

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450412

研究課題名(和文) 資源循環型および自給飼料多給型肉用牛生産システムのLCA

研究課題名(英文) LCA of beef production systems with resource recycling or depending on self-supplying feed

研究代表者

堤 道生 (Tsutsumi, Michio)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター畜産・鳥獣害研究領域・上級研究員

研究者番号：70373248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：周年放牧肥育、粗飼料のみの飼養(北里八雲牛：有機・非有機)および粗飼料多給肥育をともなう肉用牛生産システムを対象に環境影響評価を行い、慣行システムと比較した。周年放牧肥育による枝肉重量あたりの温室効果ガス排出量、酸性化ポテンシャル、富栄養化ポテンシャルおよびエネルギー消費は、慣行の値を8-53%下回った。北里八雲牛は有機・非有機ともに、慣行と比較して酸性化および富栄養化ポテンシャル、エネルギー消費が大幅に低減されていたが、非有機では温室効果ガス排出量が慣行を上回っていた。粗飼料多給肥育における増体量あたりの環境影響は、慣行肥育システムと比較して、概ね低減されていた。

研究成果の概要(英文)：We performed LCA of beef production systems with year-around grazing, grass-fed (Yakumo Beef; Organic or Non-organic), grass hay-fed to compare their environmental impacts with the conventional system. The year-round grazing system led to a reduction in the environmental impacts per unit carcass weight of beef compared with the conventional system, with reductions in global warming potential (GWP), acidification potential (AP) and eutrophication potential (EP) of 8, 53, and 47 %, respectively, and in energy consumption of 36%. The Organic and Non-organic Yakumo Beef had much lower AP and EP, and energy consumption than the conventional system. The Organic system also had slightly lower GWP, but the Non-organic one had slightly higher GWP than the conventional system. The grass hay-fed system had lower AP and EP, and energy consumption than the conventional system, but had similar GWP with the conventional one.

研究分野：草地学

キーワード：ライフサイクルアセスメント 環境影響評価 放牧 自給飼料 有機畜産

1. 研究開始当初の背景

飼料を外部からの購入で賄ういわゆる「加工型畜産」は、わが国の畜産の盛んな地域において土壌・水質汚染などの深刻な環境問題を引き起こしている。また、飼料の多くを輸入に頼る現状は、温室ガス排出量やエネルギー消費の増大を助長するものと考えられる。これに対して、循環型あるいは低投入型の畜産システムの導入により環境への影響を低減した持続可能な畜産への転換が提唱されている。

一般に、畜産における環境影響は植物由来の食物生産よりも大きく、中でも肉用牛生産が最大の環境影響を持つとされる。わが国を含む各国の肉用牛生産システムの環境影響を比較した例がいくつかあり、これらの結果を総括すると、わが国の慣行肉用牛生産システムは、温室効果ガス排出量がやや多いが各国と同水準にあるものの、極めて高い水準のエネルギーを消費している。この要因として、給与される濃厚飼料の多くを輸入に依存していることが挙げられる。

近年、資源循環型あるいは自給飼料多給型の肉用牛生産システムが次のように開発、提案されている。

(1) 周年放牧肥育：九州沖縄農業研究センターは、トウモロコシや牧草の栽培・管理技術に加え、周年放牧にトウモロコシサイレージ給与を組み合わせる放牧肥育技術を開発した。これら一連の技術を組み合わせることにより、肥育期間中に配合飼料を給与することなく褐毛和種牛を平均体重 680 kg まで肥育可能である。

(2) 北里八雲牛：北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター八雲牧場は、夏山冬里方式の管理の下、繁殖、育成および肥育に至るまで 100%自給牧草で飼養し、北里八雲牛の名で出荷している。八雲牧場は肉用牛でわが国初の有機畜産物 JAS 基準の認証を取得するとともに、日本草地畜産種子協会による放牧牛肉生産基準の認証を全国で唯一取得している。また、1994 年より飼料の購入を中止し、飼料の完全自給を達成している。さらに、2003 年から全ての農薬を、2005 年からは化学肥料の施用も完全に中止している。

(3) 粗飼料多給肥育：近畿中国四国農業研究センターでは自給飼料による良質な赤肉生産を目指し、粗飼料多給肥育技術を開発している。黒毛和種肥育牛にと畜前の 1 年間、自給乾草（飽食）と濃厚飼料（2 kg/日）を給与したところ、濃厚飼料多給肥育と比較して遜色のない生産が認められた。

2. 研究の目的

上記のような資源循環型および自給飼料多給型の肉用牛生産システムでは、輸入濃厚飼料を多給するわが国の慣行生産システムと比較して、飼料輸送や糞尿処理に係る環境負荷の削減が見込まれる。一方で、有機畜産のような資源循環型のシステム導入が必ず

しも環境影響低減につながらないとの報告もある。例えば、増体の遅延など生産効率の低下がみられる場合には、生産物の重量当たりの環境負荷が多くなるという結果が生じる。そこで本研究では、上記の肉用牛生産システムを対象に環境影響評価を行い、慣行システムと比較したときの環境影響低減効果を定量化することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 以下に示す肉用牛生産システムを対象に、LCA の手法による環境影響評価を行った。それぞれの解析に共通して、システム境界（LCA における評価対象の範囲）は、飼料生産、加工、輸送、家畜管理、消化管活動、排泄物およびその処理を含むものと定義した（図 1）。影響評価項目は温室効果ガス（GHG）排出量、酸性化ポテンシャル（AP）、富栄養化ポテンシャル（EP）、エネルギー消費とした。

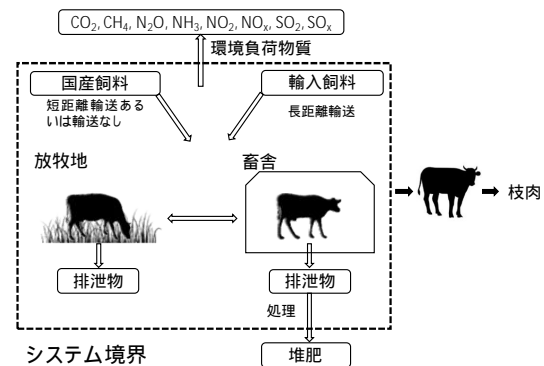


図 1. 本研究の LCA における評価対象の範囲 (システム境界)。

(2) 周年放牧肥育および慣行肥育による褐毛和種去勢雄牛生産システムを評価の対象とし、結果を比較した。機能単位は枝肉重量 1 kg とした。

(3) 八雲牧場（北里大附属フィールドサイエンスセンター）における去勢雄牛（日本短角種および短角系雑種）生産について、有機的管理導入以前（非有機）および以後（有機）のそれぞれを評価の対象とした。また、北里八雲牛と出荷体重の近い褐毛和種去勢雄牛の慣行生産を比較の対象とした。機能単位は枝肉重量 1 kg とした。

(4) 黒毛和種牛の粗飼料多給肉用牛肥育システムおよび慣行（濃厚飼料多給）肥育システムを評価の対象とした。機能単位は肥育牛の増体 1 kg とした。

(5) 周年放牧肥育、八雲牧場（有機・非有機）で生産される枝肉重量あたりの環境影響を肉用専門・粗飼料多給型の生産システムでこれまでに行われた環境影響評価結果と比較した。

4. 研究成果

(1) 慣行肥育で生産された枝肉 1 kg あたりの GHG 排出量、AP、EP およびエネルギー消費はそれぞれ 30.1 kg CO₂e、326.7 g SO₂e、38.0 g PO₄e および 210.9 MJ であった (図 2)。周年放牧肥育での値は同順に 27.8 kg CO₂e、153.2 g SO₂e、20.3 g PO₄e および 134.2 MJ であり、慣行肥育の値をそれぞれ 8, 53, 47 および 36% 下回った。周年放牧肥育の導入による肉用牛生産システム全体での環境影響低減量は上記と同順に 2.35 kg CO₂e、173.4 g SO₂e、17.7 g PO₄e および 76.6 MJ で、輸送プロセスでの低減量は 4.49 kg CO₂e、143.4 g SO₂e、12.4 g PO₄e および 62.6 MJ であった。このように、すべての評価項目において輸送プロセスでの低減効果が大きかった。GHG 排出量は輸送プロセスでの低減が認められるものの、放牧管理下では乾物摂取量の増加にともなう消化管活動でのメタン発生量が増大するため、GHG 排出量全体での低減幅は小さくなった。飼料生産プロセスの GHG 排出量は慣行肥育 (7.21 kg CO₂e) と周年放牧肥育 (7.60 kg CO₂e) で同等であった。一方、輸送プロセスを除いた場合、GHG 排出量は周年放牧肥育の方が高くなる。このことは、国内 (生産現場の近隣) においてアメリカ合衆国などと同水準の効率で濃厚飼料生産ができれば、濃厚飼料多給の舎飼肥育システムの GHG 排出量が周年放牧肥育システムのそれを下回ることを意味するものである。しかしながら、国内、特に都府県での濃厚飼料の大規模な増産は現在のところ見込めない。したがって、周年放牧肥育システムの導入は、GHG 排出量を含む環境影響低減のための実現可能なオプションといえる。

(2) 有機的管理導入前後の八雲牧場肉用牛 (北里八雲牛) 生産システムおよび慣行肉用牛生産システムの環境影響評価を行い、これらの結果を比較した。

GHG 排出量は有機、慣行、有機の順に多かった (図 3)。3つのシステムに共通して消化管活動の寄与が最大であったが、それに次ぐプロセスはシステム間で異なっていた。慣行では濃厚飼料生産の寄与が2番目に大きく、飼料輸送の寄与もこれと同等であった。非有機の家畜管理、消化管活動、排泄物 (堆肥化を含む) の各プロセスにおける GHG 排出量は有機と同等であったが、飼料生産において差が見られ、これが全体の差に反映されていた。また、この差は化学肥料の生産工程における CO₂ の排出から生じていた。

AP は慣行で最大であり有機および非有機の3倍前後の値を示した。慣行では飼料輸送の寄与が大きく、排泄物と濃厚飼料生産がこれに続いた。有機および非有機では排泄物の寄与が最大であった。飼料生産で生じる AP は有機 < 非有機であったが、排泄物では有機 > 非有機であり、その結果全体では有機 > 非有機となっていた。有機的管理導入後の八雲

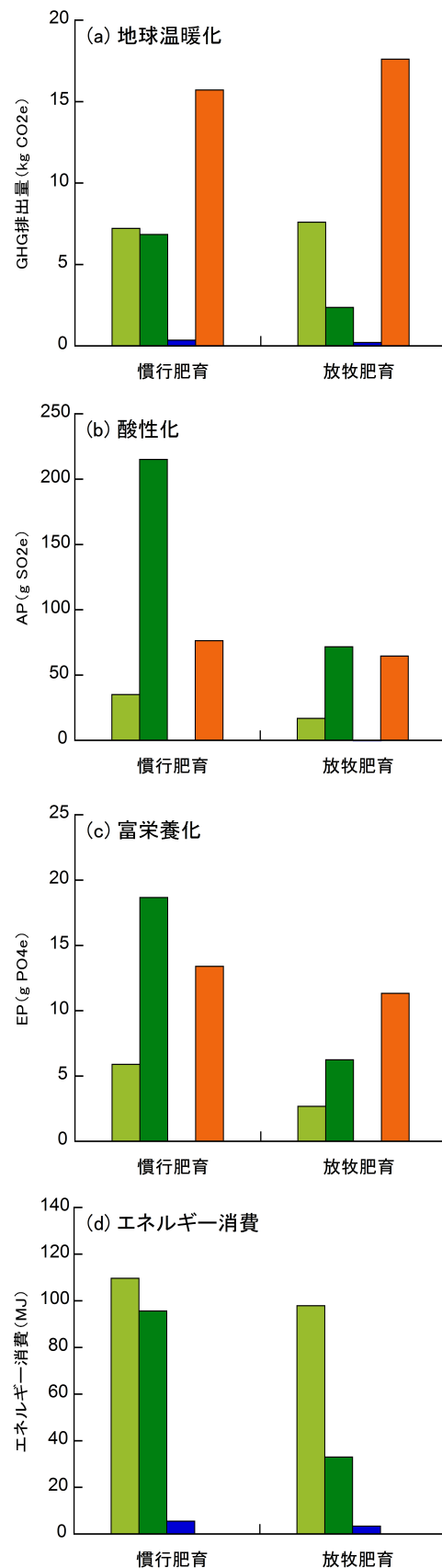


図 2. 慣行および周年放牧肥育システムでの肉用牛生産全体に係る枝肉 1 kg あたりの環境影響。

：飼料生産，：飼料輸送，：家畜管理，
：消化管活動，排泄物およびその処理

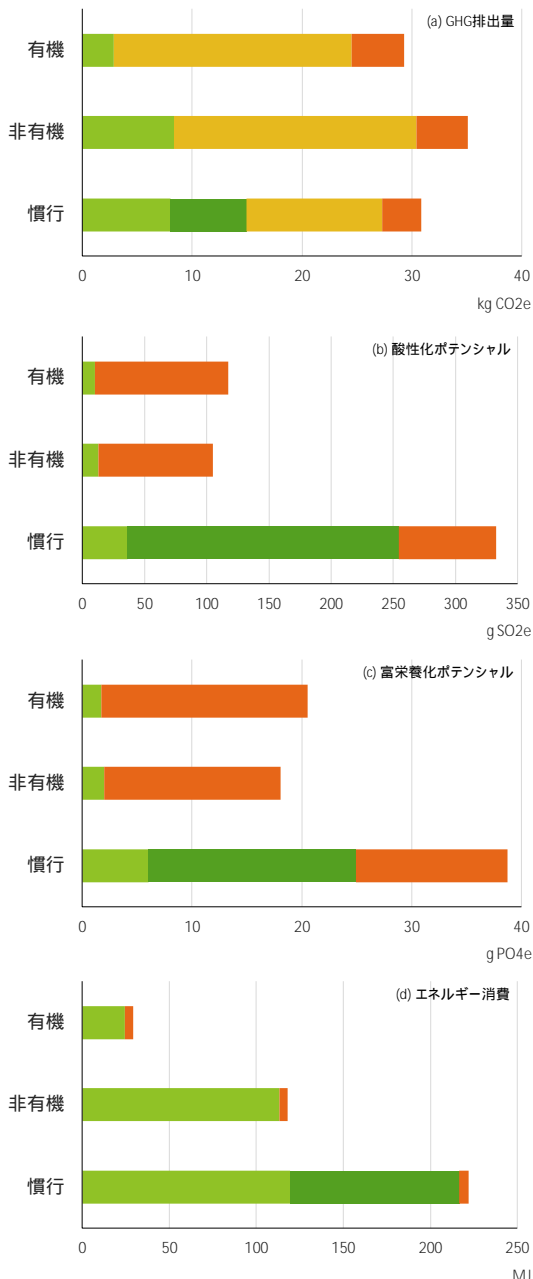


図 3. 北里八雲牛(有機・非有機)および慣行肉用牛生産システムにおける枝肉 1 kg あたりの環境影響。

：飼料生産，：飼料輸送，：消化管活動，：その他

牧場では、それ以前と比較して、肥育期間が長期化されている。これにより排泄物由来のアンモニアが増大していた。したがって、AP が有機 > 非有機となった主因は、「有機的管理の導入」ではなく「肥育期間の長期化」であると考えられる。

EP に関する結果は AP と類似していた。慣行の EP は有機および非有機の 2 倍前後の値であった。3 システムにおける各プロセスの寄与は、AP と同様であった。EP についても有機 > 非有機となっており、その主因は上述の AP と同一と考えられる。

エネルギー消費は慣行で最大であり、非有

機の 2 倍、有機の 8 倍に近かった。慣行では濃厚飼料生産で最大のエネルギーが消費されていたが、飼料輸送もこれに匹敵した。有機および非有機ともに飼料生産の寄与が最大であった。非有機の飼料生産プロセスにおけるエネルギー消費は有機の 3 倍以上であった。このことは、前述の GHG 排出量と同様に、化学肥料使用の有無に起因していた。

自家産牧草のみの給与で生産した北里八雲牛は有機・非有機ともに、慣行と比較して酸性化および富栄養化ポテンシャル、エネルギー消費が大幅に低減されることが明らかとなった。一方、非有機では GHG 排出量が慣行を上回っていたが、有機では GHG 排出量が慣行をやや下回るとともに、さらにエネルギー消費が低減されていた。このように、八雲牧場における有機的管理の導入は、環境影響の面から好ましいことが示された。

(3) 黒毛和種去勢牛を用いた粗飼料多給肥育システムおよび慣行肥育システムを対象に環境影響評価を行い、結果を比較した。粗飼料多給肥育システムにおける増体量あたりの環境影響は、慣行肥育システムと比較して、GHG 排出量、AP、EP およびエネルギー消費でそれぞれ ±0、-28、-24 および -12% であり、概ね低減されていた。一方、肥育期間全体での環境影響の差は同順に -27、-48、-45 および -36% であった。すなわち、増体成績において粗飼料多給肥育(日増体量: 0.60 kg)は慣行肥育(同 0.82 kg)を下回っており、このことによって粗飼料多給肥育の環境影響低減効果が、GHG 排出量では相殺され、その他の評価項目でも縮小されていた。

(4) 周年放牧肥育および有機(北里八雲牛)の GHG 排出量は、他の肉用専門・粗飼料多給型の生産システムとの比較において中程度

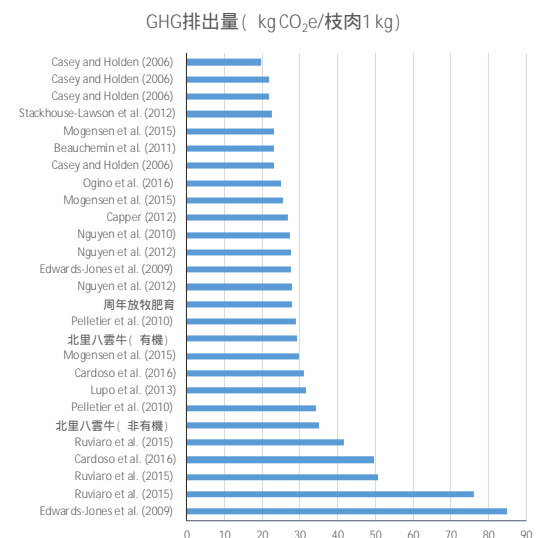


図 4. 周年放牧肥育、北里八雲牛(有機・非有機)と既報の肉用専門・粗飼料多給型の生産システムの GHG 排出量の比較。

であったが、非有機（北里八雲牛）ではやや高水準にあった（図4）。APおよびEPでは周年放牧肥育、有機および非有機とも低水準であった。この結果には解析法の違いが多分に影響していると考えられた。エネルギー消費は有機で低水準にあったが、周年放牧肥育および非有機が最も高い値であった（図5）。この結果については、化学肥料の施用量が密接に関連しているものと考えられる。また、以上の結果から、八雲牧場への有機的管理の導入により、類似の生産システムとの比較においてやや高水準にあったGHG排出量が中程度にまで削減され、最高水準にあったエネルギー消費が低水準にまで低減されたことが明らかとなった。

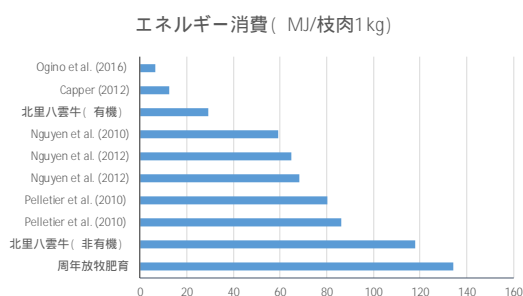


図5. 周年放牧肥育、北里八雲牛(有機・非有機)と既報の肉用専門・粗飼料多給型の生産システムのエネルギー消費の比較。

< 引用文献 >

Beauchemin K.A., H.H. Janzen, S.M. Little, T.A. McAllister and S.M. McGinn (2011) Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: evaluation using farm-based life cycle assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 663-677.

Capper J.L. (2012) Is the grass always greener?: comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals* 2: 127-143.

Cardoso A.S., A. Berndt, A. Leytem, B.J.R. Alves, I.N.O. de Carvalho, L.H. de Barros Soares, S. Urquiaga and R.M. Boddey (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agric. Syst.* 143: 86-96.

Casey J.W. and N.M. Holden (2006) Greenhouse gas emissions from conventional, agri-environmental scheme, and organic Irish suckler-beef units. *J. Environ. Qual.* 35: 231-239.

Edwards-Jones G., K. Plassmann and I.M. Harris (2009) Carbon footprinting of lamb and beef production systems: insights from

an empirical analysis of farms in Wales, UK. *J. Agric. Sci.* 147: 707-719.

Lupo C.D., D.E. Clay, J.L. Benning and J.J. Stone (2013) Life-cycle assessment of the beef cattle production system for the Northern Great Plains, USA. *J. Environ. Qual.* 42: 1386-1394.

Mogensen L., T. Kristensen, N.I. Nielsen, P. Spleth, M. Henriksson, C. Swensson, A. Hessle and M. Vestergaard (2015) Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livest. Sci.* 174: 126-143.

Nguyen T.L.T., J.E. Hermansen and L. Mogensen (2010) Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *J. Clean. Prod.* 18: 756-766.

Nguyen, T.T.H., H.M.G. van der Werf, M. Eugène, P. Veyssset, J. Devun, G. Chesneau and M. Doreau (2012) Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. *Livest. Sci.* 145: 239-251.

Ogino A., K. Sommart, S. Subepang, M. Mitsumori, K. Hayashi, T. Yamashita and Y. Tanaka (2016) Environmental impacts of extensive and intensive beef production systems in Thailand evaluated by life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 112: 22-31.

Pelletier N., R. Pirog and R. Rasmussen (2010) Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agric. Syst.* 103: 380-389.

Ruviaro C.F., C.M. de Léis, V.d.N. Lampert, J.O.J. Barcellos and H. Dewes (2015) Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *J. Clean. Prod.* 96: 435-443.

Stackhouse-Lawson K.R., C.A. Rotz, J.W. Oltjen and F.M. Mitloehner (2012) Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *J. Anim. Sci.* 90: 4641-4655.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

堤 道生, 中村 好徳, 金子 真, 林 義朗, 荻 博行, 山田 明央, 小林 良次 (2017) 褐毛和種去勢雄牛周年放牧肥育システムの環境影響評価. *日本暖地畜産学会報*. 60: 27-35. (査読有)

中村 好徳, 金子 真, 荻 博行, 小林

良次(2015)周年放牧肥育技術により飼養された褐毛和種および黒毛和種去勢雄牛の増体量と血液性状の特徴. 日本暖地畜産学会報. 58: 273-283. (査読有)

[学会発表](計8件)

堤 道生, 小野 泰, 小笠原 英毅, 寶示戸 雅之. 有機的管理による国産グラスフェッドビーフの環境影響評価. 日本LCA学会. 2017.3.2 産業技術総合研究所(茨城県・つくば市)

堤 道生, 小野 泰, 小笠原 英毅, 寶示戸 雅之. 北里八雲牛の環境影響評価. 日本草地学会. 2016.3.30 石川県立大学(石川県・野々市市)

堤 道生, 柴田 昌宏. 黒毛和種去勢牛粗飼料多給肥育の環境影響評価. 日本草地学会. 2015.3.25 信州大学(長野県・上伊那郡南箕輪村)

堤 道生, 小野 泰, 小笠原 英毅, 寶示戸 雅之. 有機採草生産における温室効果ガス排出量およびエネルギー消費. 日本草地学会. 2015.3.25 信州大学(長野県・上伊那郡南箕輪村)

堤 道生. 褐毛和種牛繁殖システムのライフサイクルアセスメント. 日本暖地畜産学会. 2014.10.25 宮崎観光ホテル(宮城県・宮崎市)

堤 道生, 中村 好徳, 金子 真, 林 義朗, 蒼 博行, 山田 明央, 小林 良次. 褐毛和種去勢牛の周年放牧肥育のライフサイクルアセスメント. 日本草地学会. 2014.4.2 宮崎観光ホテル(宮城県・宮崎市)

金子 真, 中村 好徳, 小林 良次, 山田 明央, 林 義朗. 夏季パリセードグラス放牧地における放牧肥育牛の採食量と牧草現存量の関係. 日本草地学会. 2014.4.2 宮崎観光ホテル(宮城県・宮崎市)

金子 真, 中村 好徳, 小林 良次, 林 義朗, 山田 明央. 周年放牧肥育向け草地管理体系の提案 - 暖地における高収量・高栄養放牧地管理体系 -. 水田・里山放牧推進協議会情報交換会. 2013.10.31 畜産草地研究所那須研究拠点(栃木県・那須塩原市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤 道生 (TSUTSUMI, Michio)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター畜産・鳥獣害研究領域・上級研究員
研究者番号: 70373248

(2) 研究分担者

寶示戸 雅之 (HOJITO, Masayuki)
北里大学・獣医学部・教授
研究者番号: 50355088

金子 真 (KANEKO, Makoto)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター畜産草地研究領域・主任研究員
研究者番号: 20582612

(3) 連携研究者

柴田 昌宏 (SHIBATA, Masahiro)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター畜産・鳥獣害研究領域・上級研究員
研究者番号: 60370631

中村 好徳 (NAKAMURA, Yoshi-Nori)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター畜産草地研究領域・主任研究員
研究者番号: 10399107