

農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究
革新的環境研究
「畜産分野における気候変動緩和技術の開発」
令和3年度 最終年度報告書

課題番号	17935124
研究実施期間	平成29年度～令和3年度（5年間）
代表機関	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
研究開発責任者	田島 清
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-8600
	FAX : 029-838-8606
	E-mail : ktajima@affrc.go.jp
共同研究機関	独立行政法人 家畜改良センター
	国立大学法人 東北大学
	国立大学法人 広島大学
	国立大学法人 北海道大学
	国立大学法人 京都大学
	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
	茨城県畜産センター
	栃木県畜産酪農研究センター
	群馬県畜産試験場
	岡山県農林水産総合センター
	兵庫県立農林水産技術総合センター
	北海道エア・ウォーター株式会社
	酪農学園大学
	埼玉県（埼玉県農業技術研究センター）
普及・実用化 支援組織	茨城県農業総合センター
	石川県農林総合研究センター畜産試験場
	山梨県畜産酪農技術センター
	熊本県（熊本県農業研究センター 畜産研究所）
	岡山JA畜産株式会社
	味の素株式会社 バイオ・ファイン研究所
	住友化学株式会社 アニマルニュートリション事業部
	キューピータマゴ株式会社
	国立大学法人 京都大学

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者 (注1)
	1	2	3	4	5	機関	研究室	
研究開発責任者	/	/	/	/	/	農研機構畜産研究部門		◎長田隆 (~2022.1) ◎田島清 (2022.2~)
1 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス(メタン、一酸化二窒素等)の排出削減技術の開発	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部門	乳牛精密栄養管理グループ	○野中最子
1-1 排せつ物管理における温室効果ガスを削減する乳用牛、肉用牛飼料の研究開発	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部門 埼玉県農業技術研究センター 農研機構中央農業研究センター 農研機構東北農業研究センター 栃木県畜産酪農研究センター (2018.4~)	乳牛精密栄養管理グループ 酪農担当 食肉用家畜モデル化グループ 肉用牛生産グループ 畜産環境研究室 肉牛研究室	○樋口浩二 野中最子 林 征幸 (~2018.3) 澤戸利衣 (2019.4~) 寺田文典 (2020.4~) ◎長田 隆 大澤 玲 (2021.4~) △神谷 充 山田知哉 樋口幹人 柴 伸弥 (2020.4~ 2021.3) 今成麻衣 (2020.4~) 岩渕守男 (~2019.3) △池田純子 (2019.4~) 高柳晃治 (~2021.3) 田崎 稔 (2021.4~) 櫻井由美 (~2018.3) 川田智弘 (2019.4~)
1-2 排せつ物管理における温室効果ガスを削減する採卵鶏飼料の研究開発	○	○	○	○	○	茨城県畜産センター	生産技術研究室	海老沢重雄 (~2018.3) ◎笠井勝美 (2018.4~ 2019.3) ○埴和靖俊 (2019.4~) 石川恭子

						茨城県畜産センター 肉用牛研究所	飼養技術研究室	(~2018.3) 山下 薫 (~2021.3) 大窪 敬子 (2019.11~ 2020.3) 藤原 望 (~2018.3) 田中愛子 (2018.4~ 2019.3) 飯尾 恒 (2019.4~) 島田理紗 (2020.4~) 谷島直樹 (~2018.3) 中安健輔 (2018.4~)
						茨城県畜産センター 養豚研究所	飼養技術研究室	佐々木将武 (~2018.3) 戸田尚美 (2018.4~ 2019.4) 齊藤隆夫 (2019.4~)
1-3 臭気対策施設 等における温室効果ガ ス排出量の削減技術の 開発	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部 門	スマート畜産施設グ ループ	○福本泰之 安田知子
2 牛の生体・個体差 に基づく消化管内発酵 由来メタン削減技術の 開発	○	○	○	○	○	東北大学 農研機構畜産研究部 門	農学研究科・動物生 理科学分野 乳牛精密栄養管理グ ループ	○寺田文典 (~2020.3) ○鈴木知之 (2020.4~)
2-1 育種現場に適 応可能な新規メタン産 生測定システムの開発	○	○	○	○	○	広島大学 農研機構 中央農業研究センタ ー 農研機構畜産研究部 門	総合生命科学研究科 乳牛精密栄養管理グ ループ 乳牛精密栄養管理グ ループ	○△小櫃剛人 (~2020.3) 黒川勇三 (~2020.3) 杉野利久 (~2020.3) ○△鈴木知之 (2017.10~) 及川康平 (2020.8~) 神谷裕子 (2020.8~) 野中最子 樋口浩二 林 征幸 (~2018.3) 澤戸利衣 (2019.4~) 寺田文典 (2020.4~)

2-2 新規メタン産生測定システムの精度に及ぼす諸要因の解析	○	○	○	○	○	群馬県畜産試験場 広島大学	酪農係 総合生命科学研究科	△都丸友久 湯野川景人 (~2019.3) 篠原 晃 (2019.4~ 2020.3) 櫛淵 隆之 (2020.4~) △小櫃剛人 黒川勇三 杉野利久
2-3 メタン産生量の個体差に影響する諸要因の解析	○	○	○	○	○	農研機構畜産研究部門 東北大学大学院 兵庫県立農林水産技術総合センター	乳牛精密栄養管理グループ 農学研究科・動物生理科学分野 畜産技術センター	△真貝拓三 三森真琴 (~2018.6) 小林洋介 (2019.4~) 寺田文典 (2020.4~) 寺田文典 (~2020.3) 盧 尚健 萩野顕彦 (2020.4~) 李 權正 (2020.4~) 正木達規 岩本英治 (~2020.3) 大崎 茂 (2020.4~)
2-4 育種現場での多頭数の個体別メタン産生データの測定・蓄積	○	○	○	○	○	家畜改良センター 群馬県畜産試験場 広島大学	企画調整部 新冠牧場 酪農係 統合生命科学研究科	—犬塚明伸 (~2019.7) 葛谷好弘 (2019.9~) 橋場健治 △西川悠貴 仲西孝敏 (~2019.7) 真崎 匡 舛田正博 東 紀江 (~2018.3) 内沢航太 (2018.3~) 都丸友久 湯野川景人 (~2019.3) 篠原 晃 (2019.4~) 小櫃剛人 黒川勇三 杉野利久
2-5 遺伝率の算出と育種方策の提案	○	○	○	○	○	東北大学 家畜改良センター	農学研究科・動物遺伝育種分野 企画調整部	佐藤正寛 △上本吉伸 小川伸一郎 小島孝敏 鈴木恒平

3 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示	○	○	○	○	○	北海道立総合研究機構 農研機構畜産研究部門	中央農業試験場 スマート畜産施設グループ	木村義彰 (~2019.3) 荻野暁史 (2019.4~)
3-1 草地飼料畑における温室効果ガス削減ポテンシャルの評価	○	○	○	○	○	北海道大学 北海道立総合研究機構 農研機構畜産研究部門 農研機構 九州沖縄農業研究センター	農学研究院 中央農業試験場 省力肉牛生産グループ 飼料生産グループ	△当真要 (2021.4~) △波多野隆介 (~2021.4) 倉持寛太 △谷藤健 (2021.4~) 須田達也 △中村隆一 (~2021.4) ○△森昭憲 △古賀伸久 (~2020.3、 2021.8~) 山根剛 (~ 2018.9) △井原啓貴 (2019.4~ 2021.3) △小林創平 (2021.4~)
3-2 北海道における温室効果ガス排出係数の精緻化と削減方策の検討 乳牛ふん尿を対象とした消化液貯留槽から発生する温室効果ガス測定法の確立 乳牛ふん尿を対象とした消化液貯留槽から発生する温室効果ガス削減方策の策定	○	○	○	○	○	エア・ウォーター北海道 北海道立総合研究機構	市場開発部 中央農業試験場	○△保井聖一 尾崎主磨 小野木怜子 (2020.4~) 清田興朔 (2020.4~) △吉田邦彦 石井耕太 (2019.5~) 加藤弘樹 (~2019.5) 稲野一郎 (2020.4~) 木村義彰
3-3 家畜生産における温室効果ガス評価モデルの開発と削減技術の評価	○	○	○	○	○	京都大学 岡山県農林水産総合センター 酪農学園大学 農研機構 農研機構 畜産研究部門	農学研究科 畜産研究所 農食環境学群循環農学類 スマート畜産施設グループ	○△大石風人 廣岡博之 △白石 誠 水木 剛 日向貴久 ◎長田隆 ○荻野暁史 (2019.5~)

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付す。

I-2. 研究目的

畜産分野からの温室効果ガスは、家畜生産段階のすべてで発生が確認されており、生産性、品質を維持・向上しながらも、温暖化抑制型の生産体系の確立が求められている。このため、「パリ協定」の第4条で先進国締約国に求められた緩和（排出削減）に対する「農林水産省地球温暖化対策計画」に基づく畜産業からの貢献を内外に示すことが重要である。

日本国温室効果ガスインベントリ報告書に削減量が反映される畜産分野における削減技術を確認するため、温室効果ガスを低減する飼養管理技術（家畜排せつ物管理を含む）の開発や、温室効果ガスの発生が少ない牛の生体・個体差等に関する研究開発を実施する。

このため本研究では、

1. 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発
2. 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発
3. 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示

により、新たにふん尿処理後の脱臭施設や飼料生産圃場での削減技術を確認、またメタン産生の少ない牛の選抜、温室効果ガス発生の元になる窒素等の削減可能な飼料を開発して削減可能量を拡大する。LCAにより経営体からの温室効果ガス排出量を評価するモデルが開発され、これまでに削減効果が実証された技術の農家導入方策を検討し、総合化して1経営体からの温室効果ガスの排出量を20%削減可能な技術を開発する。

その結果、各畜種について地域毎の異なるニーズを踏まえた「温室効果ガス排出抑制型生産システム」が提案される。畜産分野における実用的な削減技術が確立・普及することで、日本国温室効果ガスインベントリ報告書に削減量が反映され2030年の政府削減目標の達成に畜産系の削減策が大きな貢献が期待できる。また畜産生産の増大が著しいアジア地域の当該温室効果ガス増大の抑制対策を提案し、IPCCやFAOに対する国際貢献が期待される。

I-3. 研究方法

(1) 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発

排せつ物からの温室効果ガスを抑制する技術として、慣行飼料より粗タンパク質（CP）含量が2-3%ポイント低いバランス改善飼料を、乳用牛、肉用牛および採卵鶏に給与する動物試験を行い、生産性および排せつ物からの温室効果ガスを調査した。また、排せつ物処理過程での温室効果ガスを抑制するために、排せつ物の堆肥化や生物脱臭装置における添加資材の効果を確認し、それらの最適条件について検討した。

(2) 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発

搾乳牛および肥育牛で呼気ガスをサンプリングしメタン/二酸化炭素比（ CH_4/CO_2 比）を測定する手法の検討、得られた CH_4/CO_2 比からメタン産生量を推定する算出式の作成を行なった。また、ガス測定を行わず間接的にメタン産生量を推定する手法を検討した。呼気ガス測定場所である搾乳ロボットへの訪問回数を増やすための基礎混合飼料(PMR)やロボット内配合飼料の内容、およびPMRの組成がメタン測定値に及ぼす影響を検討した。第一胃内微生物特性がメタン産生に及ぼす諸要因を解析するため、メタン産生の多い一般的な牛、およびメタン産生が少なくプロピオン酸比率の高い牛について、第一胃内微生物相を網羅的に比較解析した。メタン産生量の多少に関連する牛の生理諸元について検討し、メタン産生量の少ない個体の生理学的特性解明を行った。育種方策提案のために、実測あるいは推定メタン産生量に関する遺伝的パラメーターを推定した。

(3) 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示

3-1. 草地飼料畑における温室効果ガス削減ポテンシャルの評価

国内の代表的な生乳生産地域である北海道の黒ボク土/非黒ボク土の永年草地、那須および熊本の黒ボク土の飼料畑において、堆肥区、スラリー区、消化液区に化学肥料区と無窒素区を合わせた5区で収量等生産性の調査と土壌からのGHG排出量の測定を行った。測定データを用いて各施肥に対する N_2O 排出係数を算出し、飼料生産に排せつ物を適切に利用することに伴うGHGの排出削減ポテンシャルを評価した。

3-2. 北海道における温室効果ガス排出係数の精緻化と削減方策の検討

乳牛ふん尿メタン発酵処理後の消化液貯留槽からのGHGを通年で実測するための最適な測定システムの開発を行った。また、開発した測定システムを用いて消化液貯留槽より発生するGHGを実測し、排出量の精緻化を行った。さらに、メタン発酵消化液貯留槽の密閉化を基軸としたGHG削減方法を検討し、その削減手法を提示した。

3-3. 家畜生産における温室効果ガス評価モデルの開発と削減技術の評価

各畜種について経営体からのGHG排出量をLCAに基づいて評価するモデルを開発し、開発したモデルを用いて削減技術を組み込んだ畜産システムのGHG削減効果を定量的に評価した。モデルにおいては経済性も考慮できるようにし、緩和技術導入時のコストも合わせて評価した。また、汚水処理におけるGHG削減技術である炭素繊維リアクターを導入して養豚農家で実証試験を行い、得られたデータに基づいた改良および実用化支援組織との連携により普及につながる技術を開発した。

I-4. 研究結果

(1) 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発

バランス改善飼料給与により、ホルスタイン種泌乳中後期牛、ホルスタイン種去勢肥育牛および採卵鶏採卵期において生産性を損なうことなく、窒素排せつ量を17～25%低減が可能なことを飼養試験および実証試験で示した。これら排せつ物への窒素排出低減により、乳用牛の貯留で30%以上、肉用牛の堆肥化では50%、採卵鶏の堆肥化では13%のGHG排出削減ポテンシャルを確認した。また、中規模豚ふん堆肥化試験装置において亜硝酸酸化細菌源（完熟堆肥）の添加は一酸化二窒素の発生量を2割以上削減できることを確認した。実験的リアクターにおいて、アナモックス細菌を含む汚泥は、有機物の非存在下でアナモックス反応による窒素除去が可能であることを示した。

（２）牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発

搾乳牛では搾乳ロボット内、肥育牛ではドアフィーダーにおいて、呼気ガスをサンプリングし、呼気中 CH_4/CO_2 比からメタン産生量を推定する手法を開発した。また、肥育牛ではガス測定を行わない乾物摂取量等からのメタン産生量推定式を作成した。乳牛ではメタン産生量と乳成分に関連性があることを見出し、乳中脂肪酸組成等を用いたメタン産生量推定式を作成した。PMRと搾乳ロボット内配合飼料のエネルギー含量のバランスおよびロボット内配合飼料給与量を調整することにより、平均搾乳回数を1日3回以上にできることを示した。メタン産生量の個体間順位にPMRの原料の違いは影響しないこと、開発した測定手法はPMR原料によらず高い反復率が得られることが示された。メタン産生が少なくプロピオン酸比率の高い牛について、新規細菌群が高い割合で特徴的に存在することが明らかになり、その一部微生物（新規*Prevotella*属細菌）の分離に成功し、新種登録するとともに機能性を明らかにした。ホルスタイン種泌乳牛および黒毛和種肥育牛でメタン関連形質の遺伝率を明らかにし、メタン関連形質が育種改良可能であること、メタン産生効率に関する形質が生産性に関する形質と望ましい遺伝相関を示すことなどが明らかとなった。

（３）畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示

３－１．草地飼料畑における温室効果ガス削減ポテンシャルの評価

草地および飼料畑において様々な有機物を施用して温室効果ガスを測定した結果、施用有機物のC/N比と N_2O 排出係数の間に負の相関が認められ、堆肥区は他区より N_2O 発生量が少ない傾向が認められた。排せつ物の種類・化学肥料で、 N_2O 排出係数に有意差は無く、黒ボク土と非黒ボク土でも N_2O 排出係数の違いは認められなかった。排せつ物の施用量が増えると温暖化の緩和効果が大きくなり、永年草地は飼料畑より排せつ物によるGHG削減効果が大きかった。永年草地・飼料畑とも堆肥施用によるGHG削減効果が最大であり、堆肥施用は作物残渣としての炭素投入量を増やす傾向も認められた。草地飼料畑のGHG削減の主なメカニズムは炭素収支の改善であった。

３－２．北海道における温室効果ガス排出係数の精緻化と削減方策の検討

乳牛ふん尿メタン発酵処理後の消化液貯留槽からのGHGを通年で実測可能なフローティングチャンバーβ版を開発した。開発したチャンバーを用いて消化液貯留槽からのGHGを実測して排出量を精緻化したところ、消化液貯留からのGHG排出量はスラリー貯留と比較して約50%低かった。また、消化液貯留からのGHG排出を大きく削減する既設貯留槽の密閉カバーリング工法を確立し、工期および施工コストを示した。

３－３．家畜生産における温室効果ガス評価モデルの開発と削減技術の評価

乳牛では育種改良およびバイオガスプラント、肉牛ではバランス飼料、育種改良、亜硝酸酸化堆肥化、豚ではバランス飼料、亜硝酸酸化堆肥化、炭素繊維リアクター、ブロイラーではバランス飼料、鶏ふん焼却熱利用、採卵鶏ではバランス飼料、をそれぞれ緩和技術として導入し

た場合、各畜種のGHG削減率は9.5～35.6%であり、畜産全体での削減率は22.6%であった。GHG削減コストは、多くの畜種でマイナス（コスト削減）であった。炭素繊維リアクターによる削減技術の開発では、繊維の脱落等を防止し長期に利用できるリアクターを開発した。また、炭素繊維リアクターを用いることによりN₂Oを最大で80%程度削減できることを確認するとともに、硝酸性窒素等の浄化処理も安定することを明らかにした。

I-5. 今後の課題

ホルスタイン種牛の泌乳前期、採卵鶏育雛期、黒毛和種牛におけるバランス改善飼料については今後の検討が必要である。堆肥化処理過程では、N₂Oの発生スポットを実処理現場で簡易に特定する技術が必要である。

呼気中CH₄/CO₂比を用いたメタン産生量測定手法については畜種を拡大するとともに、飼料評価等の用途拡大のための検討、ならびに精度と簡便性の向上が必要である。新規*Prevotella*属細菌については応用利用のための検討が必要である。育種への応用には、大規模頭数での測定が課題であり、現場にてメタン産生量の測定を簡易に行える手法の開発が必要である。

草地からのGHG排出について、堆肥、スラリー、消化液以外の有機物についても温室効果ガス収支の改善ポテンシャルを調査する必要がある。メタン発酵に関して、小規模農家向けの乾式メタン発酵システムの開発および消化液分離固分からの再生敷料生産時のGHG排出量の精緻化が必要である。畜産システムの評価について、堆肥施用による炭素貯留などまだ考慮できていない要因・削減技術を含めると同時に今後開発される緩和技術の効果もモデルに組み込んでさらなるGHG削減を目指す必要がある。

実行課題番号	101-1	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発		
実行課題名	（1）排せつ物管理における温室効果ガスを削減する乳用牛、肉用牛飼料の研究開発		
実行小課題名	排せつ物管理における温室効果ガスを削減する乳用牛飼料の研究開発		
実行小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・ 乳牛精密管理研究領域・樋口浩二、野中最子、澤戸利衣 本部企画戦略本部セグメントIV理事室・長田 隆		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	埼玉県農業技術研究センター 酪農担当・高田新一郎、大澤 玲		

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

ルーメンにおける飼料のCN供給バランスを適正化し、家畜からの窒素排泄量を低減させることにより、ふん尿管理起源の温室効果ガス排出量の削減に資する飼料開発を行う。さらにアミノ酸を添加して飼料中のタンパク質含量を低減化したバランス改善飼料を給与し、乳生産性に影響のない範囲での排せつ物中の窒素の低減効果について検証する。排せつされたふん尿の処理過程から発生する温室効果ガスおよび前駆物質であるアンモニアを測定し、バランス改善飼料の導入による温室効果ガス排出抑制効果を明らかにする。

2) 研究方法

乳牛の飼養試験方法として、窒素・エネルギー代謝を実施し、飼料の消化性、窒素出納および牛体からのガス発生量を測定する精密出納試験と、生産現場での応用を想定し、屋外牛舎での自由採食試験とする実規模想定試験を実施した。精密出納試験については、供試牛より排泄されるふん尿を回収し、貯留期間中の温室効果ガス発生量も測定した。試験飼料としては主として粗タンパク質（CP）含量が16%程度で、圧ペントウモロコシや大豆粕を主体とした慣行飼料（対照飼料）と、ルーメンでのCN（有機物と窒素）の供給バランスを最適化し、ビール粕と穀類を組み合わせたCP13%程度の飼料（試験飼料）の2種をトウモロコシサイレージ主体のTMRへと調製し、その影響について検討した。

3) 研究結果

実施した精密試験のうち2試験より次のような結果が得られた。窒素削減飼料（試験飼料）を給与することにより、慣行飼料と比べて乳量および乳成分に差はなかった。窒素摂取量は窒素削減飼料で有意に減少、さらに摂取窒素の尿および牛体周辺より揮散するアンモニアへの配分が有意に減少、ふん尿への窒素排泄量は有意に減少した。排泄物貯留期間中の温室効果ガス発生量は、窒素削減飼料の給与により窒素由来ガス（NH₃、N₂O）につい

ては半減したが炭素由来ガス（CO₂, CH₄）については2倍前後にまで増加した。しかし牛体から1日あたりに発生するガスと1日あたりの排泄物より発生するガスを合算すると、窒素由来ガスについてはやはり半減、一方の炭素由来のガスについては慣行飼料と同程度となった。これは窒素削減飼料の消化性の影響を受けた結果と考えられるが、その後の精密試験の追試において、窒素削減飼料に飼料用米等の自給飼料を活用することにより圧ペントウモロコシおよび大豆粕主体の慣行飼料と遜色のない消化性を示す飼料へと改善した。精密出納試験の結果を受けた実規模想定試験において、窒素削減飼料を給与しても慣行飼料と比べて生産性に遜色はなかった。

4) 成果活用における留意点

飼料はトウモロコシサイレージを主体としたTMRに調製し、個別に給与し評価した。
ふん尿は混合物のスラリーとして貯留試験を実施した。

5) 今後の課題

これらの成果は主に泌乳中後期を対象とした飼料設計を行い評価した成績である。より栄養要求量の多い泌乳前期での検討、長期給与した場合の生産性および健全性への影響については今後検討する必要がある。またCP水準の下限についても検討ができていない。

実行課題番号	101-2	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発		
実行課題名	（1）排せつ物管理における温室効果ガスを削減する乳用牛、肉用牛飼料の研究開発		
実行小課題名	排せつ物管理における温室効果ガスを削減する肉用牛飼料の研究開発		
実行小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・ 食肉用家畜研究領域・神谷 充、山田知哉、樋口幹人 農研機構東北農業研究センター・ 水田輪作研究領域・今成麻衣 栃木県畜産酪農研究センター・ 畜産環境研究室・田崎 稔、池田純子		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

肉用牛においては、これまでは要求量以上のタンパク質を含む飼料が用いられてきたが、ここでは飼料中のタンパク質含量を低減すると同時にバイパスアミノ酸等を活用したアミノ酸バランス改善飼料を給与し、肥育成績や枝肉成績への影響を確認しつつ、排せつ物中の窒素の低減効果について検証する。

2) 研究方法

農研機構畜産研究部門（畜産部門）では、「試験1」ホルスイタン種去勢牛に対してCP含量の低い配合飼料、「試験2」ホルスイタン種去勢牛に対してCP含量の低い配合飼料にバイパスアミノ酸（リジン、メチオニン）を添加したアミノ酸バランス改善飼料、「試験3」黒毛和種去勢牛に対してCP含量の低い配合飼料にバイパスアミノ酸（リジン、メチオニン）を添加したアミノ酸バランス改善飼料を給与し、飼養成績、枝肉成績、窒素排せつ量への影響を調べた。

栃木県畜産酪農研究センター（栃木県センター）における実証試験では、肥育期後半のホルスタイン種去勢牛8頭を供試し、慣行の配合飼料（4頭）とアミノ酸バランス改善飼料（4頭）を給与し、飼養データを得ると同時に、マルチガスモニタを用いて家畜排せつ物堆肥化時に発生する温室効果ガスの測定を実施した。また、栃木県の現地実証試験では、ホルスタイン種去勢肥育農場で36頭（対照区18頭、試験区18頭）を供試し、慣行飼料とアミノ酸バランス改善飼料を給与した現地実証試験を実施した。

3) 研究結果

畜産部門の肥育試験では、ホルスタイン種去勢牛の飼養成績や枝肉成績に影響を及ぼさずに、窒素排せつ量が「試験1」で10%、「試験2」で15%以上削減した（kamiya et al. 2020,

2021)。また、黒毛和種去勢牛ではアミノ酸バランス改善飼料でBMSが低下したが、飼養成績やリブローズなどの総遊離アミノ酸、不飽和脂肪酸、オレイン酸含量に影響を及ぼさず、窒素排泄量が20%以上低くなった。

栃木県センターの実証試験では、慣行飼料給与牛群（対照区）とアミノ酸バランス改善飼料給与牛群（試験区）は、肥育成績等に差がないものの、堆肥化過程における一酸化二窒素の発生量は試験区で半減した（高柳 2021）。栃木県の現地実証試験では、肥育成績や肉質評価等において、試験区は対照区と同等の成績であった。

4) 成果活用における留意点

ホルスイタン種去勢牛ではアミノ酸バランス改善飼料が飼養成績や枝肉成績に影響を及ぼさないことが確認されているが、ペレット加工に適さないバイパスアミノ酸を配合飼料の原料にする時は、配合飼料の形状はマッシュにする必要がある。

5) 今後の課題

黒毛和種去勢牛のアミノ酸バランス改善飼料給与試験のデータが不足しているため、引き続き検討する必要がある。

<引用文献>

Kamiya M. et al. (2020) Anim Sci J. 91: e13438

Kamiya M. et al. (2021) Anim Sci J. 92: e13562

高柳 (2021) 畜産技術 3月号 P7-14

実行課題番号	102	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発		
実行課題名	（2）排せつ物管理における温室効果ガスを削減する採卵鶏飼料の研究開発		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	茨城県畜産センター・生産技術研究室・ 埴和靖俊、飯尾恒、島田理紗		
共同研究機関・研究室・研究者名等	キューピータマゴ株式会社・井門桐子		

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

採卵鶏へバランス飼料を給与し、産卵前期および産卵中後期における卵生産に影響を与えないタンパク質の低減化能率を検討する。また、排せつ物の堆肥化過程での温室効果ガス（GHG）およびアンモニアを測定し、バランス飼料の導入によるGHG排出抑制効果を明らかにする。

2) 研究方法

採卵鶏を用いて慣行飼料およびバランス飼料を給与し、飼養試験を実施した。採卵鶏のステージとバランス飼料のCP含量を割り振り、摂食量や排せつ量、産卵率、卵質等への影響を検討した。採卵鶏の排せつ物を堆肥化处理した際に排出される温室効果ガス（GHG）排出量はガス定量評価チャンバーとマルチガスモニタを用いて、 N_2O 、 CH_4 、 NH_3 を測定した。

農家実証試験においては、慣行飼料およびバランス飼料を給与し、産卵率や卵質等への影響を検討した。

3) 研究結果

採卵鶏への慣行飼料より2ポイントCP含量を下げたバランス飼料給与によって、摂食量や排せつ物湿重量、産卵率に影響を及ぼさないことが明らかになり、排せつ物乾物重量は減少する傾向が認められた。卵質については、一般成分には影響を及ぼさないが、卵白Brix値が低下する可能性が認められた。しかしながら、低下した値でも公表されている卵白Brix値と同程度の値であることから、商品としては問題がないことが示唆された。また、窒素排出量においてはバランス飼料給与により2割程度の低減が認められた。

堆肥化過程で排出されるGHGにおいても、 N_2O 、 CH_4 、



図1 実証試験PR資材

NH₃排出量の低下が認められ、日本畜産学会報にて値を公表した。

農家実証試験においても、バランス飼料の給与による生産性への大きな影響は認められなかった。また、生産された堆肥を耕種農家に利用してもらった結果、使用感に通常の堆肥との差は感じないとのことをご意見をいただいた（図1）。

5) 今後の課題

採卵鶏は卵の生み初めまでに、130～150日間要するため、卵の生み初めまでのバランス飼料給与の影響を検討する必要がある。

バランス飼料給与による卵白Brix値の低下のメカニズムの解明する必要がある。

バランス飼料給与鶏から生産された堆肥は、肥効は通常堆肥と大きな差がないが、日本に輸入される窒素量の削減等による環境負荷が軽減された堆肥である。このため、卵等の生産物だけでなく堆肥にも何らかの規格を設けることにより、バランス飼料の普及に貢献し、日本全体の環境負荷軽減につながる。

実行課題番号	103	小課題 研究期間	平成29～令和3年度
小課題名	1 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減技術の開発		
実行課題名	（3）臭気対策施設等における温室効果ガス排出量の削減技術の開発		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構・畜産研究部門・ 大気環境ユニット・福本泰之・和木美代子・安田知子		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

アンモニア（NH₃）等の集積により発生する臭気対策施設からの温室効果ガス発生を効果的に削減する技術を開発し、現行では間接排出として算定されている一酸化二窒素（N₂O）の排出量の削減を目標とする。生物脱臭において、窒素除去能を強化した生物脱臭装置からのNH₃やN₂O発生量を評価する。亜硝酸（NO₂⁻）経由での脱窒を促進させ、装置内での脱窒効率を改善することで、間接排出排生源となるNH₃を含む、低コストで温室効果ガスの発生を抑制できる脱臭技術を開発する。また、生物脱臭槽におけるNH₃の分解過程から発生するN₂O以外にも、家畜ふんを堆肥化処理している堆肥化発酵堆積物からも各種の微生物反応によりN₂Oが生成されるが、N₂Oの水への溶解度はNH₃に比べて大幅に低く、一旦水に対象ガスを溶解させてから微生物反応によりガス物質を分解する生物脱臭装置ではN₂Oを十分に処理することができない。そこで、硝化過程からのN₂O生成を抑制する亜硝酸酸化促進法や、主に脱窒過程からのN₂O生成を抑制すると報告されている炭添加等を活用することで、生物脱臭装置に送り込まれる前の堆肥化発酵過程におけるN₂Oの生成量を抑制する方法を開発する。

2) 研究方法

堆肥化処理過程から発生するGHGである一酸化二窒素（N₂O）とメタン（CH₄）を実験室規模（数十リットル）から中規模（数は百リットル）の堆肥化試験で発生量を確認し、亜硝酸酸化細菌やバイオ炭を添加した場合の発生ガス量に及ぼす影響について試験を行った。

臭気対策施設からのGHG削減については、アナモックス汚泥、畜産研究部門の複合ラグーンの活性汚泥、大谷石を用い、これらの組み合わせで回分式培養および連続式培養を行った（図2）。

3) 研究結果

豚ふんの堆肥化処理試験を行い亜硝酸酸化細菌源およびバイオ炭（粉碎竹炭）を添加した場合のGHG発生に及ぼす影響を調査したところ、亜硝酸酸化細菌源を添加した場合に

N₂Oの発生量が約3割、バイオ炭を添加した場合はN₂O発生量が約2割減少する結果が得られた(図1)。亜硝酸酸化細菌源の添加は堆肥化過程で生成されるN₂O発生の原因となる亜硝酸の蓄積を解消するために添加する。バイオ炭は脱窒過程からのN₂O生成を抑制することが報告されている。この2つの方法を組み合わせて堆肥化試験を行った結果、N₂Oの減少率は亜硝酸酸化細菌を添加した場合と大きな差はみられなかった。実処理施設におけるN₂O発生の実態を調査したところ、亜硝酸濃度が高い箇所ではN₂O発生が高い傾向がみられた。また季節によってN₂Oの発生スポットが変動したため、適切な亜硝酸酸化細菌源添加箇所を特定する必要がある。

回分培養では、アナモックス汚泥と大谷石を組み合わせることで、培地中に有機物が含まれないにも関わらず、窒素除去を生起させることに成功した。また、通気時の窒素除去量に対するN₂Oの発生割合は、アナモックス汚泥と大谷石を組み合わせたリアクタでは、アナモックス汚泥を添加していないリアクタと比較し、窒素除去量に対するN₂O発生が1/10以下に低下する抑制効果が見られた。

一方、連続培養においては、リアクタの馴致期間中にアナモックス汚泥未添加のリアクタにおいてもアナモックス菌の増殖が生起し、また、培地中窒素をNH₄⁺のみにしたところ、回分培養時よりも低い窒素除去性能となり、窒素除去量に対するN₂O発生の抑制効果も見られなくなった。臭気対策施設からのGHG削減では、有機物無しの状態でアナモックス反応による窒素除去が可能であることが示された一方で、処理性能の改善のために、アンモニア酸化反応とアナモックス反応の両立のための工夫が必要であることが示された。

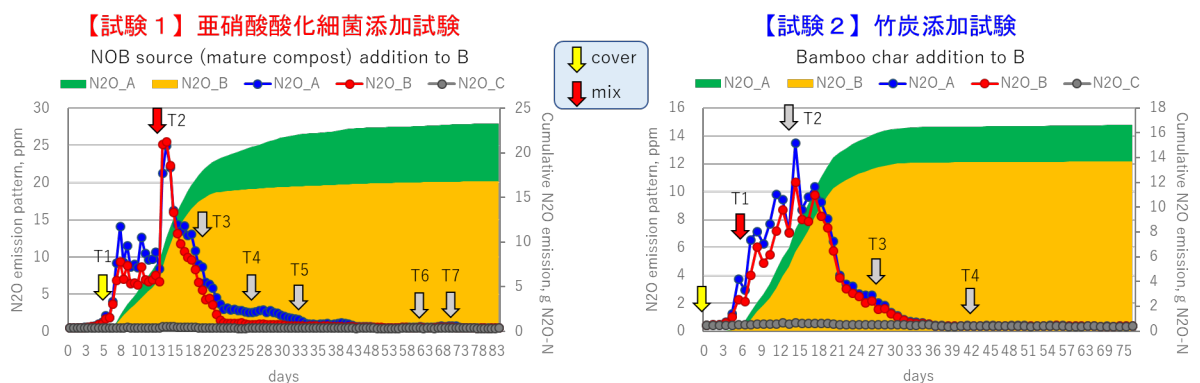


図1 豚ふん堆肥化処理における亜硝酸酸化細菌および竹炭がN₂O発生に及ぼす影響



図2 回分式培養装置および連続式培養装置

4) 成果活用における留意点

堆肥化処理過程からのGHG削減技術の開発については亜硝酸酸化細菌の添加によってN₂Oの発生量が3割程度低減できるが実処理施設ではN₂O発生スポットが季節等の影響により変動するため発生個所を特定する必要がある。

臭気対策施設からのGHG削減では、合成培地を用いた試験であることから、実際の脱臭施設排水では挙動が異なる可能性が有る。

5) 今後の課題

堆肥化処理過程からのGHG削減技術の開発については、N₂Oの発生スポットを実処理現場で簡易に特定する技術が必要となる。バイオ炭入り堆肥ではコスト面での検討が必要である。

アナモックス汚泥を用いた連続培養では、アンモニア酸化反応とアナモックス反応を共存させる条件を明らかにする必要がある。

実行課題番号	201	実行課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発		
実行課題名	(1) 育種現場に適応可能な新規メタン産生測定システムの開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・乳牛精密管理研究領域 鈴木知之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構中央農研・飼料調製グループ・鈴木知之、神谷裕子、及川康平、農研機構畜産研究部門・精密栄養管理ユニット・野中最子、樋口浩二、澤戸利衣、寺田文典		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

従来のチャンバー法に代わり、牛群の育種現場において多頭数の個体別メタン産生量を測定できる方法として、呼気ガスの部分サンプル（スポットサンプル）を採取して、そのガス中のメタン/二酸化炭素比（CH₄/CO₂比）をもとに推定するスポット（スニファー）法でのメタン産生量の精密測定システムを開発する。乳牛に対しては、搾乳ロボットを利用した測定システムを開発する。また、肉牛では個体識別可能なドアフィーダーを利用する方法を開発する。さらに、搾乳ロボットでのメタン測定の精度確認を、呼吸試験チャンバー法との比較で実施する。以上の成果と他課題の成果や既存の情報を収集し、搾乳ロボットでの実用的なメタン測定マニュアルを作成する。

2) 研究方法

乳牛では搾乳ロボット内で搾乳中に呼気ガスをサンプリングしCH₄/CO₂比を測定する手法を開発し、複数のロボット機種で測定条件を検討する。CH₄/CO₂比測定値への環境要因の影響評価を行い、CH₄/CO₂比測定要件を明らかにする。チャンバー法で得られたメタン排出量データを用い、CH₄/CO₂比を用いた1日のメタン排出量推定式を提案する。小課題2全体からメタン測定に必要なデータを抽出し、メタン測定マニュアルを作成する。

3) 研究結果

搾乳ロボット内でのガス採取については、吸引されるメタンおよび二酸化炭素濃度がガス分析計の測定レンジ内で高い濃度となる、ガス吸引口の設置位置、吸引流量、および緩衝チャンバー容量を決定した。本システムを5機種（3社）の搾乳ロボットで試したところ、採取口の設置位置以外は同一のシステムで測定が可能であることが示された。精度の高いCH₄/CO₂比を得るためには、高い濃度のメタンおよび二酸化炭素濃度のサンプルガスを得る必要があり、ロボットへの風防の設置が有効であることが示された。また、サンプルガスの二酸化炭素濃度から測定精度を判断するための指標を示した。チャンバーでの呼吸試験データを用いてメタデータ解析を行うことにより、呼気中CH₄/CO₂比を用いた以下のメタン排出量推定式を得た(Suzuki et al., 2021)。

$$\text{CH}_4(\text{L}/\text{日}) = -397 + 0.317 \times \text{体重}(\text{kg}) + 13.3 \times \text{乾物摂取量}(\text{kg}/\text{日}) + 3.14 \times \text{エネルギー補正乳量}(\text{kg}/\text{日}) + 4343 \times \text{CH}_4/\text{CO}_2 \quad (\text{調整済み}R^2 = 0.898, \text{RMSE} = 31.9)$$

メタン測定マニュアルタイトルは「ウシルーメン発酵由来メタン排出量推定マニュアルー呼気中メタン/二酸化炭素濃度比を活用したon farm測定法ー」とし、対象者は、畜産農家、普及指導員、農業関連団体職員、農業関係研究者等である。本マニュアルではルーメン発酵由来メタン排出状況と多様な測定方法の俯瞰を行い、乳用牛と肥育牛でそれぞれ、測定の背景、測定の実際、計算方法、データの解釈について解説し、本マニュアルを読むことにより測定が可能になるような内容とした。また、参考情報として、プロジェクト成果を元にした育種改良の可能性についてもわかりやすくまとめた。また、現状では、測定に取り組むためには、特にガス分析計のコストがネックとなるが、簡易な測定方法についてもその可能性について紹介した。

4) 成果活用における留意点

スポット（スニファー）法はメタン排出量を生産現場でも評価できる技術であるが、測定値には日内、日間変動、環境要因等の影響を受ける。このため、マニュアルを参照の上、これら要因を最小化するための測定、解析を行い排出量評価を行う必要がある。

5) 今後の課題

本プロジェクトでは泌乳牛と肥育牛でのスポット（スニファー）法によるメタン排出量測定・算出方法を示したが、育成牛や繁殖牛等、測定可能畜種を増やす必要がある。スポット（スニファー）法は低メタン排出牛育種のために作られた技術であるが、飼料やサプリメントのメタン抑制効果の検証といった使用方法も検討してゆく必要がある。

<引用文献>

Suzuki et al., Anim Sci J. 2021;92:e13637. <https://doi.org/10.1111/asj.13637>

実行課題番号	202	実行課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発		
実行課題名	(2) 新規メタン産生測定システムの精度に及ぼす諸要因の解析		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構畜産研究部門・乳牛精密管理研究領域 鈴木知之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	広島大学・統合生命科学研究科 小櫃剛人、黒川勇三、杉野利久		
共同研究機関・研究室・研究者名等	群馬県畜産試験場・酪農係 都丸友久、櫛淵隆之		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

スポット（スニファー）法でのメタン産生量測定値に影響することが予想される搾乳ロボットでの進入・搾乳回数を安定して高く維持するために、嗜好性が高く、ルーメン発酵を阻害しない搾乳ロボット内専用の配合飼料の開発を行う。

搾乳ロボットを用いた飼養で給与される基礎混合飼料(PMR)の栄養濃度や粗飼料源、あるいはロボット内配合飼料の給与量を変化させることによって、乳牛の採食行動や搾乳ロボットへの進入行動を変化させ、採食・搾乳時刻や搾乳頻度などがスポット法でのメタン産生量測定値に及ぼす影響を明らかにする。

2) 研究方法

平均搾乳回数を1日3回以上にすることが可能な搾乳ロボットで給与する配合飼料の栄養濃度および配合原料を明らかにするため、搾乳ロボットを有するフリーストール牛舎において、栄養濃度と飼料原料の異なる配合飼料および基礎混合飼料（PMR）を給与し、搾乳行動（進入・搾乳回数）、ルーメン内性状ならびに乳生産成績を調査した。

PMRの飼料原料が呼気のメタン/二酸化炭素比(CH₄/CO₂比)およびメタン産生量に及ぼす影響を明らかにするため、採食行動や反芻胃内発酵を変化させる可能性のある原料として、飼料米、クラフトパルプ、ビートパルプ、トウモロコシ蒸留粕、飼料イネサイレージなどを配合したPMRを給与し、スポット（スニファー）法で呼気のCH₄/CO₂比およびメタン産生量を測定した。給与飼料がメタン産生量に及ぼす影響とともに、繰り返し測定による反復率、PMR摂取後のメタン二酸化炭素比の変化について検討し、方法の妥当性を検討した。乳量に応じて変化する搾乳ロボットでの配合飼料の給与量の影響を明らかにするために、配合飼料給与量を2段階設定し、採食行動、乳生産成績、呼気CH₄/CO₂比およびメタン産生量について検討した。

また、年間を通じてスポット（スニファー）法でメタン産生量を測定できるようにする

ために、季節による牛舎環境の違い、特に暑熱環境の影響に着目し、夏季の進行にともなうメタン発生量の変化について検討した。さらに、搾乳ロボットの機種の違いによる測定方法への影響を検討するために、新しく更新された機種を用いて、別機種ですでに検討した飼料条件での搾乳行動を調査した。

3) 研究結果

搾乳ロボット配合飼料として、トウモロコシや大麦を主な原料としたTDN85%程度のペレット・フレーク飼料を用いることによって、平均3回/日の搾乳回数を得られた。低乳量の個体には、TDN70%程度のペレットを用いて給与量を多くすることによって、1日3回の搾乳回数を得られることを明らかにした。

搾乳ロボット内配合飼料をTDN85%程度とした場合、トウモロコシサイレージおよび飼料イネサイレージを主体としたTDN70%程度のPMRを給与することで、3回/日の搾乳回数を得られることを明らかにした。トウモロコシサイレージと輸入乾草を組み合わせた粗濃比4:6でTDN含量を70%程度としたPMRでは、搾乳ロボット内配合飼料がTDN90%であっても3回の搾乳回数を確保することが可能であった。搾乳ロボットの機種が異なっても、同様な飼料条件で平均3回/日の搾乳回数を得ることができた。

PMR採食後での搾乳行動について、採食から1時間以内に搾乳（測定）されるケースが全体の半分程度みられた。PMR摂取からの時間経過に伴い呼気 CH_4/CO_2 比は低下傾向を示し、摂取から4時間後に測定された CH_4/CO_2 比は、1時間以内に測定された場合に比べて有意に低くなった。

PMRに用いる市販配合飼料を飼料米とクラフトパルプで代替すると、メタン発生量が増加傾向にあったが、メタン発生量における個体間の順位は変わらなかった。また、PMR配合原料のうち、ビートパルプと大豆粕(合計16%)をトウモロコシ蒸留粕に代替してもメタン発生量は影響されず、市販配合飼料(15%)と牧草サイレージ(20%)をそれぞれ飼料米と飼料イネに置き換えても、繰り返し測定での反復率は高い値が得られた。

搾乳ロボット配合飼料の給与量の違いは、PMRの採食行動やルーメン内揮発性脂肪酸組成を変化させ、呼気 CH_4/CO_2 比の日内変動を変化させることが示唆された。

夏季では、平均気温の上昇とともに呼気の CH_4/CO_2 比が高まることが示された。乳量や乾物摂取量が低下するために、必ずしも1日あたりのメタン発生量は増加しないが、乳量あたりや乾物摂取量あたりのメタン発生量は暑熱期の初期に増加した。夏季の進行に伴い、メタン発生量が低下することも示唆された。

4) 成果活用における留意点

メタン二酸化炭素比には日内変動があるため、メタン発生に関する個体の表型値を得るためには、7日程度の測定期間によって十分な測定数を得る必要がある。

5) 今後の課題

多くの酪農場で多頭数のデータを得るために、スポット（スニファー）法の精度をさらに向上させる必要がある。農場での飼養条件下でのスポット（スニファー）法による測定によって、メタン発生低減効果が知られている飼料資材の効果を確認する必要がある。

実行課題番号	203	実行課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	II 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発		
実行課題名	(3) メタン産生量の個体差に影響する諸要因の解析		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構畜産研究部門・乳牛精密管理研究領域 鈴木知之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構 畜産研究部門・家畜代謝栄養研究領域 真貝拓三・小林洋介・瀧澤修平・寺田文典		
共同研究機関・研究室・研究者名等	東北大学大学院農学研究科 盧 尚建・萩野頭彦・李 權正 兵庫県立農林水産技術総合センター・畜産技術センター 正木達規・大崎 茂 // 淡路農業技術センター 生田健太郎		

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

第一胃内微生物特性がメタン産生に及ぼす諸要因を解析するため、メタン産生が少ない牛の第一胃内微生物相の特徴を解明し、メタン産生の少ない牛に特徴的な微生物の特定とその分離、培養化に取り組む。また、特定した微生物の検出系を作成する。さらに、メタン削減につながる可能性がある微生物について第一胃内発酵との関連性を明らかにする。

メタン排出量の多少に関連する牛の生理諸元について検討し、メタン排出量の少ない個体の生理学的特性解明に取り組む。そのため、ルーメン微生物相・ルーメン発酵の特徴を把握しつつ、泌乳ステージあるいは肥育過程を踏まえたデータの集積を図る。

2) 研究方法

農研機構が所有する呼吸試験装置を用いて収集したメタン産生の多い一般的な牛、およびメタン産生が少なくプロピオン酸比率の高い牛について、第一胃内微生物相を網羅的に比較解析し、メタン産生の少ない微生物相の特徴的を明らかにした上で、その微生物の分離にチャレンジした。特定した微生物の検出系を作成し、牛ごとの微生物分布を調べた。また新冠牧場におけるメタン/二酸化炭素比やプロピオン酸比率と微生物相の関連を評価した。

乳牛においては、①スポット（スニファー）法によりメタン排出量を測定した193例（群馬畜試）を用いて、メタン排出量と脂肪補正乳量（FCM）水準により4区に分け、メタン排出量の高低（H区、L区）とFCM水準の影響を2元配置法によって解析した。また、メタン排出量を反映する生理指標を探索した。② 乳脂肪酸組成情報を活用した簡易なメタン排出量推定方法について、群馬畜試（388例）、広島大学(146例)、家畜改良センター（111例）の泌乳牛データを用いて検討した。

肉用牛については、① 呼吸試験装置を用いて測定した76例のデータを用いて、飼養成績を用いた肥育牛からのメタン排出量推定式を作成し、その有用性を検証した。② ドアフィ

ーダーを使って管理されている牛群（兵庫農技総セ）におけるスポット（スニファー）法による測定方法を開発し、その有用性を実証した。③ 肥育牛におけるメタン排出関連形質と枝肉成績との関連性について105頭の成績を用いて検討した。④ 黒毛和種のメタン排出量と生理・代謝情報の関連性を評価した。

3) 研究結果

メタン産生が少なくプロピオン酸比率の高い牛について、新規細菌群が高い割合で特徴的に存在することが明らかになった。その一部微生物（新規*Prevotella*属細菌）の分離に成功し、新種登録するとともに機能性を明らかにした。一方、本菌の牛胃内への投与等の応用利用には本菌の基質利用性や発酵環境の条件について検討を要することが明らかになった。特定した微生物の検出・定量系を作成し、牛ごとの微生物分布を調べたところ、農研機構や新冠牧場の一部の牛に存在を確認するとともに、新冠牧場の牛群で、プロピオン酸比率と新規*Prevotella*属細菌を含む一部の第一胃内微生物群との関連を明らかにした。

乳牛において、①メタン排出量が少ないL区では、H区に比べて乳量が多く乳脂率は低いこと、Mixed脂肪酸（C16）割合が大きく、PreFormed脂肪酸（C18～）割合が小さいこと、ルーメン液pHが低く、酢酸割合が小さく、プロピオン酸割合が大きいことが明らかになった。② ①において、乳脂肪酸組成がメタン排出量の多少をよく反映していることから、これを活用して、メタン排出量推定式を作成し、実用上十分な適合度であることを示した。肉用牛では、①肥育牛のメタン排出量推定式を作成した（Uemoto et al., 2020）。

$$\text{CH}_4(\text{L}/\text{日}) = -676.7 + 0.04194 \times \text{体重}(\text{kg}) + 29.88 \times \text{乾物摂取量}(\text{kg}/\text{日}) + 7.883 \times \text{TDN含量}(\%) + 4.367 \times \text{粗飼料割合}(\%)$$

② ドアフィーダーでのスポット（スニファー）法およびメタン排出量の計算方法を提案し、良好な精度を示すことを明らかにした。③余剰メタン排出量の多少は飼料効率および枝肉成績に影響を及ぼさないことが明らかとなった。④ 高メタン排出牛の生理的特徴として、ルーメン液中のプロピオン酸割合が低く、血糖値を維持するため肝臓の解糖系や血漿中アミノ酸利用性が変化していることが示された。

4) 成果活用における留意点

スポット（スニファー）法は簡便法であり、その精度の改善がさらに必要であることを留意する。

5) 今後の課題

新規*Prevotella*属細菌の応用利用のために基質利用性等の増殖に適した環境を明らかにする必要がある。メタン関連形質測定法の精度改善とより簡便な推定法の開発を進める必要がある。

<引用文献>

Uemoto et al., Anim Sci J. 2020;91:e13341. <https://doi.org/10.1111/asj.13341>

実行課題番号	204	実行課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発		
実行課題名	(4) 育種現場での多頭数の個体別メタン産生データの測定・蓄積		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構畜産研究部門・乳牛精密管理研究領域 鈴木知之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	独立行政法人 家畜改良センター 企画調整部 葛谷好弘、橋場健治、西川悠貴 新冠牧場 真崎匡、舛田正博、内沢航太		
共同研究機関・研究室・研究者名等	広島大学・大学院統合生命科学研究所 小櫃剛人、黒川勇三、杉野利久 群馬県畜産試験場・酪農係 都丸友久、櫛淵隆之		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

搾乳ロボットを利用した個体別メタン産生量を測定するシステムにより、遺伝的背景が明らかな多頭数の牛のデータを測定・蓄積する。このデータを使用して、課題205の遺伝率の算出を行う。さらに、乳、血液及び第一胃内容液を採材し、課題203の解析を支援するため提供する。

2) 研究方法

搾乳ロボット牛房で飼養している搾乳牛について、搾乳ロボットの飼槽部分を利用した法によってメタン産生量の測定を行う。

3) 研究結果

5年間で延べ1,620頭のメタン産生量実測データを収集し、課題205の遺伝率の算出等に貢献した。このことから、5年間で500頭以上のメタン産生量実測データを収集する目標を達成した。

さらに、乳を延べ697頭、血液を延べ699頭及び第一胃内容物を延べ679頭から採取し、課題203の研究推進に貢献した。

4) 成果活用における留意点

特になし。

5) 今後の課題

本試験では、メタン産生量とともに、乳、血液、第一胃内容物などを採取した。特に血液や第一胃内容物の採取は、多くの労力を要するため、今後、多頭数でデータを採取する場合は採取する検体を精査する必要がある。また、既存の仕組みの活用を視野に入れ、体重や飼料摂取量など新たなデータ採取も検討する必要がある。

また、本事業では限られた期間の中で多くのデータを取得できた。一方で、育種改良の

ためには、多くのデータの蓄積が必要である。そのためには、より効率的なメタン産生量の測定方法が必要である。

実行課題番号	205	実行課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発		
実行課題名	(5) メタン産生に関する遺伝率の算出と育種方策の提案		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構中央農研・飼料調製グループ・鈴木知之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	東北大学大学院農学研究科・動物遺伝育種学分野 佐藤正寛・上本吉伸・小川伸一郎		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	独立行政法人家畜改良センター・企画調整部・小島孝敏、 鈴木恒平		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

乳牛については家畜改良センター、広島大学、群馬県畜産試験場が収集するデータを用いて、肉用牛については摂取量と飼養成績の記録がある検定データを用いて、実測あるいは推定メタン産生量に関する遺伝的パラメーターの推定および一塩基多型(SNP)情報の活用によるゲノム育種方策について提案する。

2) 研究方法

肉用牛では黒毛和種を対象に、家畜改良事業団がこれまでに実施した間接検定集団約5000頭の飼料摂取量および体重のデータを用いた。本データを用いて、実施課題番号203で作成したメタン産生量(CH₄)、乾物摂取量(DMI)あたりのメタン産生量(CH₄/DMI)およびメタン転換効率(MCF)の予測式 (Uemoto et al., 2020a) から予測値を求め、メタン関連形質の表現型値として用いた。得られた表現型値を用いて遺伝的パラメーター (遺伝率および遺伝相関) を推定した。また、本集団では、その種雄牛約400頭がSNP情報を有していることから、single-step genomic BLUP (ssGBLUP)法によるゲノムワイド関連解析(GWAS)を実施し、メタン関連形質に影響を与えるSNPの検出を試みた。

乳用牛ではホルスタイン種を対象に、課題204にてスポット (スニファー) 法によりメタン・二酸化炭素比(CH₄/CO₂)を収集した集団について、各個体最低2記録を有する個体約200頭・500記録を解析に用いた。CH₄/CO₂、CH₄、測定対象期間内の一日平均乳量、エネルギー補正乳量(ECM)、ECMあたりのメタン産生量、ECMによるCH₄推定値からの余剰メタン産生量の6形質について、遺伝的パラメーター (遺伝率、反復率および遺伝相関) を推定した。また、対象個体について、SNPチップによる遺伝子型判定を行った後、GWASを実施し、メタン関連形質に影響を与えるSNPの検出を試みた。

3) 研究結果

黒毛和種において、メタン関連形質の遺伝率は約0.6であり、これまでに報告された遺伝率よりも高い値が推定された。また、メタン関連形質と枝肉形質および飼料利用性形質と

の遺伝相関は、 CH_4 とは望ましくない遺伝相関が推定された一方で、 CH_4/DMI およびMCFとは望ましい遺伝相関が推定された。さらに、GWASの結果、ゲノムワイドで有意なSNPは検出されなかった

(Uemoto et al., 2020b)。これらの成績に基づき、メタン産生効率 (MCF) の育種改良による改善効果を試算した結果、10年間で5.5%程度の削減効果が期待できることが示された (図1)。

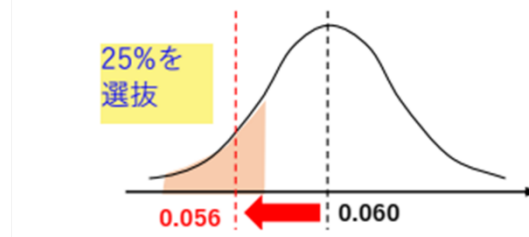


図1 低メタン産生牛の選抜育種によりメタン産生効率 (MCF) を改善
注：黒毛和種肥育牛の現在のMCF表現型値の分布 (平均値 0.060) で最小値から25%を選抜すると仮定すると、10年間で5.5%程度の削減が可能となる。

ホルスタイン種において、メタン関連形質の遺伝率は約0.1~0.2程度と、従来と同様の遺伝率を示す一方で、反復率は約0.4程度の高い値が推定された。また、メタン関連形質と乳量との関係について、 CH_4 とは望ましくない遺伝相関が推定された一方で、MCFをはじめとするメタン効率に関する形質とは望ましい遺伝相関が推定された。さらに、GWASの結果、ゲノムワイドで有意なSNPは検出されなかった。

以上より、黒毛和種およびホルスタイン種について、メタン関連形質は遺伝性を示し、特にメタン効率に関する形質では、他の経済形質と独立して育種改良に利用できる可能性が示唆された。また、育種改良の手法として、ポリジーン効果を仮定したBLUP法やゲノミック評価法などが育種改良に有効であることが示唆された。

4) 成果活用における留意点

本研究では、メタン関連形質の測定頭数の制限から、SNP情報を用いたゲノミック評価の検証は行っておらず、更なる研究が必要である。

肉用牛の結果について、メタン関連形質は乾物摂取量および体重からの予測値であり、実測値ではない。本研究手法を用いて CH_4 削減を考えた場合、乾物摂取量および体重に起因する CH_4 であることに留意する必要がある。実際には、 CH_4 はこれら形質以外の要因も含まれており、これら要因を考慮するためには実測値での評価も重要である。

乳用牛の結果について、スポット (スニファー) 法により特定期間の CH_4/CO_2 を測定している。乳量は泌乳期間によって大きく変動することから、泌乳期間におけるメタン関連形質の遺伝的な影響について、詳細を明らかにしていないことに留意する必要がある。

5) 今後の課題

肉用牛の結果について、メタン関連形質は乾物摂取量からの予測値であり、乾物摂取量を測定する必要がある。また、乳用牛の結果では、スポット (スニファー) 法により CH_4/CO_2 を測定している。本研究では、メタン関連形質が育種改良可能であることが示唆されたが、いずれの畜種においても、現場にてメタン関連形質の測定を簡易に行える評価方法の開発が今後の課題である。

<引用文献>

Uemoto et al., Anim Sci J. 2020a; 91: e13341. <https://doi.org/10.1111/asj.13341>

Uemoto et al., Anim Sci J. 2020b; 91: e13383. <https://doi.org/10.1111/asj.13383>

小課題番号	Ⅲ	小課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅲ 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示		
実行課題名	(1) 草地飼料畑における温室効果ガス削減ポテンシャルの評価		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構畜産研究部門・省力肉牛生産グループ・森昭憲		
共同研究機関・研究室・研究者名等	北海道大学・農学研究院・当真要・波多野隆介・倉持寛太 北海道立総合研究機構・中央農業試験場・農業環境部・谷藤健・中村隆一・須田達也 農研機構九州沖縄農業研究センター・飼料生産グループ・古賀伸久・井原啓貴・小林創平・山根剛		

II. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

国内の草地飼料畑では、堆肥/化学肥料の併用と化学肥料の単用の比較により、堆肥と化学肥料に対する N_2O 排出係数が開発されたが、堆肥以外の排せつ物に対する排出係数は、実測値が極めて少ない。また、気候や土壌など環境条件の違いは、草地飼料畑における排出係数を変動させることが知られている。

本課題は、国内の代表的な生乳生産地域である北海道、那須、熊本の草地飼料畑で、堆肥/スラリー/消化液に対する N_2O 排出係数を開発し、飼料生産に排せつ物を適切に利用することに伴う温室効果ガスの排出削減ポテンシャルを評価する。

2) 研究方法

(1) 供試圃場及び測定期間

試験には、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター静内研究牧場（北海道日高郡新ひだか町、以下静内）の多湿黒ボク土に立地する永年草地、現地酪農家（北海道江別市西野幌、以下江別）の地下水型疑似グライ土に立地する永年草地、農業・食品産業技術総合研究機構畜産研究部門那須塩原研究拠点（栃木県那須塩原市千本松、以下那須塩原）の褐色低地土に立地する二毛作飼料畑、農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター合志研究拠点（熊本県合志市須屋、以下熊本）の黒ボク土に立地する二毛作飼料畑を供試した。静内、那須塩原、熊本の土壌は火山灰の影響を受けており、黒ボク土または準ずる性質を有するが、江別の土壌は非黒ボク土である。静内は2017年5月～2021年11月、那須塩原は2017年9月～2020年9月、熊本は2017年10月～2020年9月、江別は2019年5月～2021年10月にかけて以下の圃場試験を行った。なお、江別における圃場試験は、北海道立総合研究機構中央農業試験場、北海道大学農学研究院が分担して実施した。

(2) 作物及び気象条件

栽培作物は、静内がリードカナリーグラス、江別がオーチャードグラスで、ともに永年牧草、那須塩原と熊本がイタリアンライグラス（冬作）とトウモロコシ（夏作）で、ともに

単年性の飼料作物である。年平均気温は静内が8.3℃、江別が6.6℃、那須塩原が12.2℃、熊本が16.9℃、年降水量は静内が1339mm、江別が1109mm、那須塩原が1632mm、熊本が1986mmである。静内と江別は冷帯に位置する北海道の永年草地、那須塩原と熊本は温帯に位置する都府県の飼料畑の代表地点である。

(4) 家畜排せつ物

各供試圃場の近隣に位置する研究牧場や酪農家から堆肥、スラリー、メタン発酵消化液（以下、消化液）を収集し、炭素、窒素、リン酸、カリウム濃度と水分含有率を測定した。炭素濃度は、家畜排せつ物の施用に伴い草地飼料畑に投入される炭素量を算出するため、窒素、リン酸、カリウム濃度は、排せつ物の施用量、化学肥料の施肥量を決定するために使用した。また、排せつ物の分解特性の指標となるC/N比を求めた。なお、C/N比が大きい有機物ほど分解し難い特性を持つ。

(5) 肥培管理

以上の4地点で、地域の施肥基準を基礎に、堆肥、スラリー、消化液を施用した。堆肥、スラリー、消化液は、これらの家畜排せつ物の分析値を基礎に、排せつ物から供給されるカリウムが地域の施肥基準を超えないように施用し、堆肥区、スラリー区、消化液区とした。これらの3処理区では不足する成分を化学肥料で補った。さらに、堆肥、スラリー、消化液、窒素肥料に対する一酸化二窒素（ N_2O ）の排出係数（EF）を求めるため、化学肥料のみで窒素、リン酸、カリウムを施用する処理区（化学肥料区）、化学肥料のみでリン酸とカリウムを施肥し、窒素を施肥しない処理区（無窒素区）を設けた。すなわち無窒素区、化学肥料区、堆肥区、スラリー区、消化液区の5処理区を設置した。なお、各処理区は3反復とした。

(6) 微生物呼吸量

土壌から発生する二酸化炭素（ CO_2 ）をクローズド・チャンバー法で通年測定した。土壌から発生する CO_2 （以下、微生物呼吸量）は、土壌微生物が有機物（排せつ物、作物残渣、土壌を含む）を CO_2 まで分解し、大気に放出する反応である。微生物呼吸量を測定するためには、根の呼吸による CO_2 発生量を除去する必要がある。このため各処理区に根を除去した裸地区を作成し、チャンバーを設置した。チャンバーを蓋で密封後、数分間の濃度変化を基礎に微生物呼吸量を求め、この値を台形法で積算し、微生物呼吸量の年間値を求めた。なお、裸地区に根が侵入しないよう、裸地区の外周に遮根透水シートまたは遮蔽版を設置した。

(7) CH_4 と N_2O の発生量

土壌から発生するメタン（ CH_4 ）と N_2O をクローズド・チャンバー法で通年測定した。 CH_4 と N_2O の発生量の測定は、根が存在する条件下で測定した。すなわち各処理区にチャンバーを設置し、チャンバーを蓋で密封後0、15、30分後にチャンバー内大気を採取した。ガスクロマトグラフで CH_4 と N_2O の濃度を測定し、30分間の濃度変化を基礎に CH_4 と N_2O の発生量を求め、これらの値を台形法で積算し、 CH_4 と N_2O の発生量の年間値を求めた。

(8) 土壌および気象条件の測定

上記の温室効果ガスの測定時には、地温と土壌水分量を測定した。これらの値は微生物反応を制御する主要因であり、土壌水分は地表面のガス拡散を制御する要因としても最も重要である。さらに、 CH_4 、 N_2O 発生量の測定後には、各処理区で土壌を採取した。これらの土壌を実験室に持ち帰り、2mmで篩別後にpH、アンモニウムイオン、硝酸イオン濃度を測定した。pHは微生物反応を制御するもうひとつの因子であり、無機態窒素は N_2O の基質

である。また、近隣の気象観測施設から各地点の気温および降水量の通年データを収集した。

(9) 作物の収量、生長量、残渣量

静内の永年草地では年2回、江別の永年草地では年3回、那須と熊本の飼料畑では年2回、すなわち冬作と夏作の収量を坪刈法で調査した。収量は肥培管理の妥当性を確認するために重要な情報であり、永年草地の炭素収支を求める際に必要である。さらに、静内と江別では牧草の地上部生育量 (ANPP) と地下部生育量 (BNPP)、那須塩原と熊本では作物残渣量 (刈株と根) を求めた。なお、BNPPと作物残渣 (根) の調査では深さ0~30cmの土壌を調査した。

(10) 炭素収支

永年草地の炭素収支は式1、飼料畑の炭素収支は式2で求めた。

$$\text{永年草地の炭素収支} = (\text{堆肥施用} + \text{作物生育}) - (\text{収穫} + \text{微生物呼吸}) \dots \text{式1}$$

$$\text{飼料畑の炭素収支} = (\text{堆肥施用} + \text{作物残渣}) - \text{微生物呼吸} \dots \text{式2}$$

(11) 温室効果ガス収支

草地飼料畑の温室効果ガス収支は式3で求めた。土壌有機物が増えると、温室効果ガスの削減に寄与するため、炭素収支だけ符号が逆となる。

$$\text{温室効果ガス収支} = \text{N}_2\text{O発生量} + \text{CH}_4\text{発生量} - \text{炭素収支} \dots \text{式3}$$

この値が負になると、草地飼料畑は温室効果ガスの正味の吸収源として機能する。

(12) 一酸化二窒素の排出係数 (N₂O EF)

N₂O EFは草地飼料畑に施用した堆肥、スラリー、消化液、化学肥料に含まれていた窒素のうち、土壌からN₂Oとして放出された割合である。化学肥料のN₂O EFを式4で求めた上で、堆肥、スラリー、消化液のN₂O EFを式5で求めた。

$$\text{N}_2\text{O EF}_{\text{化学肥料}} = \frac{\text{N}_2\text{O発生量}_{\text{化学肥料区}} - \text{N}_2\text{O発生量}_{\text{無窒素区}}}{\text{化学肥料区のN施肥量}} \dots \text{式4}$$

$$\text{N}_2\text{O EF}_{\text{排せつ物}} = \frac{\text{N}_2\text{O発生量}_{\text{排せつ物区}} - \text{N施肥量}_{\text{排せつ物区}} \times \text{N}_2\text{O EF}_{\text{化学肥料}}}{\text{排せつ物としてのN投入量}} \dots \text{式5}$$

3) 研究結果

(1) 家畜排せつ物の施用量

排せつ物の分析値に基づく堆肥の施用量は、永年草地で7.4~71 t/ha/年、飼料畑で14~67 t/ha/年、スラリーの施用量は、永年草地で19.2~75 t/ha/年、飼料畑で95~192 t/ha/年、消化液の施用量は、永年草地で21~80 t/ha/年、飼料畑で86~189 t/ha/年だった。冬作と夏作で、排せつ物を年2回施用する飼料畑は、永年草地より排せつ物の施用量が多い傾向が認められた。

(2) 化学肥料の施肥量

堆肥区の窒素施肥量は、永年草地で61~139 kg/ha/年、飼料畑で268~295 kg/ha/年、スラリー区の窒素施肥量は、永年草地で0~127 kg/ha/年、飼料畑で114~188 kg/ha/年、消化液区の窒素施肥量は、永年草地で33~123 kg/ha/年、飼料畑で147~198 kg/ha/年だった。冬作と夏作で、化学肥料を年2回施用する飼料畑は、永年草地より窒素施肥量が多い傾向が認められた。

堆肥区のリン酸施肥量は、永年草地で0~81 kg/ha/年、飼料畑で186~290 kg/ha/年、スラリー区のリン酸施肥量は、永年草地で0~64 kg/ha/年、飼料畑で197~236 kg/ha/年、消化液区のリン酸施肥量は、永年草地で15~60 kg/ha/年、飼料畑で225~256 kg/ha/年だった。

た。冬作と夏作で、化学肥料を年2回施用する飼料畑では、永年草地よりリン酸施肥量が多い傾向が認められた。

(3) 乾物収量、生長量、作物残渣量

静内と江別の永年草地、那須塩原と熊本の飼料畑のいずれの地点でも、堆肥区、スラリー一区、消化液区の乾物収量は化学肥料と同等であり、排せつ物と化学肥料を組み合わせた肥培管理が、適切だったことが確認された。飼料畑は冬作より夏作の乾物収量が多かった。また、永年草地では年次により地下部生産量 (BNPP) が減少する傾向が認められた。また、飼料畑ではイタリアンライグラスの根が、堆肥区で最も多い傾向が認められ、那須塩原では他区との間に有意差が認められた (Mori 2021)。なお、トウモロコシの場合は、有意な処理間差が認められなかった。

(4) 永年草地の温室効果ガス収支

図1に静内の永年草地における温室効果ガス収支の実測値を示す。測定期間は2017年5月～2020年4月の3年間である。温室効果ガス収支 (図1の○印) は、化学肥料区より堆肥区が小さかった。このことは堆肥と化学肥料を併用する飼料生産が、化学肥料だけ施用する飼料生産より、温室効果ガス削減に寄与したことを意味する。スラリー、消化液の場合にも同様の傾向が認められたが、有意な処理間差ではなく、堆肥施用は炭素収支の改善効果が大きかった (Kitamuraら、2021)。牧草の地上部生育量 (ANPP) の多くが収穫された。また、全ての処理区で微生物呼吸量 (CO₂) は排せつ物由来の有機物の投入量より大きかった。このため静内の永年草地の土壌有機物を維持するには、排せつ物の施用量を増やす必要がある。また、堆肥区、消化液区では排せつ物を施用したにも関わらず、微生物呼吸量 (CO₂) が減少した。排せつ物由来の有機物の一部を土壌微生物が取り込んだ可能性も考えられるが、今後メカニズムを解明する必要がある。なお、測定期間中に牧草の地下部が減少したため、地下部生育量 (BNPP) は負だった。温室効果ガス収支に及ぼす影響は、炭素収支 > N₂O発生量 > CH₄発生量で、温室効果ガス収支を支配する最も重要な因子は炭素収支だった。N₂O発生量はスラリー区が最大、堆肥区が最少となる傾向が認められ、土壌分析の結果から水溶性有機物が脱窒に由来するN₂O発生を助長した結果と推定された。また、スラリーや消化液を施用した直後には、CH₄発生が認められたが、CH₄発生量の年間値は負で、温室効果ガス収支に及ぼす影響は非常に小さかった。以上から堆肥施用は化学肥料との比較において、温室効果ガス収支を改善できることが明らかとなった。

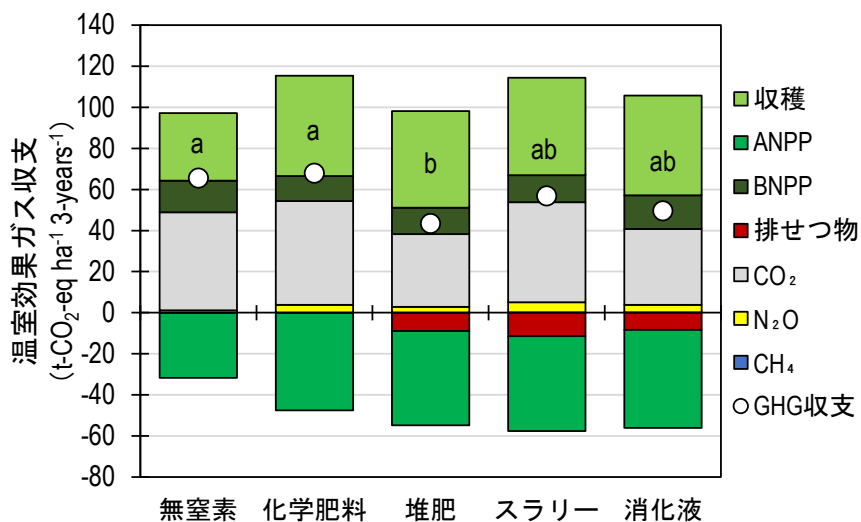


図1 静内の永年草地における温室効果ガス (GHG) 収支 (Kitamuraら、2021)

(ANPPは地上部生育量、BNPPは地下部生育量、CO₂は微生物呼吸量を示す)

江別の永年草地における2019年5月～2020年4月の温室効果ガス収支は、堆肥区が化学肥料区より小さく、静内の結果とほぼ一致した。スラリー区、消化液区でも同様の傾向が認められたが、有意な処理間差は堆肥区のみだった。また、全ての処理区で微生物呼吸量は排せつ物由来の有機物の投入量より大きく、地下部生長量 (BNPP) が負となった。このため江別の永年草地の土壤有機物を維持するには、排せつ物の施用量を増やす必要がある。以上の結果は静内との共通点が多かった。

(5) 飼料畑の温室効果ガス収支

次に、那須塩原市の二毛作飼料畑における温室効果ガス収支の実測値を紹介する(図2)。測定期間は2017年9月～2020年9月の3年間である。このときの温室効果ガス収支(図2の○印)は、化学肥料区より堆肥区が小さく、堆肥区では負値だった。このことは堆肥施用が温室効果ガス削減に寄与し、堆肥区が正味の温室効果ガス吸収源だったことを意味する。また、スラリー、メタン発酵消化液の場合も同様の傾向が認められたが、有意な処理間差は堆肥区とスラリー区のみで、堆肥施用は炭素収支の改善効果が最大だった(Mori, 2021)。また、堆肥区は他区より作物残渣量が多く、排せつ物と作物残渣に由来する有機物の投入量が微生物呼吸量より多かった。すなわち那須塩原の飼料畑に施用された堆肥は、土壤有機物を維持するのに充分だった。一方、スラリー区と消化液区の土壤有機物を維持するには、排せつ物の施用量を増やす必要がある。飼料畑は冬作と夏作で排せつ物を2回施用するため、排せつ物からの有機物の投入量が多い傾向が認められたが、那須塩原では排せつ物の成分や地域の施肥基準の違いも有機物の投入量が多い要因だった。温室効果ガス収支に及ぼす影響は、炭素収支 > N₂O発生量 > CH₄発生量であり、堆肥区はN₂Oの発生量が少ない点も静内の永年草地と一致した。堆肥は飼料畑に有機物を供給するだけでなく、N₂Oの発生量を減らすとともに、作物残渣として根から土壤への有機物の供給量を増やすことでも、温室効果ガスの削減に寄与した。

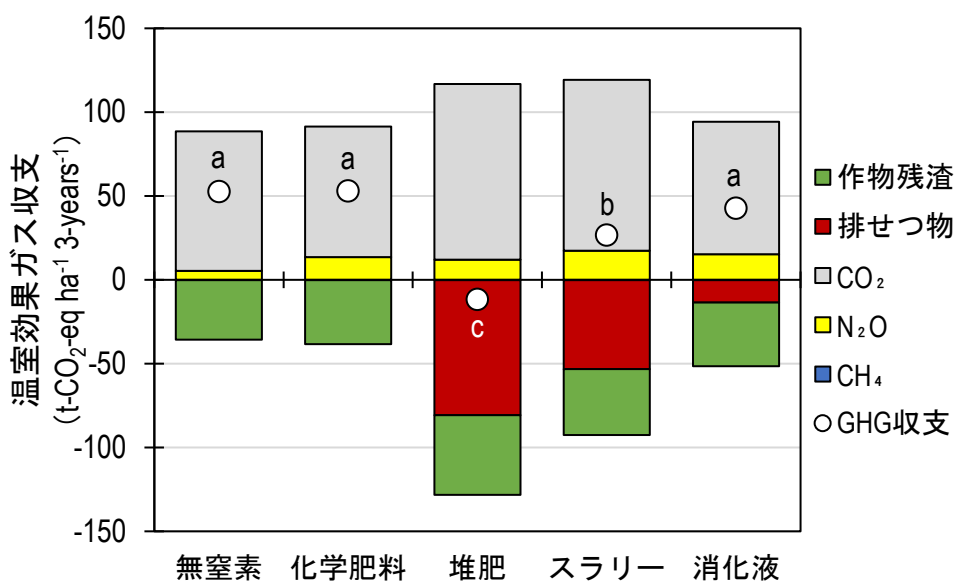


図2 那須塩原の永年草地における温室効果ガス(GHG)収支(Mori, 2021)
(CO₂は微生物呼吸量を示す)

熊本の飼料畑における2017年10月～2020年9月までの温室効果ガス収支は、堆肥区とスラリー区が化学肥料区より小さく、那須塩原の結果とほぼ一致した。消化液区でも同様の傾向が認められたが、有意な処理間差は堆肥区とスラリー区だけだった。また、微生物呼吸量は排せつ物と作物残渣に由来する有機物投入量より大きかった。すなわち熊本の飼料畑の土壌有機物を維持するには排せつ物の施用量を増やす必要がある。

(6) 一酸化二窒素の排出係数 (N₂O EF)

N₂O EFは、堆肥が-4.09%～1.22%、スラリーが0.02%～7.07%、消化液が0.01%～1.19%、化学肥料が-1.49%～3.96%の範囲に分布した。N₂O EFの平均値は、堆肥が-0.17%±0.60%、スラリーが0.95%±1.10%、消化液が0.41%±0.44%、化学肥料が0.70%±0.76%で、排せつ物・化学肥料の種類の違いによる有意差は認められなかった。N₂O EFは排せつ物等のC/N比と負の相関を持つ傾向が認められたが、地点間、年次間で大きな変動を伴った。永年草地では、静内 (-4.09%～7.07%) が江別 (0.06%～0.33%) よりN₂O EFの変動が大きかった。飼料畑では、那須塩原 (-0.5%～3.5%) より熊本 (-0.03%～0.07%) の変動が大きかった。また、江別と熊本のN₂O EFは絶対値が小さく、ゼロに近い値が多かった。このため黒ボク土と非黒ボク土の間で、N₂O EFの大きな違いは認められなかった。負のN₂O EFは、静内 (-4.09%、2017年、堆肥区；-1.65%、2018年、堆肥区)、那須塩原 (-0.5%、2018年、堆肥区)、熊本 (-0.03%、2018年、堆肥区) のように堆肥区で測定される場合が多く、堆肥による無機態窒素の有機化が一因と考えられた。一方、3以上の比較的大きなN₂O EFは、スラリー区 (7.07%、静内、2017年；那須塩原、2017年)、化学肥料区 (3.96%、静内、2017年；3.54%、那須塩原、2020年) で測定され、堆肥区と消化液区では測定されなかった。

4) 成果活用における留意点

本成果は国内の草地飼料畑で、各地域の施肥基準を基礎に、堆肥、スラリー、消化液を最大限に施用した上で、カリウム施肥を省略し、不足する窒素、リン酸を化学肥料で補う理想的な肥培管理を行った場合の実測値である。

5) 今後の課題

堆肥、スラリー、消化液以外の有機物についても温室効果ガス収支の改善ポテンシャルを調査する必要がある。また、温暖化の更なる進行が草地飼料畑の温室効果ガス収支やN₂O EFに及ぼす影響を推定するには、年平均気温がより高い地点でも実測値を取得する必要がある。

<引用文献>

- (1) Kitamura R, Sugiyama C, Yasuda K, Nagatake A, Yuan Y, Du J, Yamaki N, Taira K, Kawai M, Hatano R (2021) Effects of three types of organic fertilizers on greenhouse gas emissions in a grassland on andosol in southern Hokkaido, Japan. *Front Sustain. Food Syst.* 5, 649613
- (2) Mori A (2021) Farmyard manure application and associated root proliferation improve the net greenhouse gas balance of Italian ryegrass – Maize double-cropping field in Nasu, Japan. *Sci. Total Environ.* 792, 148332

小課題番号	Ⅲ	小課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅲ 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示		
実行課題名	(2) 北海道における温室効果ガス排出係数の精緻化と削減方策の検討		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	北海道立総合研究機構・中央農業試験場・木村義彰 (2017.4～2020.3) エア・ウォーター北海道株式会社・事業企画部再生エネルギーグループ・保井聖一 (2020.4～)		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	エア・ウォーター北海道株式会社・保井聖一・尾崎主磨・小野木怜子・清田興朔 北海道立総合研究機構 中央農業試験場・木村義彰・原圭祐・加藤弘樹・石井耕太・稲野一郎		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

家畜ふん尿処理・貯留工程から発生する温室効果ガス (GHG)排出係数のうち、嫌気発酵処理後の乳牛ふん尿消化液貯留中のGHG排出量は環境条件により大きく変動し、かつ不確実性が高いため、その精緻化が必要とされている。そこで消化液貯留槽からのGHGを通年で実測するための測定システムの構築を検討する。また、消化液貯留槽より発生するGHGを実測により精緻化する。

2) 研究方法

消化液から発生する測定技術の開発について、積雪寒冷地用のGHG通年測定システムの基幹装置であるフローティングチャンバーの製作を行い、チャンバーの設置状況及びシステム全体の運用状況を検証した。既設消化液貯留槽に対するカバーリング手法について、文献調査およびメーカー調査を行い既存消化液貯留槽への密閉カバーリングの可能性及び施工方法について検討した。乳牛ふん尿を対象とした消化液貯留槽から発生するGHGの精緻化について、貯留中の固液分離後の消化液 (液分) のGHGおよびアンモニアのフラックスを測定し、GWPを試算した。

3) 研究結果

① 消化液から発生する測定技術の開発

消化液から発生する測定技術の開発について、貯留槽から発生するガス捕集の基幹装置であるフローティングチャンバーは、試作版とプロトタイプと比較試験を行い、測定結果に優位差がない ($r=0.97$) ことを確認した上で、試作版をベースに開発を進め、最終形となるB版 (製品版) を確定した (図1)。B版フローティングチャンバーは、従前のチャンバーに比べ、ガス捕集室の水面高が高く、設置時・積雪時に天井部の液面との接触・汚損を防止するとともに、外周部のウレタン上面を傾斜させ、上部への堆雪が削減することができ、チャンバー内部へのスカムの状況を視認することができる構造となっている (図2)。厳寒期での運用試験では、貯留槽に設置したB版チャンバーの運転条件確定試験を行い、測定時の運転条件をブロー電源周波数35Hz、平均給気量175L/minとした。積雪時の安定性

は良好で給排気ホースや積雪による傾斜は小さく、冬季にチャンバー天面へ約15cm積雪しホース部に湿った重い雪が着雪、約7度傾斜を生じた状態でも、水面～捕集室天井の間隔は中心で約15cm、傾斜側で12cmと十分余裕があり、冬期積雪下での運用が可能であった。

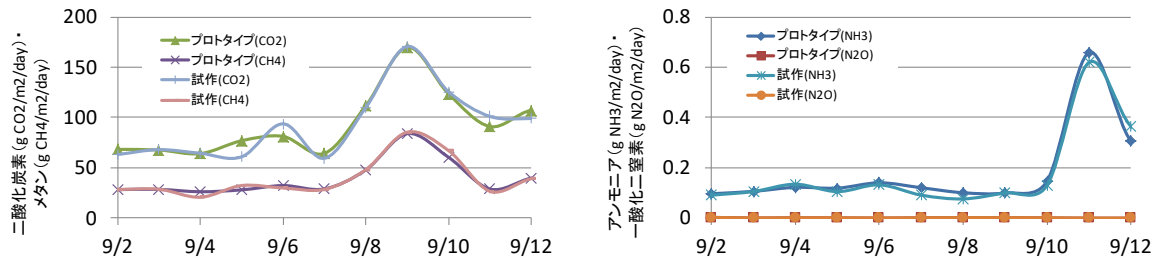


図1 プロトタイプ版および試作版のGHG発生量の比較例 (p>0.01)

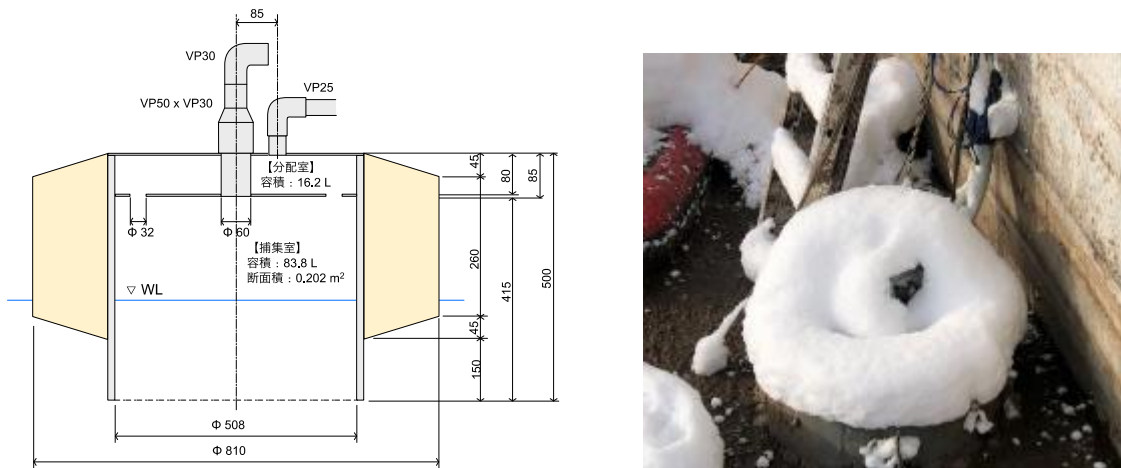


図2 β版フローティングチャンバーの概要およびβ版チャンバー積雪時の状況

②既設消化液貯留槽に対するカバーリング手法の調査・検討

既設の消化液貯留槽を対象に密閉化によるGHG放出防止手法の検討を行った。文献調査、メーカー調査等の結果、施工方法については、センターポールを貯留槽の中心に設置し、ポール上部から貯留槽上面に向かって放射線状にベルトを敷設し、この上部を覆うように二重膜式ガスバックを被覆するダブルメンブレン方式が妥当と判断した(図3、4)。一般的なメタン発酵槽へのダブルメンブレンガスバック施工を応用した結果、全工程3日間、18,400千円で施工できることが示された。

回収したGHGの処理については、低濃度であることが想定されることから、バイオガスプラントから発生するバイオガスと混焼させて処理することを基本とする。また、今後、貯留槽を加温して消化液を恒温化して、乳牛ふん尿を二次的にメタン発酵させることで多くのメタンの採取・利用や、ガス精製濃縮装置(膜分離またはガス吸着)を用いて、メタンを可燃可能な濃度まで濃縮する手法を活用するなど、乳牛ふん尿メタン発酵の高効率GHG削減技術を高度化させる必要がある。

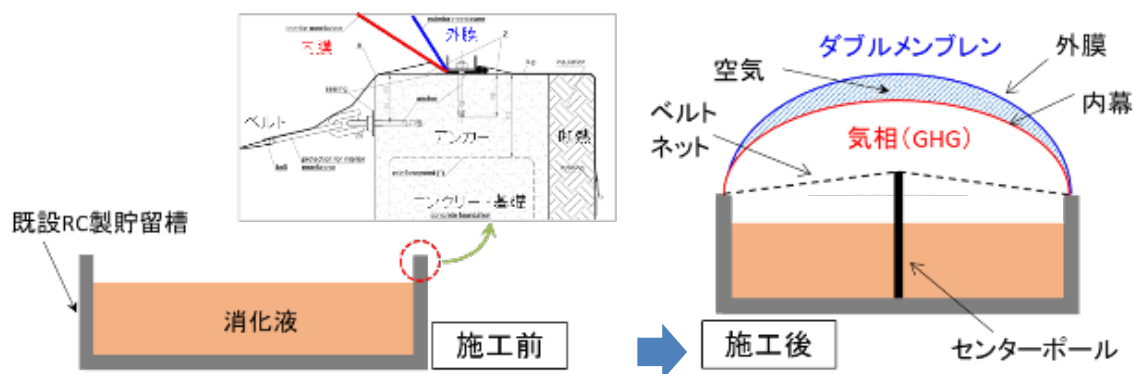


図3 既設消化液貯留槽の密閉カバーリングの施工方法



図4 ダブルメンブレンによる密閉カバーリング手法の手順（イメージ）

③乳牛ふん尿を対象とした消化液貯留槽から発生する温室効果ガスの精緻化

温室効果ガスの精緻化の実測について、測定は2017年12月より開始した。しかし、表層融解時のGHG測定試験後（2018年3月）、バイオガスプラントの発酵不良（2018年9月）、バイオガスプラント停止中における生スラリーの貯留槽への移送による測定中休止期間（2018年10月～2019年9月末）やガスモニターのトラブルなどにより、2019年夏期までの連続データの取得ができなかった。2019より安定したデータの取得が可能となったことから、GHGフラックスの測定について3週間連続を1単位として、2019年の秋期より2021年の夏期までのデータを取得し、取り纏めた（表1）。

表1 プロジェクト実施期間中の測定ログ

年度	春期	夏期	秋期	冬期
2017	—	チャンバー製作	チャンバー製作	3/16-4/4
2018	ガスモニター不調	ガスモニター不調	BGプラント不調	測定中止※
2019	測定中止※	測定中止※	9/23-10/14	1/24-2/16
2020	4/15-5/7	7/14-8/4	9/23-10/14	1/24-2/16
2021	4/15-5/7	7/14-8/4	BGP改修により測定中止	—

※測定中止：貯留槽内に流入した生スラリーの影響がなくなるまで測定を中止した期間。圃場への消化液散布により貯留槽内がカラになった時点より測定を再開した。

貯留槽表層融解時のGHG排出量は $0.113\text{g CH}_4/\text{m}^2/\text{日}$ 、 $0.089\text{g CO}_2/\text{m}^2/\text{日}$ 、および $0.00021\text{g N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{日}$ であった（図5）。貯留中の固液分離後の消化液（液分）を対象とした温室効果ガスの測定期間中における貯留槽内液のpHは7.6～7.9、ORPは-360mV～-450mVで推移し、外気温度が上昇するのに従い（冬期から夏期）低下する傾向を示した。四季を通じて全ての

GHG排出量の日変化を見ると、ガスフラックスは日中に上昇する傾向を示した。また、季節別に見ると、温暖な時期に比べ寒冷な時期に少なく、気温が低くなるのに従い低下する傾向を示した。夏期におけるGHGのフラックスはそれぞれ、 CH_4 : $27.4\text{g CH}_4/\text{m}^2/\text{day}$ 、 CO_2 : $83.3\text{g CO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 、 N_2O : $0.0075\text{g N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{day}$ であった。アンモニアについては $0.278\text{g NH}_3/\text{m}^2/\text{day}$ であった(図6)。冬期における貯留槽表層凍結層からのGHG及びアンモニアのフラックスは、ほとんど確認されなかった。前プロジェクト(H21~25年度、Minatoら(2013)[1])で明らかにされた乳牛ふん尿スラリー貯留槽からのGWP(メタン+一酸化二窒素)と今回の結果を比較すると、固液分離後の消化液(液分)のGWP($1,813\text{g CO}_2\text{-eq}/\text{m}^2/\text{day}$)は乳牛ふん尿スラリー貯留時($3,620\text{g CO}_2\text{-eq}/\text{m}^2/\text{day}$)の約50%(▲ $1,807\text{g CO}_2\text{-eq}/\text{m}^2/\text{day}$)であった(図7)。

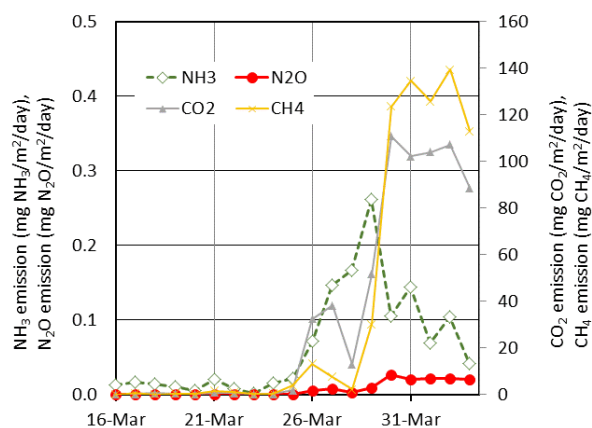


図5 貯留槽表層融解時の固液分離後の消化液(液分)から発生した温室効果ガスの日平均フラックス(2017年冬~春)

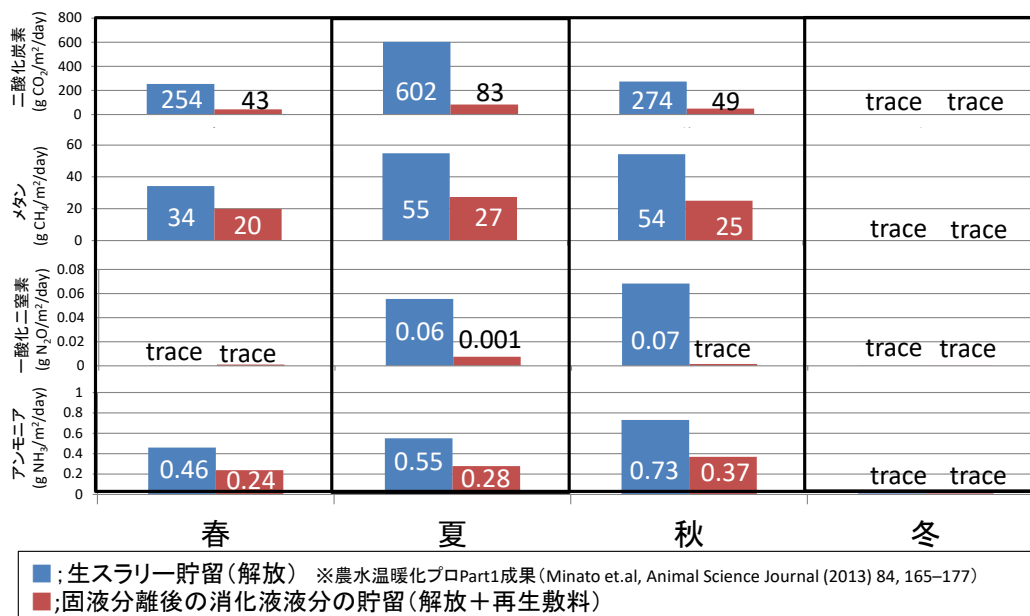


図6 貯留中の固液分離後の消化液(液分)から発生した温室効果ガスの日平均フラックス(2019秋-2021秋)

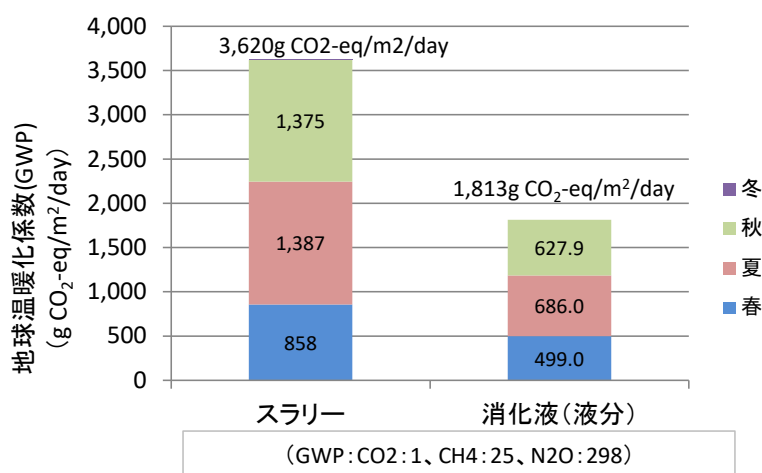


図7 乳牛ふん尿スラリーおよび固液分離後の消化液（液分）貯留時一日当たりのGWP

4) 成果活用における留意点

本事業では、寒冷地域で通年利用が可能な耐久性・可搬性に優れた温室効果ガス測定用のチャンバーを段階的に開発してきた。開発したチャンバーは以下のような特徴がある。

- ・2018年度 プロトタイプ、ソフト浮体ボート型、通期使用不適
- ・2019年度 試作型、ハード浮体・矩形大型、幅1540mm、重量126kg、可搬性欠如
- ・2020年度 α型、ハード浮体・円形中型、直径800mm、重量18.4kg、積雪時不安定
- ・2021年度 β型、ハード浮体・円形小型、直径810mm、積雪時安定

積雪寒冷地の消化液貯留槽ではβ型が最適であるが、温暖地域ではα版での利用も可能である。本小課題では、固液分離後の液分から発生する温室効果ガスを対象としているが、これまでに開発してきた各種チャンバーは家畜ふん尿貯留槽以外での利用も可能であり、水面が波打つ畜産汚水曝気槽、湖沼、緩やかな河川等ではプロトタイプもしくは試作型が適していると考えられる。

既設消化液貯留槽の密閉カバーリング施工技術については、コンクリート（RC製）貯留槽を対象としたものである。鋼製貯留槽の場合は壁面上端部の施工（平滑化）が必要となる点に留意する。RC製、鋼製のいずれにおいても、貯留槽壁面上端部からセンターポール側に働く荷重が生じることから、事前に構造計算など耐久性を確認する必要がある。

5) 今後の課題

最終年度において、乳牛ふん尿メタン発酵消化液貯留槽用の寒冷地向けGHG測定システム（チャンバー）を完成させることができた。今後は、本システムの細部の改良（結露防止、塗装による耐久性強化など）を重ねて製品化できる体制を整える。

家畜ふん尿処理を規模別で見ると、小規模酪農（頭数100頭前後）で敷料（堆肥化のための水分調整資材）が十分に確保できない農家においては、原料の高水分化により堆肥化からメタン発酵への切り替えが必要となっている酪農現場も増加しつつある。これらの小規模酪農家向けの乾式メタン発酵システムの開発が急務となっている。

また、頭数250頭以上で、排出されるふん尿がスラリー状である一般的な中・大規模酪農では、メタン発酵後の消化液を固液分離し、分離固形分を乾燥化して再生敷料として利用する事例が増加しつつある。しかし、再生敷料からのGHGを測定した事例、それらの数値をとりまとめた具体的研究は見当たらないことから、今後は再生敷料からのGHGの精緻化が必要である。

一方、中・大規模フリーストール飼養の中には敷料として麦稈などの長尺繊維を使用している酪農形態もあり、そのことがバイオガスプラントの導入を妨げている場合が見られる。このようなタイプの酪農家については、麦稈混合原料等を固液分離した後の分離液分をメタン発酵させ、分離固分については堆肥化する処理手法も考えられる。これまでの関連研究の成果から、「高水分分離液のメタン発酵」と「水分を適正に調整した分離固分の堆肥化」との組合せはGHG削減に有効であると考えられることから、今後このような飼養形態に適した固液分離機の開発が必要である。

<引用文献>

- [1] Minato,et.al., Determination of GHG and ammonia emissions from stored dairy cattle slurry by using a floating dynamic chamber. *Animal Science Journal*, 84, 165-177 (2013)

小課題番号	Ⅲ	小課題 研究期間	平成29 ～令和3年度
小課題名	Ⅲ 畜産システムとしての温室効果ガス削減方策の提示		
実行課題名	(3) 家畜生産における温室効果ガス評価モデルの開発と削減技術の評価		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	国立大学法人京都大学大学院農学研究科・畜産資源学研究室・大石風人、廣岡博之		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	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・長田隆、荻野暁史、酪農学園大学・日向貴久、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		

Ⅱ. 実行課題ごとの研究目的等

1) 研究目的

畜産経営体から排出される温室効果ガス (GHG)削減目標の達成にあたっては、家畜、ふん尿処理、草地という全てのプロセスからのGHG排出をまず明らかにし、地域性やプロセス間の相互作用を考慮した上でGHG削減技術導入による削減量を評価する必要がある。

本課題では、それぞれの畜種について経営体からのGHG排出量を評価するモデルを開発し、開発したモデルを用いて削減技術を組み込んだ畜産システムのGHG削減効果を定量的に評価する。削減量やリーケージの不明な削減技術については実測によりその排出等のデータを算出する。その中で、炭素繊維リアクターを用いた削減技術を導入し、実証試験で得られたデータや農家の意見を反映させながら、普及に向けた実用化支援組織と連携して、普及につながる技術を開発する。また緩和技術導入に対する経済的評価も行う。

2) 研究方法

酪農生産に適用可能な緩和技術を摘出し、国内での導入可能性を勘案したGHG削減割合をLCAにて定量化した。また、各技術の導入コストを基にGHG削減コストを算出し、GHG20%削減に向けた技術導入の方法論を示した。

肉牛生産について、LCAに基づく環境影響評価モデルを用いて、黒毛和種に対しては繁殖生産および肥育生産（去勢・未経産）、乳用種および交雑種に対しては肥育生産（おす・めす）それぞれに対し、令和2年度家畜改良増殖目標の現状数値を慣行生産として評価を行った。その際、評価は経営体を対象として、飼料生産・輸送段階の排出は慣行生産との差分として評価した。その上で、黒毛和種繁殖生産に対しては、完熟堆肥散布によるN₂O削減と育種改良によるメタン変換効率（MCF）改善の他、初産分娩月齢短縮と分娩間隔短縮を削減技術として削減率を評価した。また黒毛和種・乳用種・交雑種それぞれの肥育生産に対しては、バランス飼料による排せつ物中N削減、完熟堆肥散布によるN₂O削減、肥育期間短縮と育種改良による増体改良、および育種改良によるMCF改善に対し、削減率を評価した。なお、初産分娩月齢短縮と分娩間隔短縮、肥育期間短縮と増体改良については、改良増殖目標の10年後目標に合わせて設定し、機能単位として経営体あたりの生産量を一定とした場合でのGHG排出量や削減率を評価した。

ブロイラー生産について、LCAに基づく環境評価モデルを構築し、慣行、アミノ酸バランス改善飼料（バランス）、鶏ふん焼却熱利用（熱利用）、バランス飼料+熱利用の4種類のシステムのGHG排出量を比較した（図1）。システム境界の範囲は、経営体を想定し、飼養管理およびふん尿処理とし、飼料生産および輸送については慣行との差分を境界内に含めた。機能単位は出荷体重（生体重）1kgとした。慣行については、ふん尿処理はブロイラーふんの処理方法として最も割合が多い堆積発酵とした。バランス飼料に関しては、結晶アミノ酸を添加し、CPを前期で1.1ポイント、後期で2.7ポイント、それぞれ慣行より低くした。熱利用については、ふん尿処理を鶏ふんの焼却処理とし、焼却熱の鶏舎での暖房利用により暖房用燃料を80%削減するものとした。

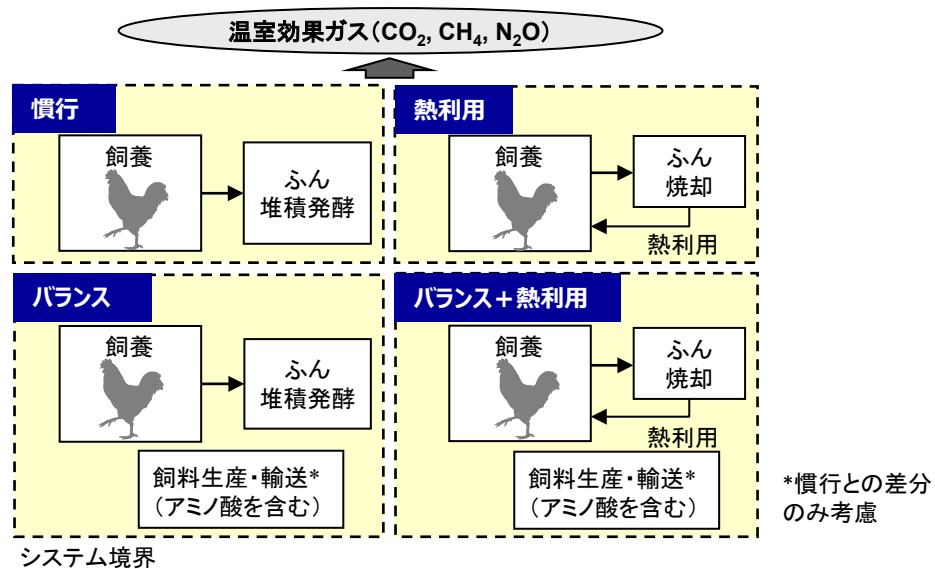


図1. 「経営体」を対象としたブロイラー生産システム

養豚に関しても環境評価モデルを構築し、ブロイラーと同様に経営体をシステム境界として、バランス飼料、堆肥化での亜硝酸酸化、污水浄化での炭素繊維リアクターの導入効果を慣行生産と比較して評価した。炭素繊維リアクター導入による污水浄化処理からのN₂O削減率は、試験結果に基づき80%とした。

採卵鶏生産について、LCAに基づく環境評価モデルを構築し、ブロイラー・豚と同様に経営体をシステム境界として、バランス飼料の導入効果を慣行生産と比較して評価した。機能単位は卵1kgとした。排せつ物処理法は、強制発酵あるいは堆積発酵とした。飼料組成、窒素排せつ量は本プロの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。窒素排せつ量は、産卵前期で18.5%、産卵後期で14.4%、それぞれ低減）。

また、バランス飼料について、各飼料原料の輸入価格を用いて価格を試算した。飼料用アミノ酸の単価には、飼料用アミノ酸メーカーによる推定市場価格を用いた。

経営体を対象としたLCAの結果を基に、中小家畜について緩和技術を組み合わせることでGHG削減目標を達成する緩和システムを提案すると共に、当該システム導入によるGHG削減率を算出した。また、技術開発担当者への聞き取りや文献からコストデータを収集し、緩和システム導入時のコスト評価を行った。対象とする緩和技術は、バランス

飼料（中小家畜全畜種）、亜硝酸酸化堆肥化および炭素繊維リアクターを用いた污水浄化（豚）、鶏ふん焼却熱利用（ブロイラー）、である。緩和技術導入の条件については、バランス飼料は全ての生産者に導入し、ふん尿処理関連技術は現状の処理体系で導入可能な区分にのみ導入するものとした。また、ブロイラーは現状での焼却処理導入農家のうち半数が熱利用をしているものと想定した。

その他、LCAによる緩和システムの評価に加え、現場生産者がバイオガスプラントやバランス飼料といった各GHG削減技術の導入・利用に対してどのような選好を示しているかを、計量経済学的手法を用いて評価した。具体的には、酪農家に対し、生産者サイドとしてのバイオガスプラントやバランス飼料の利用に対し、どれだけの選好を示すかを分散型選択実験（図2）により評価し、また養豚農家に対しては同様にバランス飼料および污水処理システムの利用に対する選好評価を行った。酪農家に対しては北海道の酪農家（30農家）のみを対象とし、一方養豚農家は5県の農家（29農家）を対象として、試験を行った。

(1) 以下の4つの選択肢から最も好ましい選択肢を選んでください。

	システム1	システム2	システム3	どのシステムも選択しない
水質の改善度	小	大	中	
臭気の除去力	中	小	大	
技術の難易度	やや難しい	比較的容易	比較的容易	
GHG削減量	小	中	小	
費用	500円/頭	1500円/頭	1000円/頭	

図2. 分散型選択実験で用いた選択セットの例（養豚農家の污水処理システム利用に対する選好評価の例）（丸は選択例を示す）

また消費者サイドに対しては、消費者を対象とした選択実験により、環境にやさしい牛乳として「生産時の温室効果ガス（GHG）排出量を削減した牛乳」、および「国産飼料で飼養された牛乳」の属性について、消費者の限界支払意志額を計測した。

さらに削減技術の開発としては、一酸化二窒素の削減効果があるとされる炭素繊維を用い、実規模農家の浄化槽において長期にわたり活用できるリアクターを試作し曝気槽内に浸漬・回収を繰り返して、普及につながる技術を開発した。また、排出される一酸化二窒素を測定し、実規模農家における排出量の削減効果を検証するとともに、浄化処理に及ぼす影響を調査した。

3) 研究結果

酪農に導入可能な技術を、①バランス飼料給与、②育種改良効果、③バイオガスプラントによる嫌気発酵（消化液散布後の揮散を含む）、④嫌気発酵+消化液貯留槽の密閉とした。慣行とする経営モデルに120頭規模の酪農経営（FS飼養）を想定し、GHG排出場面を消化管内発酵、ふん尿処理、農地からの窒素揮散、化石燃料としてバウンダリーを設定した。

表1 緩和技術のGHG削減量とGHG削減コスト

	GHG	GHG	Percentage	Additional	Additional	GHG Reduction
	Emission	Reduction	Reduction	Costs	Costs Rate	Costs
	(g-CO ₂ e/L)	(g-CO ₂ e/L)	(%)	(JPY/L)	(%)	(JPY/kg-CO ₂ e)
Conventional	703	-	-	-	-	-
①Balanced Feed	685	17	2.5	4.7	5.6	273
②Breeding	610	92	13.1	0	0	0
③Biogas	612	90	12.9	13.7	16.2	152
④BG+Sealing	511	191	27.2	14.9	17.7	78
②+①	595	108	15.3	4.7	5.6	44
②+④	425	277	39.5	14.9	17.7	54
②+①+④	414	288	41.0	19.6	23.3	68

表1に評価結果を示す。慣行技術でのGHG排出量は生乳1L当たり703gであり、そのうち消化管内発酵が全体の53%を占めていた。GHG削減技術の①はGHGを2.5%削減でき、コスト負担は生乳1L当たり4.7円（生産費比+5.6%）であった。②は生産場面でのコスト負担が生じず、無条件で導入される技術と言える。③と④を比較すると、④の方がGHG削減量が大きい一方で、コスト負担は1.2円/Lであり、1kg-CO₂eに対するコスト負担を示すGHG削減コストは2倍程度の開きがあった。このことから、バイオガスプラントによる嫌気発酵を導入する際には、GHG削減の観点から消化液貯留槽の密閉までを一体的に導入したほうが、経済効率が良いと言える。モデル経営でGHGを20%削減するためには、「④単独」、「②+④」、「②+①+④」の3つの選択肢が考えられる。生乳1L当たりの単価は固定であり、収入は変わらないことから「②+④」の組合せ、すなわち育種改良効果を期待した上でバイオガスプラントを導入して消化液貯留槽を密閉するのが最も合理的であると示唆される。

次に、緩和技術の導入によってわが国の酪農経営全体でGHGを20%削減する可能性を検討した。緩和技術のうち、バイオガスプラントによる嫌気発酵は、現状の実績から北海道での導入が多く、かつ従来スラリー方式でふん尿処理をしていた経営に限定される。そこで、北海道と都府県に分けて北海道でのGHG削減ポテンシャルを算出した。農林水産省（2021）にある家畜排せつ物の混合・分離処理割合を援用し、ふん尿混合（以下、混合）の経営のみがバイオガスプラントを導入できると仮定した。表2より、②+④の導入による北海道の酪農全体でのGHG削減は最大で31%であった。都府県の酪農経営の技術導入が②のみでも、全国合計で23%削減できる可能性があることがわかった（表3）。削減コストも35円/kg-CO₂eと現在の排出量取引市場の価格に比べて高い水準であると言える。

表2 北海道におけるGHG削減ポテンシャルと追加費用

	適用技術		GHG削減ポテンシャル			地域内削減率	削減コスト
	混合	分離	混合	分離	合計		
	(kt-CO ₂ eq)					(JPY/kg-CO ₂ eq)	
②	②	②	227	101	328	13%	0
②+①	②①	②①	265	119	384	15%	44
②+④	②④	②	683	101	785	31%	47
②+①+④	②①④	②	710	101	812	32%	60

表3 全国におけるGHG削減ポテンシャルと追加費用

	適用技術		GHG削減ポテンシャル			地域内削減率	削減コスト
	混合	分離	混合	分離	合計		
			(kt-CO2eq)				(JPY/kg-CO2eq)
北海道	②④	②	683	101	785	31%	47
都府県	②	②	184	82	267	13%	0
全国			868	183	1,051	23%	35

以上のことから今後は、売電や発酵残渣の敷料活用といったバイオガスプラントの物質循環や収益構造の精査に取り組む必要がある。同時に、酪農では緩和技術によるGHG削減の余地は大きい一方、削減コストの大きさが課題となる。すなわち、ふん尿の施用による土壌の炭素収支改善効果といった、導入に当たってのコスト負担が小さいGHG削減技術の開発を進めることが重要となる。加えて、GHG削減の取組みに生産者の経済的インセンティブを付与するため、GHG排出の少ない牛乳に対するプレミアの解明が求められる。これらにより技術導入の経済的障壁を引き下げることが期待される。

肉牛LCAについて、黒毛和種繁殖生産においては全体としてGHG排出量の削減率が低く、完熟堆肥散布の他、MCF改善、初産分娩月齢や分娩間隔短縮といった育種改良が順調に進んだとしても全ての技術導入での評価でも削減率は12%程度という結果となった。黒毛和種肥育生産に対しても、肥育期間短縮、MCF改善、完熟堆肥散布、バランス飼料という緩和技術全てを導入した場合、肥育期間を26か月まで短縮すれば目標値となる経営体あたり20%を達成するという結果となった。しかしながら、繁殖生産を含めた黒毛和種生産全体で評価するとわずかに20%には到達しないという結果となった。乳用種肥育生産に対しては、MCFの更なる改善（世代間隔5年）を見込める場合では、ほぼ20%削減という結果が得られ、一方で交雑種肥育生産においては、肥育生産の中では最も削減率が低く20%目標を達成することはできないということが示された。これらをまとめた結果、肉牛生産全体としては、全ての緩和技術を導入し、かつ育種改良も順調に進んだとしても、削減率は20%に到達しないという結果であった。一方で、コストを含めて評価すると、育種改良によるコスト低減（生産性向上）の効果が大きく、緩和技術を合わせて導入した際にはGHG排出量だけでなくコストも低減できるという結果であった。

ブロイラーLCAについて、ブロイラーふん処理のN₂O排出係数は小さいため、バランス飼料のGHG削減効果は限定的であった。熱利用では、焼却熱の暖房利用による燃料削減効果が大きく、慣行と比較してGHG排出量は39%削減された。両者を合わせたバランス+熱利用では、GHG排出量は慣行と比較して42%削減された（図3）。

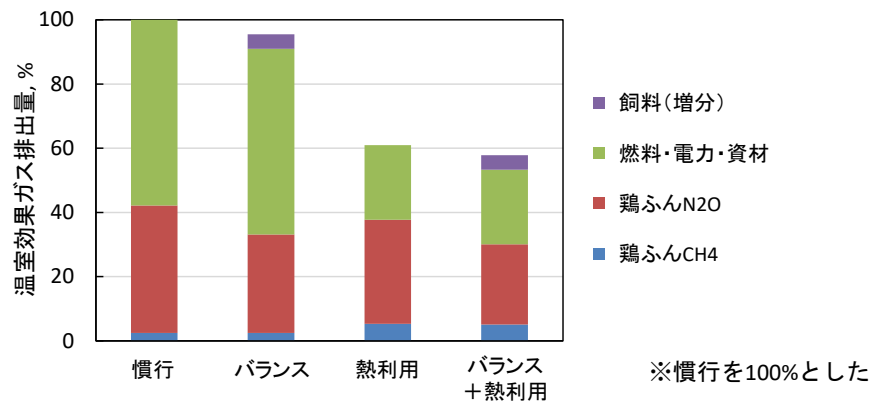


図3. 経営体を対象としたLCAで評価したブロイラー生産からのGHG排出量

養豚LCAについて、バランス飼料導入時はふん尿処理からの N_2O 排出が減少し、慣行と比べてGHGは9%低減した。炭素繊維リアクター導入時は污水浄化処理からの N_2O が大きく削減され、亜硝酸酸化堆肥化・バランス飼料と組み合わせることでGHGは慣行と比べて38%低減した。

採卵鶏LCAについて、バランス飼料の利用により排せつ物管理からの N_2O 排出量が減少し、慣行と比較してGHGは10%削減された。

また、飼養・実証試験で使用した肥育豚用のバランス飼料および慣行飼料の価格を試算した結果、今回試算した二つの年度と肥育前期・後期のいずれの飼料においてもバランス飼料の方が価格は低く、配合飼料1トンあたり800円～1800円バランス飼料の方が安い結果であった。

中小家畜における慣行および緩和システムのGHG排出量に関して、まず豚については、炭素繊維リアクターの導入効果が大きいため浄化処理を行っている農家でGHG削減効果が大きく、豚全体では26.8%の削減であった。ブロイラーについては、鶏ふん焼却熱利用の効果が大きく、ブロイラー全体では35.6%の削減であった。採卵鶏のGHG削減率は9.5%であり、豚・採卵鶏・ブロイラーを合わせた中小家畜全体のGHG削減率は26.3%であった。中小家畜における緩和システムのコスト評価に関して、バランス飼料はいずれの畜種においても慣行飼料と比べて安価であったため、いずれの畜種においてもGHG削減コストはマイナス(コスト低減)であり、中小家畜全体のGHG削減コストは-15,300円/tCO_{2e}であった。バランス飼料以外の緩和技術のみを対象とした場合のコスト増減は、豚が+1,690円とコスト増であったが、鶏ふん焼却熱利用は暖房費の低減につながるためブロイラーでは-9,510円であり、中小家畜全体のGHG削減コストは-3,190円であった(いずれも1トンのGHG削減あたり)。

表4に各畜種におけるGHG削減率と削減コストをまとめた。全畜種でのGHG削減率は22.6%であった。

表4. 各畜種における気候変動緩和システムのGHG削減率および削減コスト

畜種	GHG削減率 (%)	削減コスト (円/kgCO _{2e})	導入した緩和技術	備考 (導入条件等)
乳牛	23	35	育種改良(乳量、MCF)、バイオガスプラント	プラントは密閉式、北海道のみ検討
肉牛	18.6	-56	バランス飼料、育種改良(繁殖、短期肥育、MCF改善のベストケース)、完熟堆肥散布	R2改良増殖目標を達成した場合、MCF改善は5年を想定
豚	26.8	-9	バランス飼料、亜硝酸酸化堆肥化、炭素繊維リアクター	ふん尿処理関連技術は現状の処理体系で導入可能な区分にのみ導入
ブロイラー	35.6	-21	バランス飼料、鶏ふん焼却熱利用	ふん尿処理関連技術は現状の処理体系で導入可能な区分にのみ導入
採卵鶏	9.5	-27	バランス飼料	
全畜種	22.6		—	—

なお、生産者の各GHG削減技術に対する選好評価の結果としては、酪農家のバイオガスプラント導入に対しては、バイオガスプラントの属性のうち「発電量」が大きいものに対する選好が最も大きく、「発電量」ほどではないものの「GHG削減量」に対しても選好の推定値は正に有意な値となり、酪農家がバイオガスプラント導入によるGHG削減効果に対しても潜在的に価値づけしていることが明らかとなった。また養豚農家の汚水処理システムに対する選好評価結果としても、酪農家のバイオガスプラントに対する評価結果と同様、汚水処理システムの設定属性のうち「水質の改善度」が最も大きな選好の値となり、また現状では規制対象外の「GHG削減量」に対しても、わずかではあるものの正の選好を示すことが明らかとなった。さらに両農家のバランス飼料利用に対する選好結果としても、両農家とも「生産量」や「生産物の質」など収入に直結する属性に対し大きな選好の値を示し、「GHG削減量」に対しても正の選好を示した。これらの結果より、生産者サイドとしても、コストとの兼ね合いはあるものの、各緩和策の環境負荷低減に対してある程度の正の選好を示すことが明らかとなった。

消費者サイドに対する選択実験では、GHG1%削減に対する1Lの牛乳の限界支払意志額を計測した。標本集団は、首都圏の1都3県(東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県)に居住する210人とした。GHG1%削減に対する支払意志額は0.2円/Lと推定された。本プロジェクトでは20%のGHG削減を目指しており、その水準が達成された牛乳は3.8円/Lの支払意志額の増加をもたらすことが示唆された。この結果より、20%のGHG削減が達成された牛乳の生産者が持つ投資余力を試算した。支払意志額の増加額3.8円/Lに対して、生産者への還元額を2円/Lと想定すると、個体乳量8,500Lの乳牛1頭につき年間17,000円の増収が見込まれた。これは生産者の20%温暖化ガス削減技術に対する投資余力の上限であることから、1頭1年間当たり17,000円未満のコスト増となるような温暖化ガス削減技術の開発が必要となるものと考えられた。

炭素繊維リアクターによる削減技術の開発では、試作を繰り返すことにより、繊維の脱

落等を防止し長期に利用できるリアクターを開発した。また、炭素繊維リアクターを用いることにより一酸化二窒素を最大で80%程度削減できることを確認するとともに、硝酸性窒素等の浄化処理も安定することを確認した。

4) 成果活用における留意点

今回提案した緩和システムにおいて導入すると想定した緩和技術が全て今すぐに導入できるわけではない点には、注意が必要である。また開発した炭素繊維リアクターを用いた削減技術について、浄化処理の運転管理を安定的に行わないと一酸化二窒素等の削減効果は十分に得られないことが留意点である。

5) 今後の課題

堆肥施用による炭素貯留などまだ考慮できていない要因・削減技術があり、それらを含めると同時に今後開発される緩和技術の効果もモデルに組み込み、さらなるGHG削減を目指す必要がある。その他、本プロジェクト成果として、採卵鶏・ブロイラー各生産システムにおける鶏の生涯生産シミュレーションモデルの開発および家畜生産システムにおける環境経済評価指標の検討を行った。今後は、それら知見を基に、LCAおよび経済性評価による各緩和策の評価の更なる精緻化を目指す必要がある。また炭素繊維リアクターの改良においては、技術普及の観点から、さらに長期にわたる耐用性とN₂Oの削減効果を評価する必要がある。また、同リアクターの導入により浄化処理の安定化と硝酸性窒素等の低減傾向が見られたことから、農家の導入意欲を高めるためにも今後詳細な検討が必要である。

<引用文献>

- ・ Yamashita T, Shiraishi M, Yokoyama H, Ogino A, Yamamoto-Ikemoto R, Osada T. 2019. Evaluation of the Nitrous Oxide Emission Reduction Potential of an Aerobic Bioreactor Packed with Carbon Fibres for Swine Wastewater Treatment. *Energies*. 12(6): 1013.
- ・ Ogino A, Oishi K, Setoguchi A, Osada T. 2021. Life Cycle Assessment of Sustainable Broiler Production Systems: Effects of Low-Protein Diet and Litter Incineration. *Agriculture*. 11(10): 921.
- ・ 清水祐哉・大石風人・園田裕太・加藤弘樹・木村義彰・広岡博之.2020. 酪農家の選好に基づくバイオガスプラントに対する支払意志額の推定—分散型選択実験による実証研究—. *システム農学* 36(1): 1-13.
- ・ 清水祐哉・大石風人・園田裕太・木村義彰・荻野暁史・長田隆・広岡博之. 2020. 分散型選択実験を用いた酪農家および養豚農家の「環境にやさしい飼料」に対する選好調査. *日本畜産学会報* 91: 267-247.
- ・ 清水祐哉・大石風人・園田裕太・荻野暁史・長田隆・広岡博之. 2021. 汚水処理システムに対する養豚農家の選好：分散型選択実験による評価. *日本畜産学会報* 92(3):361-369.
- ・ 広岡博之. 2020. 鶏の生涯生産シミュレーションモデルの開発と窒素利用性の検討. *日本畜産学会報* 91:17-22.
- ・ 広岡博之. 2021. 家畜生産における環境負荷低減のための施策の経済性評価について. *日本畜産学会報* 92(4):503-510.

Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

課題番号 17935124

中課題名 畜産分野における気候変動緩和技術の開発

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
17935124	8	13	62	23	29	5	1	0	0	0	18	2	2	35

(1) 学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行年	発行月	巻(号)	掲載ページ
1	①	牛舎排水浄化処理施設から発生する温室効果ガス	白石誠、長田隆ら	岡山県農林水産総合センター畜産研究所、農研機構畜産研究部門	日本畜産学会報	なし	2017	11	88(4)	479-490
2	①	Evaluation of the Nitrous Oxide Emission Reduction Potential of an Aerobic Bioreactor Packed with Carbon Fibres for Swine Wastewater Treatment.	Yamashita, Takahiro & Shiraiishi, Makoto & Yokoyama, Hiroshi & Ogino, Akifumi & Yamamoto-Ikemoto, Ryoko & Osada, Takashi.	農研機構畜産研究部門、岡山県農林水産総合センター畜産研究所、	Energies	10.3390/en12061013	2019	3	12(6)	1013
3	①	Baseline Study of Greenhouse Gas Emission from Stored Digested Slurry after Separation of Biogas Plant for Dairy Slurry in Spring Snowmelt Period	Yoshiaki KIMURA, Hiroki KATO, Seiichi YASUI, Kazuma OZAKI, Kunihiko YOSHIDA, Kouta ISHII, Tsutomu KAZIYAMA, Kazato OISHI, and Takashi OSADA	北海道立総合研究機構、農研機構畜産研究部門、京都大学、北海道エアウォーター	Journal of the Japan Institute of Energy	https://doi.org/10.3775/jie.98.186	2019	8	12(6)	186-193
4	①	Development of prediction equation for methane-related traits in beef cattle under high concentrate diets	Yoshinobu UEMOTO, Shinichiro OGAWA, Masahiro SATOH, Hiroyuki ABE, Fuminori TERADA	東北大学大学院農学研究科、農研機構畜産研究部門	Animal Science Journal	DOI: 10.1111/asj.13341	2020	1	91	e13341
5	①	酪農家の選好に基づくバイオガスプラントに対する支払意思額の推定 - 離散型選択実験による実証研究 -	清水祐哉・大石風人・園田裕太・加藤弘樹・木村義彰・広岡博之	京都大学大学院農学研究科、北海道立総合研究機構	システム農学	doi: 10.14962/jass.36.1_1	2020	2	36(1)	1-13
6	①	ニワトリの生涯生産シミュレーションモデルの開発と窒素利用性の検討	広岡博之	京都大学大学院農学研究科	日本畜産学会報	DOI: 10.2508/chikusan.91.17	2020	2	91(1)	17-22
7	①	Simulation of livestock biomass resource recycling and energy utilization model based on dry type methane fermentation system	Yoshiaki Kimura, Takeshi Suzuki, Seiichi Yasui, Kota Ishii, Tsutomu Kaziyama, Kazato Oishi, Akifumi Ogino, Takahisa Hinata, Hiroyuki Hirooka, Takashi Osada, Haruhiro Fujita	北海道立総合研究機構、農研機構畜産研究部門、京都大学、北海道エアウォーター	Earth and Environmental Science	doi:10.1088/1755-1315/460/1/011001	2020	4	460	12020
8	①	離散型選択実験を用いた酪農家および養豚農家の「環境にやさしい飼料」に対する選好調査	清水祐哉・大石風人・園田裕太・木村義彰・荻野暁史・長田隆・広岡博之	京都大学大学院農学研究科、北海道立総合研究機構、農研機構畜産研究部門	日本畜産学会報	doi:10.2508/chikusan.91.267	2020	8	91(3)	267-274
9	①	Genetic and genomic analyses for predicted methane-related traits in Japanese Black steers	Yoshinobu Uemoto, Masayuki Takeda, Atushi Ogino, Kazuhito Kurogi, Shinichiro Ogawa, Masahiro Satoh, Fuminori Terada	東北大学大学院農学研究科、農研機構畜産研究部門	Animal Science Journal	DOI: 10.1111/asj.13383	2020	4	91	e13383
10	①	反芻家畜に由来するメタンガス排出抑制技術の新しい展開 - 育種改良の可能性 -	寺田文典	農研機構畜産研究部門	東北畜産学会報		2020	6	70(1)	1-6
11	①	Influence of dietary crude protein content on fattening performance and nitrogen excretion of Holstein steers	Mitsuru Kamiya, Tomoya Yamada, Mikito Higuchi	農研機構中央農業研究センター	Animal Science Journal	DOI: 10.1111/asj.13438	2020	8	91	e13438
12	①	Effects of low-crude protein diets supplemented with rumen-protected lysine and methionine on fattening performance and nitrogen excretion of Holstein steers	Mitsuru Kamiya, Tomoya Yamada, Mikito Higuchi	農研機構畜産研究部門	Animal Science Journal	DOI: 10.1111/asj.13562	2021	5	92	e13562
13	①	産卵前期採卵鶏への低タンパク質飼料給与が生産性や堆肥化過程における環境負荷ガス排出に及ぼす影響	飯尾恒、山下薫、島田理沙、荻野暁史、長田隆	茨城県畜産センター、農研機構畜産研究部門	日本畜産学会報	https://doi.org/10.2508/chikusan.92.485	2021	11	92(4)	485-491
14	①	Prediction of enteric methane emissions from lactating cows using methane to carbon dioxide ratio in the breath	Tomoyuki Suzuki, Yuko Kamiya, Kohei Oikawa, Itoko Nonaka, Takumi Shinkai, Taketo Obitsu, Fuminori Terada	農研機構、広島大学	Animal Science Journal	doi:10.1111/asj.13637	2021	8	92	e13637

15	①	Prevotella lacticifex sp. nov., isolated from the rumen of cows	Takumi Shinkai, Nao Ikeyama, Masahiko Kumagai, Hideyuki Ohmori, Mitsuo Sakamoto, Moriya Ohkuma, Makoto Mitsumori	農研機構、理研JCM、	International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	doi:10.1099/ijsem.0.005278	2022	72	3	005278
16	①	Effects of three types of organic fertilizers on greenhouse gas emissions in a grassland on andosol in southern Hokkaido, Japan	Kitamura Ryosuke, Sugiyama Chiho, Yasuda Kaho, Nagatake Arata, Yuan Yiran, Du Jing, Yamaki Norikazu, Taira Katsuro, Kawai Masahito, Hatano Ryusuke	北大大学院農学研究院	Frontiers in Sustainable Food Systems	DOI: 10.3389/fsufs.2021.649613	2021	4	5	649613
17	①	Farmyard manure application and associated root proliferation improve the net greenhouse gas balance of Italian ryegrass - Maize double-cropping field in Nasu, Japan	Akinori Mori	農研機構畜産研究部門	Science of The Total Environment	DOI: 10.1016/j.scitoten.v.2021.148332	2021	6	792	148332
18	①	Improvements in a Membrane-separation-type Biogas Refining-compression-filling (RCF) Facility for Dairy-farming Areas in Japan	Yoshiaki Kimura, Takeshi Suzuki, Seiichi Yasui, Kota Ishii, Chihiro Inano, Hideyuki Takenaka, Takahisa Hinata, Haruhiro Fujita	北海道立総合研究機構、エアウォーター北海道、酪農学園大学	Earth and Environmental Science	DOI: 10.1088/1755-1315/749/1/012015	2021	5	749	12015
19	①	汚水処理システムに対する養豚農家の選好: 離散型選択実験による評価	清水祐哉・大石風人・園田裕太・荻野暁史・長田隆・広岡博之	京都大学大学院農学研究所、農研機構畜産研究部門	日本畜産学会報	doi: 10.2508/chikusan.92.361	2021	8	92(3)	361-369
20	①	家畜生産における環境負荷低減のための施策の経済性評価法について	広岡博之	京都大学大学院農学研究所	日本畜産学会報	なし(Web公開時に発行)	2021	11	92(4)	503-510
21	①	Life Cycle Assessment of Sustainable Broiler Production Systems: Effects of Low-Protein Diet and Litter Incineration.	Akifumi Ogino, Kazato Oishi, Akira Setoguchi, Takashi Osada	農研機構畜産研究部門、京都大学	Agriculture	https://doi.org/10.3390/agriculture11100921	2021	9	11	921
22	①	Physiological responses and adaptations to high methane production in Japanese Black cattle.	盧尚建、正木達規、生田健太郎、岩本英治、上本吉伸、寺田文典	東北大学大学院農学研究所、兵庫県農林水産技術総合センター	Scientific reports		2022	4	未定	未定

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	肥育牛を対象としたメタン産生量推定式の提案	寺田文典、平井洵、阿部啓之、齋藤邦彦	東北大学	日本畜産学会	2017	9
2	品種と飼育方式が和牛のルーメン液性状に及ぼす影響	平井洵・齋藤邦彦・金田修一・鈴木英敏・萩野顕彦・寺田文典	東北大学	日本畜産学会	2017	9
3	気候変動が根釧酪農に及ぼす影響と今後の方向性: 乳牛・生乳生産への影響と今後の対応方向	野中暁子	農研機構畜産研究部門	根釧農試酪農フォーラム	2017	11
4	バイオガスプラントを利用した酪農生産システムに対するLCA分析のためのフレームワークの検討	瀬戸口暁・大石風人・木村義彰・広岡博之	京都大学大学院農学研究所・北海道立総合研究機構中央農業試験場	システム農学会	2017	10
5	異なる有機質肥料の施与が草地からの温室効果ガス排出に与える影響	安田花穂、長竹新、杉山知穂、河合正人、波多野隆介	北海道大学	土壌肥料学会北海道支部	2017	11
6	堆肥、スラリー、消化液の施用が那須の飼料畑から発生する温室効果ガスに及ぼす短期的影響	森昭憲	農研機構畜産研究部門	2018年度日本草地学会熊本大会	2018	3
7	日本および東南アジアの畜産からの温室効果ガス排出	鈴木知之	農研機構畜産研究部門	ルーメン研究会	2018	3
8	家畜と環境問題-その課題と解決に向けて-: 暑熱環境と家畜生産	野中暁子	農研機構畜産研究部門	ルーメン研究会	2018	3
9	搾乳ロボットを用いた多頭数乳牛からのメタン産生量測定	小樫剛人・寺田文典・杉野利久・黒川勇三	広島大学	日本畜産学会	2018	3
10	乳牛におけるメタンおよび二酸化炭素排出量と行動との関係	鈴木知之・神谷裕子・田中正仁・寺田文典	農研機構畜産研究部門	日本畜産学会	2018	3
11	低メタン産生牛におけるルーメン発酵および微生物相の特徴	真貝拓三・三森真琴・樋口浩二・永西修	農研機構畜産研究部門	日本畜産学会	2018	3
12	新規牛メタン産生量予測式の精度に及ぼす影響	上本吉伸・小川伸一郎・佐藤正寛・寺田文典	東北大学	日本畜産学会	2018	3
13	バイオガスプラントを利用した酪農生産モデル農家に対するLCAによる環境影響および経済性評価	瀬戸口暁・大石風人・木村義彰・小林智行・広岡博之	京都大学大学院農学研究所・北海道立総合研究機構中央農業試験場・(有)小林牧場	日本畜産学会	2018	3
14	離散的選択型実験を用いた酪農家のバイオガスプラントに対する支払意思額の推定	清水祐哉・大石風人・園田裕太・木村義彰・広岡博之	京都大学大学院農学研究所・北海道立総合研究機構中央農業試験場	システム農学会	2018	5
15	Baseline study of green house gas (GHG) emission from open digesting tanks of Biogas plant for dairy slurry in spring snowment period	木村義彰、加藤弘樹、保井聖一、尾崎主磨、吉田邦彦、石井耕太、梶山努、大石風人、長田隆	京都大学大学院農学研究所・北海道立総合研究機構中央農業試験場・北海道エア・ウォーター・農研機構畜産研究部門	第6回アジアバイオマス科学会議(ACBS2018b)	2018	7

16	Effects of application of different kinds of organic fertilizer (manure, slurry and digestate) on greenhouse gas emissions and carbon budget in a managed grassland in Southern Hokkaido, Japan	波多野隆介	北海道大学	The 7th Japan-China-Korea Grassland conference	2018	7
17	Comparison of greenhouse gas emissions with application of organic fertilizers (manure, slurry and digested slurry) in a managed grassland in Southern Hokkaido, Japa	波多野隆介	北海道大学	21st World Congress of Soil Science	2018	8
18	Characteristic of plasma and rumen properties in Beef cattle with less Methane emissions	平井 洵, 斎藤邦彦, 金田修一, 鈴木英敏, 萩野顕彦, 上本吉信, 寺田文典	東北大学	18th Asian Australasian Animal Production Congress	2018	8
19	Life cycle assessment of Japanese dairy farming systems with different protein content feeding	Kato, K., Oishi, K., Setoguchi, A., Hirooka, H.	京都大学大学院農学研究科	18th Asian-Australasian Animal Production Congress	2018	8
20	Dairy farmers' preferences for environmentally friendly feeds: Evidence from a discrete choice experiment	Shimizu, Y., Oishi, K., Sonoda, Y., Kimura, Y., Hirooka, H.	京都大学大学院農学研究科・北海道立総合研究機構中央農業試験場	18th Asian-Australasian Animal Production Congress	2018	8
21	硫黄脱窒反応を付与した生物脱臭装置からの一酸化二窒素の発生量	安田知子, 福本泰之, 和木美代子	農研機構畜産研究部門	土壌肥料学会2018年度神奈川大会	2018	8
22	有機質肥料を施与した牧草地からのN ₂ O排出: N収支からの評価	波多野隆介	北海道大学	日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会	2018	8
23	有機質肥料の施用が植物リン利用効率と菌根菌感染ポテンシャルに与える影響	波多野隆介	北海道大学	日本土壌肥料学会2019年度神奈川大会	2018	8
24	施用有機物の違いが那須の飼料畑の温室効果ガス収支に及ぼす影響	森 昭憲	農研機構畜産研究部門	日本土壌肥料学会2020年度神奈川大会	2018	8
25	Estimation of methane production by lactating cows using spot air samples with different estimating equations	小櫃剛人・寺田文典・野中眞子・樋口浩二・林征幸・鈴木知之・杉野利久・黒川勇三	広島大学	10th International Symposium on Nutrition of Herbivores	2018	9
26	GHG mitigation techniques in livestock sector	長田隆	農研機構畜産研究部門	NARO-FFTC-MARCO Symposium 2018: Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region	2018	9
27	Mitigation of GHG emission from swine wastewater treatment system: Currently being evaluated at swine facilities -Swine wastewater treatment technology to reduce nitrous oxide emission by using an aerobic bioreactor packed with carbon fibers-	長田隆	農研機構畜産研究部門	NARO-FFTC-MARCO Symposium 2018: Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region	2018	9
28	Trials of the sound solution for sustainable egg production by using a low-protein diet supplemented with synthetic amino acids	石川恭子, 田中愛子, 塔ノ上毅, 井門桐子, 長田隆	茨城県畜産センタ, 農研機構畜産研究部門, 住友化学株式会社アニマルニュートリション, キューピータマゴ株式会社	The International Egg Symposium in KYOTO 2018(国際タマゴシンポジウム)	2018	10
29	有機質肥料施用が草地生態系の炭素収支へ及ぼす影響	波多野隆介	北海道大学	日本土壌肥料学会北海道支部	2018	11
30	草地への異なる有機質肥料施用がもたらすN ₂ O, NO排出への影響	波多野隆介	北海道大学	日本土壌肥料学会北海道支部	2018	11
31	家畜生産現場への様々な温室効果ガス低減技術の導入に対する優先度の検討	大石風人・広岡博之	京都大学大学院農学研究科	システム農学会	2018	11
32	濃厚飼料中CP含量の違いがホルスタイン種去勢牛の肥育成績とふん尿窒素排泄量に及ぼす影響	神谷 充, 山田知哉, 樋口幹人	農研機構中央農研	日本畜産学会第125回大会	2019	3
33	スポット法による乳牛の呼気中メタン濃度の解析と個体間差	鈴木知之・神谷裕子・小林寿美・野中眞子・小櫃剛人・寺田文典	農研機構中央農研	日本畜産学会第125回大会	2019	3
34	スポット法による乳牛のメタン産生量測定における採食の影響と再現性	小櫃剛人・黒川勇三・杉野利久・鈴木知之・寺田文典	広島大学	日本畜産学会第125回大会	2019	3
35	泌乳牛における乳成分, 第一胃液性状および血液成分とメタン産生量との関連	岩田隆宏・佐藤春佳・都丸友久・湯野川景人・生田健太郎・貫成信博・寺田文典	東北大学	日本畜産学会第125回大会	2019	3
36	肉牛におけるメタン産生能と牛生体・ルーメン微生物叢の関係	平井 洵・前田友香・松尾 歩・陶山 佳久・寺田 文典	東北大学	日本畜産学会第125回大会	2019	3
37	黒毛和種におけるメタン関連形質に関する遺伝的パラメータの推定	上本吉伸・竹田将悠規・萩野敦・野崎隆義・黒木一仁・安森隆剛・小川伸一郎・佐藤正寛・寺田文典	東北大学	日本畜産学会第125回大会	2019	3
38	Comparison of crop production and soil GHG emissions among three organic fertilizers applications	Chiho Sugiyama, Kaho Yasuda, Yang Yilin, Arata Nagatake, Ryusuke Hatano	北海道大学	北海道大学農学研究院・浙江大學 学術交流シンポジウム2019	2019	3
39	Effect of different organic fertilizer application on carbon budget in grassland ecosystem	Yilin Yang, Kaho Yasuda, Chiho Sugiyama, Arata Nagatake, Ryusuke Hatano	北海道大学	北海道大学農学研究院・浙江大學 学術交流シンポジウム2019	2019	3
40	養豚生産者の汚水処理システムに対する支払意志額の推定	清水祐哉・大石風人・長田隆・広岡博之	京都大学大学院農学研究科・農研機構畜産研究部門	システム農学会2019年度春季大会	2019	6
41	Estimation of N ₂ O emission factor from grassland applied cattle manure, cattle slurry and digested slurry	Chiho Sugiyama, Kaho Yasuda, Ryusuke Hatano	北海道大学	8th International Symposium of Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms	2019	6
42	Genetic and Genomic analyses for predicted methane-related traits in Japanese Black cattle	Y Uemoto, M. Takeda, A. Ogino, T. Nozaki, K. Kurogi, T. Yasumori, S. Ogawa, M. Satoh, F. Terada	東北大学	37th International Society of Animal Genetics (ISAG) Conference	2019	7
43	Construction of livestock biomass resource recycling and energy utilization model based on dry type methane fermentation system	Yoshiaki Kimura, Takeshi Suzuki, Seichi Yaasui, Kota Ishii, Tsutomu Kaziyama, Kazato Oishi, Akifumi Ogino, Takahisa Hinata, Takashi Osada, Haruhiro Fujita	北海道総合研究所中央農業試験場・北海道エアウォーター・京都大学大学院農学研究科・新潟国際情報大学・農研機構畜産研究部門	ICBB 2019: International Conference of Biomass and Bioenergy 2019	2019	8
44	Evaluation of low-cost carbon dioxide and methane sensors to determine methane/carbon dioxide ratio in the breath of cows during milking	Tomoyuki Suzuki, Yuko Kamiya, Hisami Kobayashi, Itoko Nonaka, Taketo Obitsu, Fuminori Terada	農研機構・広島大学・東北大学	Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference 2019	2019	8
45	反芻家畜に由来するメタンガス排出抑制技術研究の展開	寺田文典	東北大学	第69回東北畜産学会山形大会	2019	8

46	アミノ酸バランス改善飼料を利用した酪農生産のLCA評価	加藤康平・大石風人・瀬戸口曉・荻野暁史・熊谷元・広岡博之	京都大学大学院農学研究所・農研機構畜産研究部門	第69回関西畜産学会大会	2019	9
47	異なる有機質肥料を施した黒ボク土壌採草地におけるN ₂ O排出の定量評価および排出機構の探索	杉山知穂・長竹新・安田花穂・楊倚麟・八巻憲和・平克郎・河合正人・波多野隆介	北海道大学	日本土壤肥料学会2019年度静岡大会	2019	9
48	飼料畑の温室効果ガス収支に及ぼす有機物施用の影響解析	森昭憲	農研機構畜産研究部門	日本土壤肥料学会2019年度静岡大会	2019	9
49	肥育前期における木質パルプ飼料のメタン産生抑制効果	青池匠・平井洵・正木達規・生田健太郎・岩本英治・篠倉和己・黒須一博・松尾歩・陶山佳久・寺田文典	東北大学、兵庫県	日本畜産学会第126回大会	2019	9
50	低脂肪トウモロコシ蒸留粕の給与および暑熱環境が乳牛のメタン産生量に及ぼす影響	浅倉千晶・林夏帆・杉野利久・小樫剛人	広島大学	日本畜産学会第126回大会	2019	9
51	Effect of feeding rice-grain silage with wood kraft pulp on milk production and enteric methane production in dairy cows	T. Obitsu, Y. Kurokawa, T. Sugino and F. Terada	広島大学、東北大学	6th EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition.	2019	9
52	Estimation of methane production in dairy cows using the information of milk, ruminal fluid and blood components	T. Iwata, H. Sato, T. Tomaru, K. Yunokawa, K. Ikuta, N. Jitsunari, F. Terada	東北大学、群馬県、兵庫県	International Symposium on Ruminant Physiology 2019	2019	9
53	Low CP diet with synchronization of ruminal supply of nitrogen and energy decreased urinary nitrogen excretion in dairy cow.	K. Higuchi, I. Nonaka, F. Ohtani, K. Motoshima, K. Yunokawa	農研機構畜産研究部門	2019エネルギーとタンパク質代謝栄養の国際シンポジウム	2019	9
54	飼料タンパク質の給与水準の違いが泌乳牛のふん尿貯留中の温室効果ガス発生に及ぼす効果	野中最子、大谷文博、樋口浩二、長田隆、春野篤、坂元康亮、藤條武司	農研機構畜産研究部門	日本畜産学会第126回大会	2019	9
55	パイパスリジン・メチオニン添加CP低減飼料の給与がホルスタイン種去勢牛の肥育前期における窒素出納に及ぼす影響	神谷 充、山田知哉、樋口幹人	農研機構中央研	日本畜産学会第126回大会	2019	9
56	小規模酪農家向けエネルギー自給自足型乾式メタン発酵システムの開発—実証プラントの製造状況と物質・エネルギー収支試算—	保井聖一・山田敏宏・木村義彰・岩崎匡洋・梅津一孝	北海道エア・ウォーター・北土開発・北海道総合研究機構・帯広畜産大学	2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会	2019	9
57	Comparison of N ₂ O emission factor and N use efficiency among different kind of organic fertilizers at Andosol grassland in northern Japan	Chiho Sugiyama, Kaho Yasuda, Arata Nagatake, Ryusuke Hatano	北海道大学	14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies	2019	11
58	異なる種類の有機質肥料を施した北海道南部黒ボク土壌採草地からの温室効果ガス排出	杉山知穂・長竹新・安田花穂・楊倚麟・城野沙織・杜靖・八巻憲和・平克郎・河合正人・波多野隆介	北海道大学	日本土壤肥料学会北海道支部	2019	12
59	台地土採草地における堆肥等有機物施用に伴う温室効果ガス発生の評価	須田達也・佐藤彩夏・森昭憲・中村隆一・長竹新・波多野隆介	北海道立総合研究機構中央農業試験・北海道大学・農研機構畜産研究部門	日本土壤肥料学会北海道支部	2019	12
60	Reduction of nitrogen excretion by using a low-protein diet supplemented with synthetic amino acids for swine and hen.	Wataru Iio, Kaoru Yamashita, Takako Ookubo, Yasutoshi Haga, Takashi Osada	茨城県畜産センター	International Workshop on Improving Nitrogen Use Efficiency in Dairy Farming System through Crop-Livestock Integration	2020	2
61	国産牛乳の飼料自給率に対する消費者嗜好と商品イメージ—潜在クラスモデルおよびベスト・ワースト・スケーリングによる接近	日向貴久、佐藤和夫	酪農学園大学	フードシステム学会	2020	6
62	Life Cycle Assessment of Sustainable Broiler Production Systems: Low-Protein Diet and Litter Incineration	Akifumi Ogino, Kazato Oishi, Akira Setoguchi, Takahiro Yamashita, Takashi Osada	農研機構畜産研究部門・京都大学	LCA-Food 2020	2020	10
63	Life Cycle Assessment of dairy farming with the uses of biogas plant and low-protein diet	Setoguchi, A., Oishi, K., Kato, K., Kumagai, H., Kimura, Y., Ogino, A., Hirooka, H.	京都大学大学院農学研究所・北海道立総合研究機構中央農業試験・農研機構畜産研究部門	71th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science	2020	12
64	飼料原料輸入価格を用いたアミノ酸バランス改善飼料のコスト低減効果の推定	荻野暁史・日向貴久・長田隆	農研機構畜産研究部門・酪農学園大学	日本畜産学会第128回大会	2021	3
65	堆肥、スラリー、メタン発酵消化液を施用した那須の飼料畑の温室効果ガス収支	森昭憲	農研機構畜産研究部門	日本土壤肥料学会2020年度岡山大会	2020	9
66	異なる3種の有機質肥料が黒ボク土壌採草地の温室効果ガス排出に与える影響	北村凌佑・杉山知穂・安田花穂・袁依然・杜靖・八巻憲和・平克郎・河合正人・波多野隆介	北海道大学	日本土壤肥料学会2020年度岡山大会	2020	9
67	Effect of Different Types of Organic Fertilizer on Carbon Budget in Managed Grassland	杜靖・安田花穂・楊倚麟・杉山知穂・北村凌佑・袁依然・河合正人・波多野隆介	北海道大学	日本土壤肥料学会2020年度岡山大会	2020	9
68	スラリー、メタン発酵消化液を施用した黒ボク土壌地飼料畑における温室効果ガスの発生	井原啓貴、山根剛、山口千仁、古賀伸久	農研機構九州研	日本土壤肥料学会2020年度岡山大会	2020	9
69	北海道南部の黒ボク土壌採草地に4年運用した3種の有機質肥料給与直後のN ₂ O排出要因の探索	北村凌佑・杉山知穂・安田花穂・長竹新・袁依然・杜靖・八巻憲和・平克郎・河合正人・波多野隆介	北海道大学	日本土壤肥料学会北海道支部	2020	11
70	Improvement of a Membrane-separation-type Biogas Refining-compression-filling (RCF) Facility for Dairy-farming Areas in Japan	Yoshiaki Kimura, Takeshi Suzuki, Seiichi Yasui, Kota Ishii, Ichiro Inano, Hideyuki Takenaka, Takahisa Hinata, Haruhiro Fuita	北海道総合研究機構・北海道エアウォーター・新潟国際情報大学・農研機構畜産研究部門	ICBB 2020: International Conference of Biomass and Bioenergy 2020 (web)	2020	8
71	肥育牛のアミノ酸バランス飼料の給与事例紹介	神谷 充、前田順子	農研機構畜産研究部門、前田牧場	畜産環境シンポジウム	2021	9
72	飼料タンパク質給与水準の違いが泌乳牛の尿浄化処理過程からの温室効果ガス発生に及ぼす効果	野中最子、樋口浩二、大谷文博、林征幸、元嶋健、湯野川景人、山下恭広、長田隆	農研機構畜産部門、農研機構九州農研、熊本畜研、群馬中部農業事務所	日本畜産学会第129回大会	2021	9
73	スポット法による乳牛の栄養生理状態モニタリングの可能性	及川康平、神谷裕子、鈴木知之	農研機構	日本畜産学会第129回大会	2021	9
74	環境が求める乳牛飼養研究のこれから	真貝拓三	農研機構	日本畜産学会第129回大会シンポジウム	2021	9
75	「新規メタン産生測定システムの測定精度向上を目的とした、搾乳ロボットでの濃厚飼料の違いによる搾乳回数の制御	都丸友久	群馬県畜産試験場	令和3年度畜産試験場研究成果発表会	2021	2

76	Effect of concentrate level provided at milking robot on eating behavior and rumen fermentation in dairy cows	Prombood Suttida・小樞剛人・杉野利久・黒川勇三	広島大学大学院統合生命科学研究科	日本畜産学会第129回大会	2021	9
77	夏季の進行に伴う泌乳牛のメタン産生量の推移	小樞剛人・浅倉千晶・杉野利久・黒川勇三	広島大学大学院統合生命科学研究科	日本畜産学会第129回大会	2021	9
78	Recent political and research strategy for reducing environmental impacts of livestock production in Japan	小樞剛人	広島大学大学院統合生命科学研究科	The International Webinar on Reduction of Livestock Nitrogen/Mineral Excretion and Methane Emissions	2021	8
79	Influence of soil environmental factors on N2O fluxes just after application of three types of organic fertilizers - 4 years study in a grassland on Andosol in southern Hokkaido, Japan	Ryosuke Kitamura, Chiho Sugiyama, Kaho Yasuda, Arata Nagatake, Yiran Yuan, Jing Du, Norikazu Yamaki, Katsuro Taira, Masahito Kawai, Ryusuke Hatano	北海道大学	EGU General Assembly 2021	2021	4
80	堆肥施用とそれに伴う作物残渣の増加が那須の二毛作飼料畑からの温室効果ガス発生量に及ぼす影響	森昭憲	農研機構畜産研究部門	日本土壌肥料学会 2021年度北海道大会	2021	9
81	スラリー、メタン発酵消化液等を連用した暖地飼料畑における温室効果ガスの発生	井原啓貴・小林創平・山根剛・山口千仁・古賀伸久	農研機構九州研	日本土壌肥料学会 2021年度北海道大会	2021	9
82	北海道南部の黒ボク土壌採草地に3種の有機質肥料を4年連用した時のN2O排出要因の解明	北村凌佑, 杉山知穂, 安田花穂, 長竹新, 杜靖, 八巻憲和, 平克郎, 河合正人, 波多野隆介, 当真要	北海道大学	日本土壌肥料学会 2021年度北海道大会	2021	9
83	Effect of three types of organic fertilizer on carbon budget in managed grassland, Southern Hokkaido, Japan	杜靖, 安田花穂, 杨倚麟, 杉山千穂, 北村凌佑, 袁依然, 河合正人, 当真要, 波多野隆介	北海道大学	日本土壌肥料学会 2021年度北海道大会	2021	9
84	異なる3種の有機質肥料が北海道南部黒ボク土壌管理採草地からの温室効果ガスの排出に与える影響	北村凌佑, 杉山知穂, 安田花穂, 長竹新, 杜靖, 八巻憲和, 平克郎, 河合正人, 波多野隆介, 当真要	北海道大学	日本土壌肥料学会北海道支部	2021	11
85	乳牛ふん尿を対象とした消化液貯留槽から発生する温室効果ガスの季節変動	木村義彰, 石井耕太, 保井聖一, 稲野一郎, 大石風人, 萩野暁史, 長田隆	道総研・北海道AWI, 京大・農、農研機構	2021年度農業施設学会大会	2021	8
86	Effect of concentrate level provided at milking robot on eating behavior and rumen fermentation in dairy cows	Prombood Suttida・小樞剛人・杉野利久・黒川勇三	広島大学大学院統合生命科学研究科	日本畜産学会第129回大会	2021	9
87	夏季の進行に伴う泌乳牛のメタン産生量の推移	小樞剛人・浅倉千晶・杉野利久・黒川勇三	広島大学大学院統合生命科学研究科	日本畜産学会第129回大会	2021	9
88	Recent political and research strategy for reducing environmental impacts of livestock production in Japan	小樞剛人	広島大学大学院統合生命科学研究科	The International Webinar on Reduction of Livestock Nitrogen/Mineral Excretion and Methane Emissions	2021	8

(3) 出版図書

区分: ①出版者書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	「畜産技術」7月号 技術レポート 「アミノ酸バランス改善飼料導入のすすめ」	長田隆	農研機構畜産研究部門	公益社団法人畜産技術協会	2017	7
2	④	「岡山畜産便り」2月号 技術のページ 「汚水浄化処理における温室効果ガス削減技術」	白石誠	岡山県農林水産総合センター畜産研究所	岡山県畜産協会	2018	2
3	②	農業いばらき7巻9月号 畜産分野における気候変動緩和策の開発について(技術と経営)	長田隆	農研機構畜産研究部門	茨城県農業改良協会	2018	9
4	②	畜産現場の脱臭技術や家畜排せつ物の処理・利用について② 鶏ふん乾燥処理施設からの温室効果ガス、環境負荷ガスの発生	長田隆	農研機構畜産研究部門	「鶏の研究」 木香社	2018	8
5	②	畜産環境対策を考える—畜産 汚水処理を中心に— アミノ酸バランス改善飼料による総合的な環境負荷低減効果—肥育成績 への悪影響なく排水中の全窒素濃度を減少—	長田隆	農研機構畜産研究部門	公益社団法人中央畜産会	2018	8
6	②	「畜産技術」7月号 「養豚や乳用牛・肉用牛生産がもたらす環境負荷はもっと小さいことが判明」	長田隆	農研機構畜産研究部門	公益社団法人畜産技術協会	2018	10
7	②	「養豚の友」11月号 アミノ酸バランス改善飼料 導入メリットについて	長田隆	農研機構畜産研究部門	株式会社 日本畜産振興会	2018	11
8	②	Pig Journal5月号 百年続きますように ～アミノ酸添加バランス改善飼料の導入で、ずっと、カッコ良く	長田隆	農研機構畜産研究部門	アニマルメディア社	2019	5
9	②	Pig Journal7月号 百年続きますように その2 ～硝酸性窒素等の規制強化、地球環境や悪臭にも賢く対応	長田隆	農研機構畜産研究部門	アニマルメディア社	2019	7
10	②	Pig Journal10月号 アミノ酸バランス改善飼料のコスト低減メリットについて	萩野暁史, 長田隆	農研機構畜産研究部門	アニマルメディア社	2019	10
11	④	畜産酪農研究センターだより 「肉用牛へのアミノ酸バランス改善飼料の給与による温室効果ガスの低減」	高柳 晃治	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県畜産酪農研究センター	2019	9
12	④	岡山県版企画「営農・技術情報」家畜尿汚水浄化処理における窒素除去技術の開発	吉元和明	岡山県農林水産総合センター畜産研究所	日本農業新聞岡山県版	2019	10
13	②	デーリイマン (2019年) 秋季増刊号 「新版 マニュアル・マネージメント」 X. 糞尿処理による環境負荷 1. 温室効果ガスの発生と制御	長田隆	農研機構畜産研究部門	平成30年9月25日(デーリイマン10月号同送)	2019	10

14	⑤	「アグリとサイエンス」12月号 「養豚や乳用牛・肉用牛生産がもたらす環境負荷はもっと小さいことが判明」	長田 隆	農研機構畜産研究部門	全国農業新聞	2020	2
15	②	JATAFFジャーナル 8巻7号 家畜生産における温室効果ガスの排出削減技術	長田 隆、野中 最子	農研機構畜産研究部門	公益社団法人 農林水産・食品 産業界技術振興協会	2020	9
16	④	「岡山畜産便り」2月号 技術のページ 「炭素繊維を用いた温室効果ガス削減技術」	白石 誠	岡山県農林水産 総合センター畜産 研究所	岡山県畜産協会	2020	2
17	②	青淵(洪沢栄一記念財団機関誌) 2020年1月号 食肉生産からの温室効果ガスとその削減について	荻野 暁史	農研機構畜産研究部門	公益財団法人 洪 沢栄一記念財団	2021	1
18	②	畜産の世界における脱炭素 農研機構研究者による座談会	三森真琴、野中最子、荻野暁史、 神谷 充	農研機構畜産研究部門	食肉通信社	2021	6
19	③	令和元年度 試験研究成果集 業務報告書 家畜ふん堆肥化時に発生する臭気拡散防止技術の開発	高柳 晃治	栃木県畜産酪農 研究センター	栃木県畜産酪農 研究センター	2021	3
20	④	畜産酪農研究センターだより 「温室効果ガスを抑える飼料の開発に向け、実証試験を実施しました。」	田崎 稔	栃木県畜産酪農 研究センター	栃木県畜産酪農 研究センター	2021	9
21	④	「畜産茨城」第493号 「国や大学など、さまざまな機関と連携して試験研究を行っています。」	飯尾恒、野中最子	茨城県畜産セン ター	公益社団法人 茨城県畜産協会	2021	11
22	②	「畜産技術」11月号 畜産学習室 「我が国の畜産分野における温室効果ガス削減研究紹介 2)アミノ酸バランス改善飼料利用(ウン、採卵鶏)」	野中最子	農研機構畜産研究部門	公益社団法人 畜産技術協会	2021	10
23	⑤	ウシルーメン発酵由来メタン排出量推定マニュアル	上本吉伸、及川康平、小樺剛人、 鈴木知之、寺田文典、都丸友久、 西川悠貴、野中最子、正木達規	農研機構、東北 大、広島大、群馬 県畜産試験場、家 畜改良セ、兵庫農 林水産セ		2022	
24	②	我が国の畜産分野における温室効果ガス削減研究紹介 3)低メタン産生牛の育種	寺田 文典	東北大学(元)	畜産技術協会	2021	12
25	②	「畜産技術」1月号 連載 我が国の畜産分野における温室効果ガス削減研究紹介 草地の吸収能力(堆肥利用)	森昭憲	農研機構畜産研究部門	公益社団法人 畜産技術協会	2022	1
26	②	「畜産技術」2月号 「我が国の畜産分野における温室効果ガス削減研究紹介 5.LCAによる削減可能量の 評価:ブロイラー生産を中心に」	荻野 暁史	農研機構畜産研究部門	公益社団法人 畜産技術協会	2022	2
27	④	「中酪情報」3月号 無視できない？酪農と地球温暖化	日向 貴久	酪農学園大学	中央酪農会議	2021	3
28	②	「デーリイマン」5月号 「SDGs時代の環境問題を考える -開発進む温室効果ガス削減策の特徴と留意点-」	日向 貴久	酪農学園大学	岡山県畜産協会	2021	5
29	④	酪農ジャーナル電子版「酪農PLUS」 「酪農における温室効果ガス排出と削減に向けて」	日向 貴久	酪農学園大学	酪農学園大学	2021	10
30	④	国内情報「牛のあい気に含まれるメタンの畜舎での測定風景紹介」	鈴木知之	農研機構畜産研究部門	公益社団法人 畜産技術協会	2022	4

(4)国内特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1	②	炭素繊維充填好気性バイリアクターを用いた一酸化二窒素(N2O)抑制型汚水浄化処理	山下恭広、長田隆、荻野暁史、田中康男	農研機構	農研機構畜産研究部門	6210514	2014/3/5	2017/9/22
2	②	微生物保持担体、微生物保持担体の製造方法、汚水処理方法および汚水処理装置	長田隆、荻野暁史、山下恭広	農研機構	農研機構畜産研究部門	特願2020-200251	2020/12/2	
3	②	微生物保持担体、微生物保持担体の製造方法、汚水処理方法および汚水処理装置	長田隆、荻野暁史、山下恭広	農研機構	農研機構畜産研究部門	特願2020-200253	2020/12/2	
4	②	微生物保持担体、微生物保持担体の製造方法、汚水処理方法および汚水処理装置	長田隆、荻野暁史、山下恭広	農研機構	農研機構畜産研究部門	特願2020-200258	2020/12/2	
5	②	プロピオン酸前駆物質の大量生産に資する新規細菌	真貝拓三	農研機構	農研機構畜産研究部門	特願2021-101574	2021/6/18	

注1)複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

(5)国際特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		該当なし							

(6)報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1	①	汚水浄化処理に関する温室効果ガス排出係数を実測に基づき改定しました	農研機構	日本農業新聞 全国農業新聞 農業共済新聞	2018/3/1	
2	①	養豚汚水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅削減 - 農家施設で実証、既存施設への炭素繊維リアクター導入で -	農研機構 岡山県農林水産総合センター畜産研究所 岡山JA畜産	日本経済新聞 日本農業新聞 化学工業日報 日本農業新聞(週刊ダイジェスト) 朝日新聞 日経産業新聞 全国農業新聞 読売新聞	2019/7/23	
3	②	牛のげっぐを減らし温暖化を防ぐ	農研機構	毎日新聞	2020/6/23	

4	②	牛のげっぷ、温暖化の一因に	農研機構	毎日小学生新聞	2020/6/29	
5	②	温室効果ガス削減一家畜の排せつ物炭素繊維で処理	農研機構 岡山県農林水産総合センター畜産研究所 岡山JA畜産	山陽新聞	2020/3/19	
6	②	牛にアミノ酸飼料 温室ガス半減	農研機構 栃木県	日本農業新聞	2021/10/9	
7	②	牛排せつ物由来のガス半減	農研機構 栃木県	日本農業新聞	2022/1/3	
8	③	ルーメン微生物や給与飼料によるウシからの温室効果ガス削減方法の紹介	農研機構	テレビ朝日	2021/5/4	スーパーJチャンネルにて放映
9	②	地球温暖化対策「牛のげっぷ」研究の中身 農研機構に聞く	農研機構	日刊ゲンダイ	2021/5/7	
10	②	・ウシのルーメン微生物、温室効果ガス排出の少ない肉牛生産、牛からのメタン測定方法など ・ https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210524/k10013048061000.html ・Bew Cattle Diets Help Cut Greenhouse Gases ・ニュースのしゃべり場	農研機構	NHK	2021/5/19	「おはよう日本(おはBiz)」令和3年5月19日 NHK NEWS WEB 令和3年5月24日 NHK WORLD JAPAN 令和3年6月1日 NHKラジオ第1 令和3年6月3日
11	③	・温室効果ガス排出の少ない肉牛生産 ・糞尿からの亜酸化窒素を削減する飼料の力 https://www.jaac.or.jp/ebook/html5.html#page=15	農研機構	NHKラジオ、JAあいち中央機関誌 7月号	2021/6/6	NHKラジオ「月刊食堂」令和3年6月6日 ・JAあいち中央機関誌 7月号
12	③	・ウシのあいき、メタンの少ない牛を選んで増やす研究についての紹介	農研機構	フジテレビ	2021/6/30	News イット!
13	③	・メタンの少ない牛を選んで増やす研究についての紹介 https://www.news24.jp/articles/2021/07/19/06908361.html	農研機構	日本テレビ	2021/7/27	
14	②	畜産におけるGHG低減の取り組みについて、消化管からのメタン低減(低メタン牛育種)、糞尿からのGHG低減について紹介	農研機構	日刊工業新聞	2021/8/30	
15	②	畜産におけるGHG低減の取り組みについて、消化管からのメタン低減(低メタン牛育種)、糞尿からのGHG低減について紹介 https://www.nikkansports.com/general/nikkan/news/202111080000142.html?Page=1	農研機構	日刊スポーツ	2021/11/8	
16	③	・温室効果メタンガス研究の最前線 メタンの少ない牛を選んで増やす研究についての紹介	農研機構	テレビ東京	2021/11/11	ワールドビジネスサテライト
17	②	牛排せつ物由来のガス半減	農研機構	日本農業新聞	2022/1/3	
18	①	乳用牛の胃から、メタン産生抑制効果が期待される新規の細菌種を発見 一牛のげっぷ由来のメタン排出削減への貢献に期待	農研機構	日本農業共同組合新聞 NEWSつくば 日本農業新聞 化学工業日報	2021/12/1 -2022/1/3	
19	③	【みんなでSDGs】牛のげっぷで温暖化?進むげっぷ対策 https://www.youtube.com/watch?v=WbNt0CAw9nI	広島大学大学院統合生命科学研究所	広島テレビ	2022/2/24	
20	③	・牛のげっぷに含まれるメタンガス メタンの少ない牛を選んで増やす研究についての紹介	農研機構	フジテレビ	2022/3/12	地球HEROES

(7) 普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)。

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
1	①	汚水浄化処理に関する温室効果ガス排出係数を実測に基づき改定しました	農研機構、岡山県農林水産総合センター畜産研究所、千葉県畜産総合研究センター、佐賀県唐津農林事務所	2018	4	日本国インベントリー報告書の温室効果ガス排出係数改訂(2019年度)	2017年12月の当該排出量算定法検討委員会に提出、1月の委員会で了解、4月の最新日本国インベントリーに反映済み。
2	②	養豚汚水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅削減する炭素繊維リアクタ	農研機構	2021	12	養豚汚水処理施設への導入	2019年7月にプレスリリースを実施、2021年12月に特許実施許諾契約を締結して製品化。

(8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	農研機構シンポジウム「畜産業と環境保全の両立に向けて」	農研機構、京都大学、味の素株式会社バイオ・ファイン研究所、住友化学株式会社アニマルニュートリション事業部	発明会館	2018/3/1	200	「環境に配慮した豚用アミノ酸バランス改善飼料」の技術体系の普及拡大を図ることを目的に、生産者・普及支援関係者等の皆様にに対し、シンポジウムを開催 講演会場に気候変動緩和とプロの紹介ポスターも展示
2	令和2年度委託プロジェクト研究「農業分野における気候変動緩和技術の開発」(畜産分野における気候変動緩和技術の開発)研究成果発表会 - 地球温暖化対策の要請に応える日本の家畜生産 -	農研機構、酪農学園大学、京都大学	オンライン(TKP ガーデンシティ御茶ノ水から発信)	2020/12/18	200	本プロジェクトで開発中の各温室効果ガス削減技術の現在値を情報共有することを目的に、生産者・普及支援関係者等の皆様にに対し、シンポジウムを開催
3	令和3年度家畜ふん尿処理利用研究会「気候変動下における持続的な畜産物生産に向けた研究成果発表会」	農研機構	オンライン	2022/3/24	117	本プロジェクトで得られた成果を生産現場で活用できる持続的な畜産物生産に資する技術として、国、独立行政法人、地方公共団体、大学、民間企業と共有することで、家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針やみどりの食料システム戦略に対応する。

(9)アウトリーチ活動の状況

区分:①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前授業等

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1	①	平成29年度知的財産の技術移転加速化事業及び産学連携支援事業セミナー「畜産と気候変動～生産現場でできること～」	広島大学、東北大学、岡山県農林水産総合センター畜産研究所、農研機構畜産研究部門	岡山コンベンションセンター	2017/12/4	24	民間、大学、学生、行政等	
2	①	第2回 畜産分野での温室効果ガス排出削減に向けた研究ネットワーク会合	東北大学、農研機構畜産研究部門	東京大学	2018/3/30	50	大学、研究機関、行政等	
3	③	肉食つくば人の 未来人への思いやり(うんこへん)(サイエンスQ出前授業)	農研機構畜産研究部門	つくば市立今鹿島小学校	2018/1/26	30	今鹿島小学校児童	筑波研究学園都市交流協議会
4	①	「アミノ酸添加バランス改善飼料の環境安全性と経済性について」講演	農研機構畜産研究部門	石川県庁	2018/8/9	50	養豚農家、関係行政	平成30年度石川県「畜産環境対策に係る研修会」
5	①	「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減」講演	農研機構畜産研究部門	石岡ブラザホテル	2018/9/3	50	養豚農家、関係行政	茨城県養豚協会第13回通常総会
6	①	「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減」展示説明	農研機構畜産研究部門	東京ビックサイト	2018/11/20-22	30(対応者)	養豚農家、関係行政	アグリビジネス創出フェア2018
7	①	「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減」講演	農研機構畜産研究部門	熊本県畜産センタ	2018/11/29	100	研究所、養豚農家、関係行政	平成30年度熊本県畜産関係業績発表会
8	②	岡山県農林水産総合センターフェア(ポスター、炭素繊維展示)	岡山県農林水産総合センター畜産研究所	岡山県農林水産総合センター畜産研究所	2018/10/15	3000	民間、大学、学生、行政等	岡山県農林水産総合センターでのアウトリーチ活動
9	①	アミノ酸バランス改善飼料による窒素負荷軽減 Manure nitrogen reduction using a low-protein diet supplemented with synthetic amino acids	農研機構畜産研究部門	つくば国際会議場	2018/10/15-19	30(対応者)	民間、大学、学生、行政等	第17回世界湖沼会議
10	①	「アミノ酸添加バランス改善飼料の環境安全性と経済性について」講演	農研機構畜産研究部門	武雄市文化会館	2018/12/3	40	研究所、養豚農家、関係行政	平成30年度佐賀県養豚育成会研修会
11	①	「アミノ酸添加バランス改善飼料の環境安全性と経済性について」講演	農研機構畜産研究部門	コラッセ福島	2018/10/10-11	100	研究所、養豚農家、関係行政	平成30年度全国畜産関係普及指導員等調査研究会
12	①	「アミノ酸添加バランス改善飼料の環境安全性と経済性について」講演	農研機構畜産研究部門	栃木グランドホテル	2019/1/18	70	研究所、養豚農家、関係行政	平成30年度「栃木県南部種豚協会研修会
13	①	「硝酸性窒素対策としてのアミノ酸添加バランス改善飼料について～環境安全性と経済性 硫黄脱窒処理の有効性について」講演	農研機構畜産研究部門	かでの2.7	2018/12/17	50	研究所、養豚農家、関係行政	北海道養豚研究会第80回大会 講演会「環境対策の現状」
14	①	「バイオガスプラントの導入のポイントと展開方向」講演	北海道立総合研究機構中央農業試験場	JA上川ビル	2019/1/31	100	酪農家、農業法人、関係行政、関係団体	JAバンク北海道 旭川・宗谷・留萌地区農業法人セミナーでの講演における気候変動緩和プロジェクト(Ⅲ系)の概要説明
15	①	令和元年度県南地区養豚協会青年部研修会「アミノ酸バランス改善飼料の環境安全性と経済性について」	農研機構	土浦合同庁舎第2分庁舎2階共用会議室	2019/6/28	20	県南地区養豚青年部	バランス改善飼料実施事業(茨城県)に関係する活動
16	②	「炭素化社会に向けた農林水産分野の基本的考え方」の具現化に向けた勉強会(第3回)「畜産業からのCH4、N2Oの排出削減技術及び定量化手法」	農研機構	農林水産省農林水産技術会議事務局委員室	2019/8/20	20	本省内関係担当者	農林水産省 大臣官房政策課 環境政策室 地球温暖化対策班担当
17	①	「令和元年度高知県臭気対策勉強会」講演	栃木県畜産酪農研究センター	JA高知県四万十町営農経済センター	2019/9/10	20	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	アウトリーチ活動内で「低タンパクアミノ酸添加飼料によるアンモニアガス等の排出低減」として、試験内容を紹介
18	①	「農業技術革新・連携フォーラム2019」 「養豚汚水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅削減」	農研機構	経団連会館 2階 国際会議場	2019/10/2	300	農業関係者	農業技術革新・連携フォーラム
19	①	「農業技術革新・連携フォーラム2019」 「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減～温室効果ガスを減らし、水質も改善～」	農研機構	経団連会館 2階 国際会議場	2019/10/2	300	農業関係者	農業技術革新・連携フォーラム
20	①	農林水産省「知」の集積と活用 産学官連携協議会ポスターセッション「養豚汚水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅抑制」	農研機構	農林水産省	2019/10/31	200	農業関係者	農林水産省「知」の集積と活用 産学官連携協議会
21	①	農林水産省「知」の集積と活用 産学官連携協議会ポスターセッション「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減」	農研機構	農林水産省	2019/10/31	200	農業関係者	農林水産省「知」の集積と活用 産学官連携協議会
22	①	令和元年度農研機構「横串プロ(自給飼料)研究会」	農研機構	赤羽会館	2019/12/3	128	民間、大学、学生、行政等	
23	①	技術が切り拓く、農林水産業の環境イノベーションフォーラム ポスター展示「アミノ酸バランス改善飼料で養豚の環境負荷低減」	農研機構	農林水産省	2019/12/10	200	農業関係者	
24	①	SATテクノロジー・ショーケース2020「アミノ酸バランス改善飼料の給与は豚舎汚水処理水の水質改善に極めて有用」	農研機構	エポカルつくば	2020/1/27	300	つくば市内研究者、高校生	つくばサイエンスアカデミー
25	①	「県内における畜産臭気低減対策の取り組みについて」講演	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県庁 北別館	2020/2/7	40	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	アウトリーチ活動内で「低タンパクアミノ酸添加飼料によるアンモニアガス等の排出低減」として、試験内容を紹介
26	①	「臭気マップを活用した畜産臭気低減対策」	栃木県畜産酪農研究センター	群馬県農協ビル	2020/2/14	100	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	アウトリーチ活動内で「低タンパクアミノ酸添加飼料によるアンモニアガス等の排出低減」として、試験内容を紹介

27	②	採卵鶏の排せつ物由来の温室効果ガスを抑制する飼料の開発	茨城県畜産センター	令和3年度関東地域研究・普及連絡会議(WEB会議)	2021/11/5	56	県職員、行政、関係団体職員、	令和3年度関東地域研究・普及連絡会議
28	②	排せつ物由来の温室効果ガスを削減する肉用牛飼料の開発	農研機構畜産研究部門	東京ビックサイト	2020/11/24-26	49(対応者)	畜産関係者、行政	アグリビジネス創出フェア2021
29	②	堆肥化処理過程における温室効果ガス削減技術	農研機構畜産研究部門	東京ビックサイト	2021/11/24-26	150(対応者)	企業、農家、研究機関、行政	アグリビジネス創出フェア2021
30	①	「栃木県畜産環境研修会」講演	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県庁	2021/12/14	20	畜産農家、関係団体職員、県職員	アウトリサーチ活動内で「肉用肥育牛におけるアミノ酸バランス改善飼料給与時の家畜排せつ物堆肥化時に発生する温室効果ガスの削減効果の検証」として、試験内容を紹介
31	①	「農業技術革新・連携フォーラム2021オンライン分科会セミナー」 「アミノ酸バランス改善飼料給与による肥育牛からの温室効果ガス排出削減」	農研機構畜産研究部門	オンライン	2021/12/21	200	農業関係者	農業技術革新・連携フォーラム
32	①	「畜産における温室効果ガス排出削減策」	農研機構畜産研究部門	オンライン	2021/12/21	200	農業関係者	農業技術革新・連携フォーラム 第3分科会
33	②	肉用牛排泄物からの温暖化ガス削減	農研機構畜産研究部門	令和3年度農研機構畜産草地研究推進会議(オンライン)	2022/2/9	200?	研究機関、行政	令和3年度農研機構畜産草地研究推進会議
34	①	((一社)Jミルク 国際委員会2021年度第2回酪農生産専門分科会における講演	Jミルク	オンライン	2022/1/25	約25名	分科会委員、事務局他	
35	③	北海道家畜バイオガスプラント事業推進協議会研修会「北海道でのバイオガス活用事業について」	エア・ウォーター北海道	TKP札幌駅カンファレンスセンター	2022/1/18	40	道内自治体首長、JORA、北海道農政事務所、北海道経産局、北海道開発局	北海道内バイオガス事業に積極的に取り組む自治体首長(19市町村)から構成される協議会での講演
36	①	広島大学公開講座「SDGsを脱んだ食料生産研究の最前線」家畜生産に由来する温室効果ガス削減をめざして	広島大学統合生命科学研究所	広島県東広島市	2021/10/16	30	一般市民	https://www.hiroshima-u.ac.jp/system/files/171055/1.pdf
37	①	畜産分野における温室効果ガス排出削減を目指した研究開発	農研機構畜産研究部門	科学飼料協会	2022/3/18	30	行政、研究、企業	科学飼料協会月例研究会