛の作出に向けた 育種改良の可能性を評価



## 1 背景

## 2 乳牛

### 2.1 測定手法

2.1.1 搾乳ロボットを利用した $\text{CH}_4$ と $\text{CO}_2$ の測定方法

2.1.2  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ 比を用いた $\text{CH}_4$ 排出量推定方法

### 2.2 測定精度に影響する諸要因

飼料、泌乳ステージ、環境温度、行動

## 3 肉用牛

### 3.1 測定手法

3.1.1 ドアフィーダーでの測定

3.1.2 自動切替による多頭数測定

### 3.2 測定精度に影響する諸要因

## 4 参考

4.1  $\text{CH}_4$ 関連形質の育種改良

4.2 安価なガスセンサーを用いた多頭数測定

### ウシルーメン発酵 由来メタン排出量 推定マニュアル

呼吸中メタン/二酸化炭素濃度比  
を活用した on farm 測定法

これまでウシルーメン発酵由来メタン排出量の測定は、呼吸中メタン/二酸化炭素濃度比を測定する方式と、ブリーディングによる呼吸器からの排出量を測定する方式とが主流であった。本マニュアルは、呼吸中メタン/二酸化炭素濃度比を活用した on farm 測定法について解説する。

農研機構畜産科コンソーシアム  
2022年3月

国内には137万頭の乳用牛と261万頭の肉用牛

群飼が基本の肉用牛での測定方法も解説  
メタン関連形質の育種改良についても解説



## SF<sub>6</sub>法

インデックスガスとして六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) を利用する方法。一定時間当たりのSF<sub>6</sub>放出量を測定済の徐放性カプセルをルーメン内に投与し、鼻先にガス採取用のノズルを取り付け、長時間にわたって呼吸を採取する。



## GreenFeed法

移動式のフィードステーションにガス採取・分析システムを付置した機材です。CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>分析装置と流量計が設置されており、フィードステーション利用時間のCH<sub>4</sub>排出量を実測する



## レーザーメタンディテクター (LMD) 法

ガス漏れ検知に使われていたCH<sub>4</sub>探知機を使用し、CH<sub>4</sub>の濃度変化をもとにCH<sub>4</sub>排出量を推定

## 家畜の消化管内発酵由来CH<sub>4</sub>の抑制に向けて

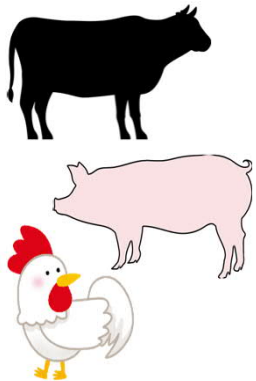
- ルーメン内微生物の制御
- メタン発生量の少ないウシの選抜（育種改良）
- 飼料、栄養管理の工夫、資材の添加
- 1頭当たりの生産性の向上



**総合的に消化管内発酵由来メタンの制御に取り組む**

## ふん尿処理過程で発生するGHG の削減に、3つの方向から取り組む

### (1) $N_2O$ の元となる排せつ窒素量を低減



#### アミノ酸バランス改善飼料

飼料添加物のアミノ酸の活用により、生産性に影響を及ぼすことなく飼料中の粗タンパク質含量を下げ、排せつ窒素量を低減できる

### (2) 堆肥化処理過程での $N_2O$ を削減



#### $N_2O$ 発生状況の把握

堆肥から発生する $N_2O$ を効率的に削減するための方策

### (3) 汚水浄化処理で発生する $N_2O$ を削減



#### 新たな担体の投入による脱窒反応の促進

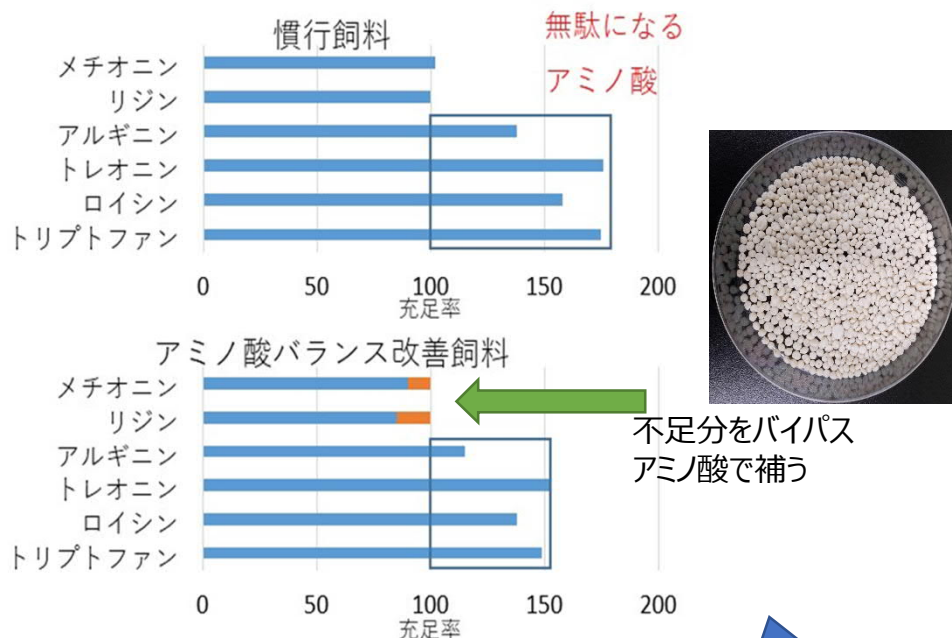
汚水浄化処理施設の曝気槽に炭素繊維リアクターを導入することで、脱窒がスムーズに進行し、 $N_2O$ の排出を削減できる



# アミノ酸バランス改善飼料で牛排せつ物由来の温室効果ガスを削減

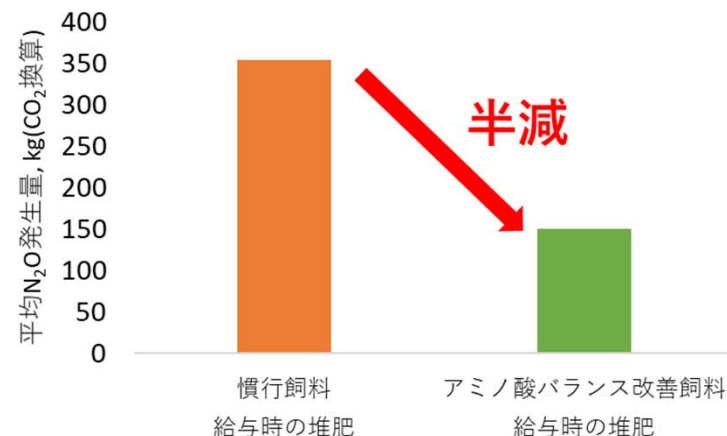
## アミノ酸バランス改善飼料

慣行飼料では給与過剰となりやすいタンパク質原料の配合割合を減らし、不足がちになるリジンやメチオニンを補うことでアミノ酸の給与バランスを改善した飼料



CPを3ポイント低下

## 堆肥化過程からのN<sub>2</sub>O発生量



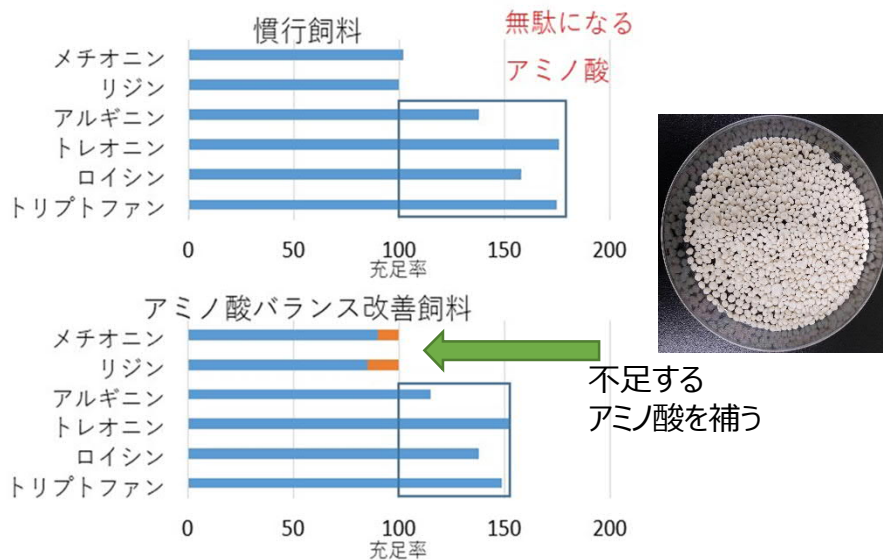
## 肥育農家での給与試験



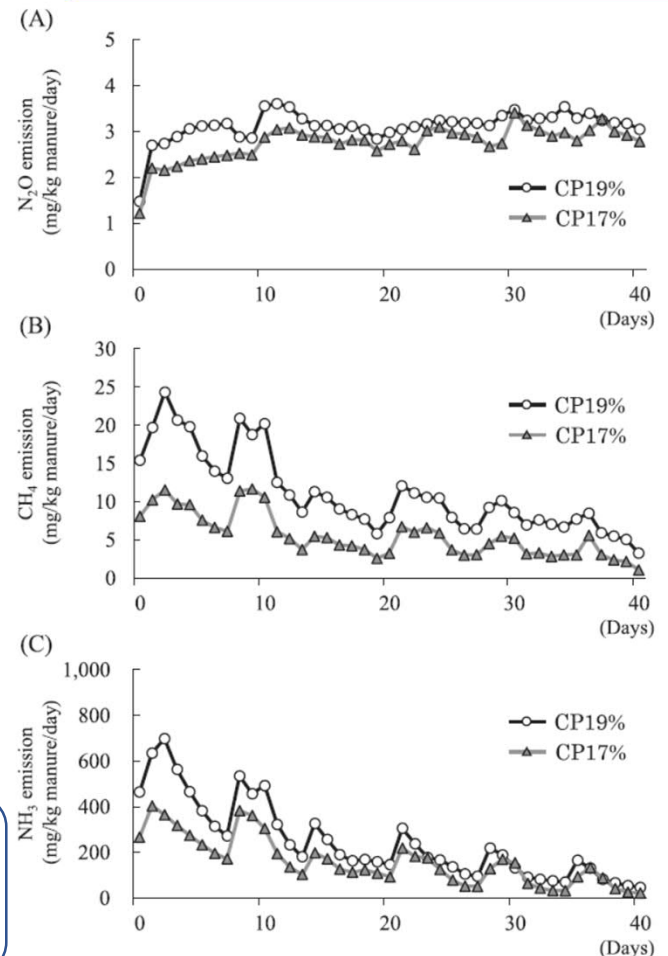
農家での給与試験によりホル去勢牛の嗜好性、増体・肉質への影響がないことを実証

# アミノ酸バランス改善飼料で産卵鶏排せつ物由来の温室効果ガスを削減

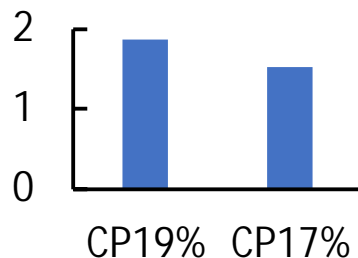
## アミノ酸バランス改善飼料



## 堆肥化期間のガス発生量



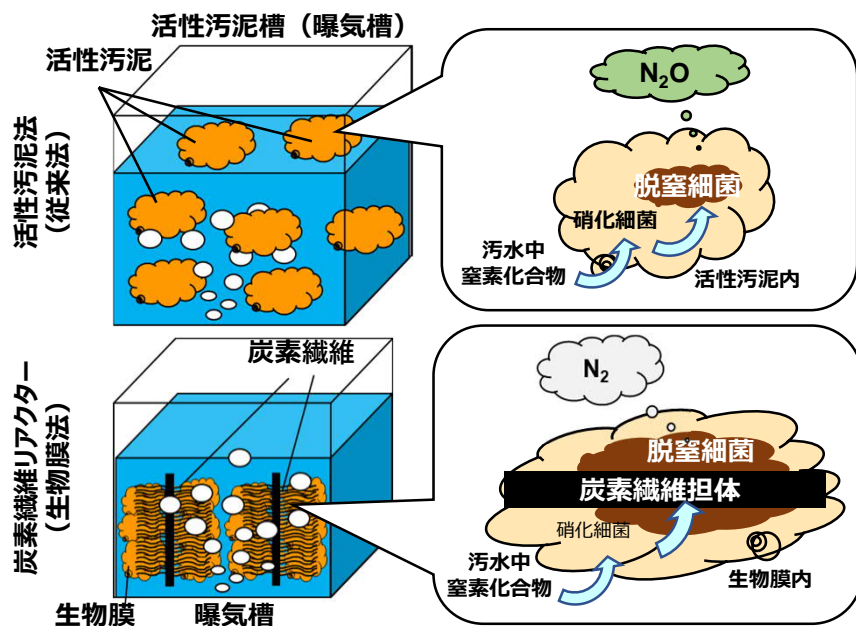
## 窒素排せつ量 (g/日/羽)



産卵率等の生産性に  
影響がないことも確認  
肉用鶏、肥育豚でも検討

#### 炭素繊維リアクターによる一酸化二窒素削減

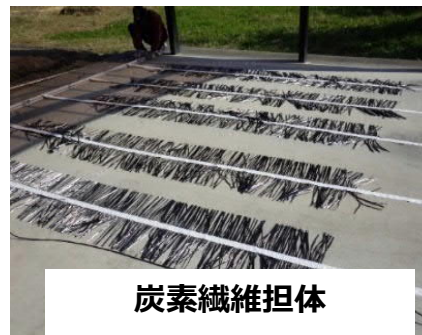
汚水浄化処理施設の曝気槽に炭素繊維リアクターを導入することで、担体表面に厚い生物膜が形成されて酸素の嫌いな脱窒菌の生息スペースが大きくなるため、脱窒がスムーズに進行し、一酸化二窒素 ( $N_2O$ ) の排出が削減される。



◎汚水浄化処理からの一酸化二窒素を80%削減  
養豚汚水浄化処理実施設における実証試験により、汚水処理からの $N_2O$ 排出量を約80%削減できることが確認されている。

◎汚泥濃度増加による浄化能力の向上  
炭素繊維リアクターへの汚泥付着により曝気槽内の活性汚泥濃度を高く保持し、浄化能力向上が期待できる。

- 炭素繊維リアクターは既存浄化処理施設に導入可能  
既設の汚水浄化処理施設の大幅な改修を必要とせず、一酸化二窒素の排出削減が期待できる。

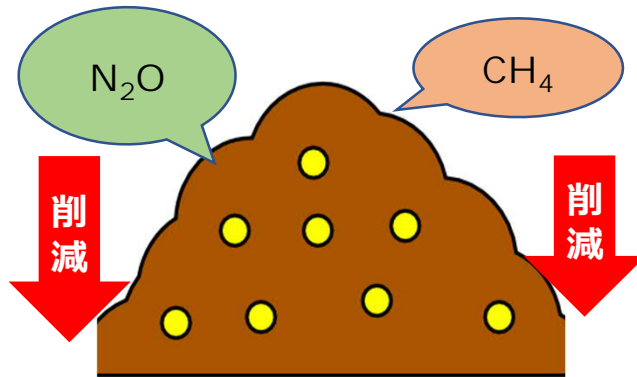


排せつ窒素量低減により $N_2O$ 発生削減  
アミノ酸バランス改善飼料



ふん尿処理過程での工夫

堆肥化処理



亜硝酸酸化細菌の添加  
水分調整の適正化

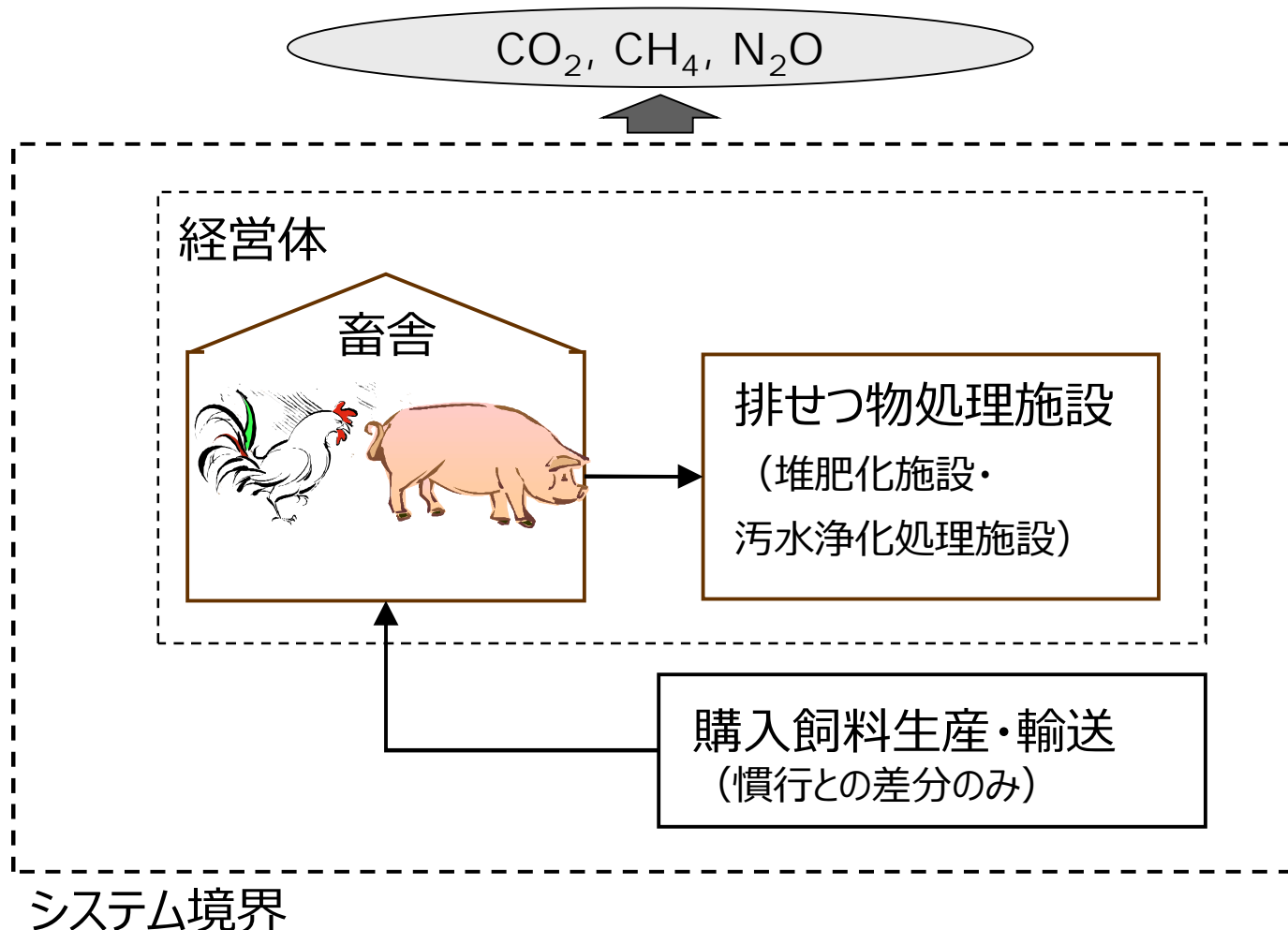
汚水浄化処理



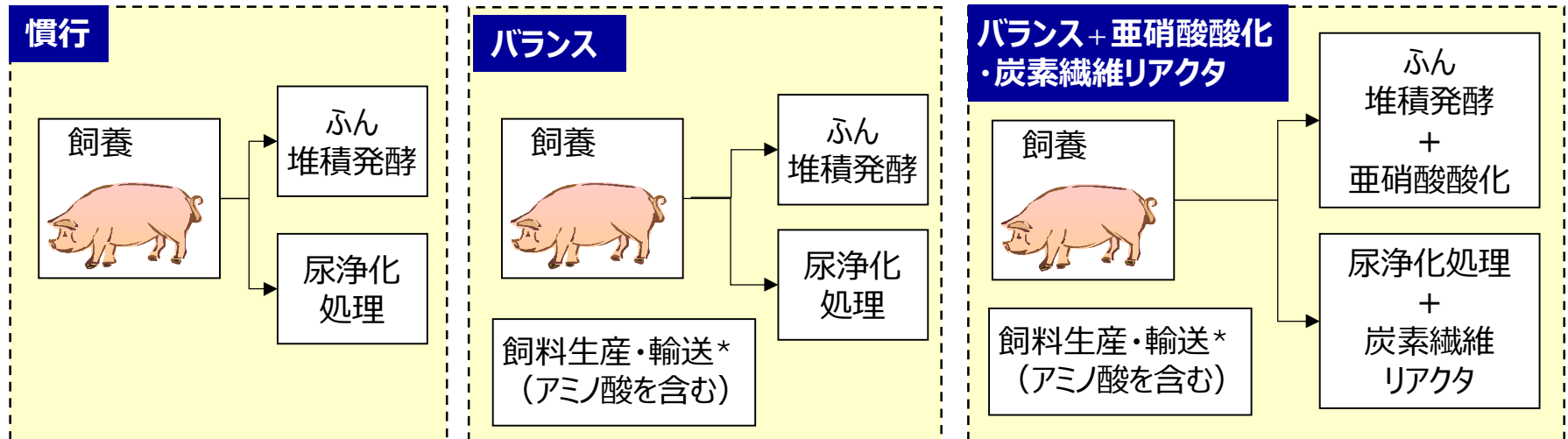
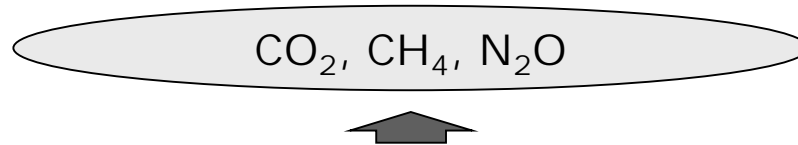
窒素除去の効率化  
曝気のコントロール



# 経営体からのGHG削減を ライフサイクルアセスメント(LCA)により評価



## 養豚における温室効果ガス排出削減策と削減量評価

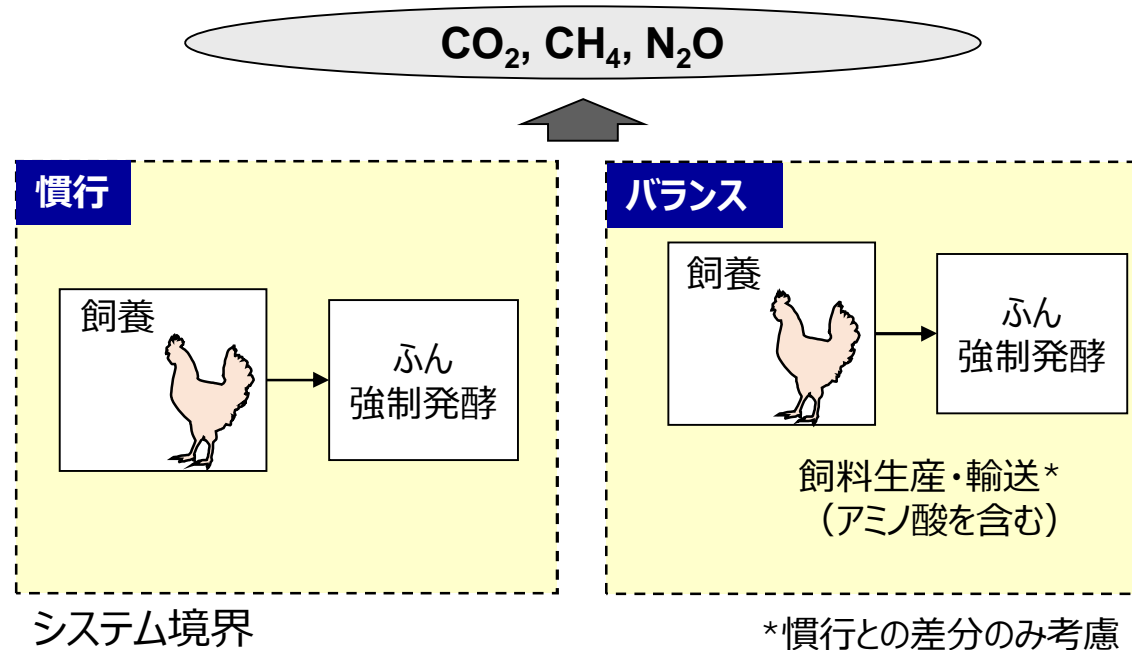


システム境界

\*慣行との差分のみ考慮

- 機能単位は出荷肥育豚 1 頭
- バランス飼料の窒素排せつ量低減率は既報の結果を用いた（肥育前期：28.7%、肥育後期28.0%）
- 亜硝酸酸化細菌添加による堆肥化のN<sub>2</sub>O削減率は20%とした
- 炭素繊維リアクタによる汚水処理のN<sub>2</sub>O削減率は80%とした
- 慣行区の温室効果ガス排出量を100%とした場合、バランス+亜硝酸酸化・炭素繊維リアクタ区の排出量は38%減少した

## 採卵鶏飼養における温室効果ガス排出削減策と削減量評価



- 機能単位は卵1kg
- 排せつ物処理は強制発酵（採卵鶏ふんの処理方法として最も割合が多い）
- 飼料組成、窒素排せつ量は飼養試験で得られたデータを用いた（バランス区は慣行区と比較して飼料のCPを2ポイント低減し、メチオニン、リジン、トリプトファンを結晶アミノ酸として添加）、産卵前期：N排せつ量18.5%低減、産卵後期：N排せつ量16.5%低減
- 慣行区の温室効果ガス排出量を100%とした場合、バランス区の排出量は8%減少した

# 国産子実トウモロコシの取り組み

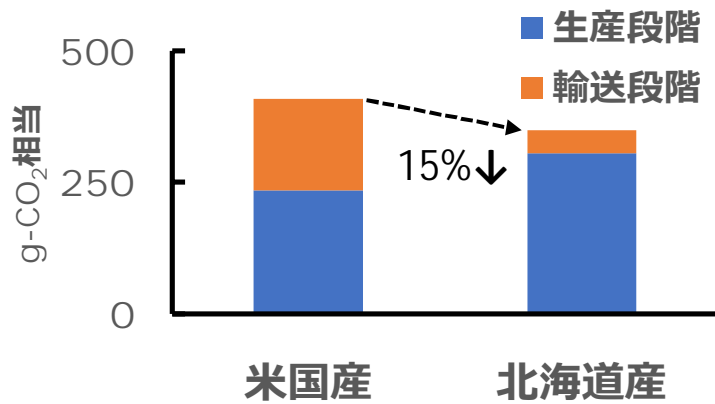


図. トウモロコシ子実1kgあたり生産・輸送での温室効果ガス (GHG) 排出量 (北海道立総合研究機構、2014)

- ・国産は米国産と比べて移動距離が短い
- ・輸入トウモロコシ価格の上昇
- ・省力的に生産できる水田転作作物

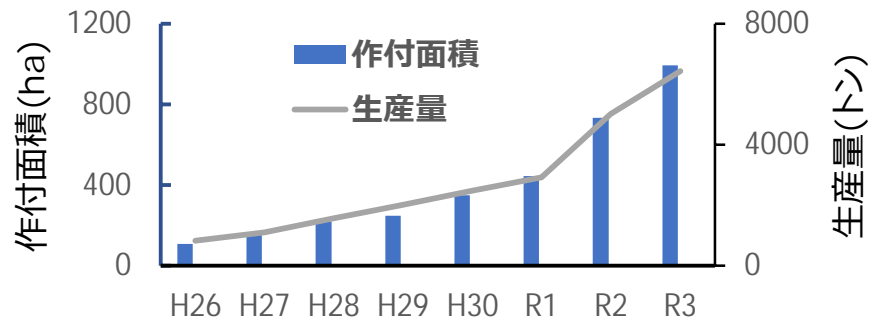


図. 国産子実トウモロコシの生産状況 (畜産局飼料課、2022)

## 農水省委託プロジェクト研究で推進中

- ・水はけが良くない水田転換畑でも栽培できる耐湿性、耐病虫害性トウモロコシの品種育成
- ・コーンヘッドを活用した高速高精度収穫技術の開発
- ・保管時の劣化対策 (低コストな乾燥調製、耕種農家でも対応可能なサイレージ調製技術の開発)
- ・堆肥活用型が多収栽培技術の開発





## 家畜の消化管内発酵由来 $\text{CH}_4$ の削減

- ・ルーメン内微生物の制御
- ・メタン発生量の少ないウシの選抜（育種改良）の試み

## ふん尿処理過程からのGHG削減

- ・家畜・家禽からGHGの元となる排せつ窒素量を低減
- ・堆肥化過程での削減
- ・污水浄化処理過程での削減

## 国産子実用トウモロコシの取り組み

ご清聴、ありがとうございました