

No.10 一飼料添加物一N₂O 排出抑制

調査責任者 一般社団法人日本化学工業協会

1. 調査の目的

近年の畜産経営の大規模化・集約化に伴い、家畜排泄物に起因する悪臭、土壌の富栄養化・酸性化、地球温暖化といった種々の環境問題が顕在化している。特に、家畜排泄物の処理過程で発生する一酸化二窒素(N₂O)は、二酸化炭素(CO₂)の298倍の温室効果を有しており、日本国内における総排出量のうち19%が家畜排泄物に由来することからも、その排出削減が強く求められている。

これらの問題解決の基本は、家畜の排泄窒素の削減であり、最も有効な方法の一つとして、飼料中のタンパク質含量、すなわち余剰なアミノ酸を削減し、不足する必須アミノ酸を単体の合成アミノ酸で補った配合飼料の給与が知られている。

肉用鶏や採卵鶏といった家禽用飼料ではメチオニンが最も不足しやすい第一制限アミノ酸となるため、大豆粕を始めとするタンパク質原料のみを用いて肉や卵といった家禽生産に必要な栄養要求量を満たす場合、メチオニン以外のアミノ酸は要求量を超えて過剰に供給されることとなる。この余剰アミノ酸は、家禽生産に利用されることなく、排泄窒素として体外に放出される。したがって、単体の合成アミノ酸(DL-メチオニン)を飼料に添加し、メチオニン要求量を効率的に充足することによって余剰なアミノ酸を削減することができ、その結果、排泄窒素の削減および排泄物管理過程におけるN₂Oの発生を抑制することが可能である。



図 10-1. 養鶏用飼料添加物

本事例では、DL-メチオニン添加配合飼料を用いることによる排泄物処理過程におけるN₂Oの発生抑制、すなわちGHG排出削減貢献を定量的に把握するため、cLCAによる検証を行った。

①GHG 排出削減貢献の内容

飼料にDL-メチオニンを添加し、飼料中の必須アミノ酸バランスを効率的に整えることによって余剰なアミノ酸を削減し、排泄窒素の削減および排泄物管理過程におけるN₂O排出量を抑制することが可能である。

②飼料添加剤に使用される化学製品例

- ・ DL-メチオニン
- ・ ビタミンプレミックス
- ・ ミネラルプレミックス

2. バリューチェーンにおけるレベル

本事例は DL-メチオニン添加配合飼料と無添加配合飼料を対象としたものであり、これらの配合飼料により提供される最終製品は鶏の飼養と排泄物処理である。化学製品である DL-メチオニンを添加した配合飼料が養鶏において、どのように影響を及ぼすかを評価することから、バリューチェーンにおけるレベルは最終使用レベルに該当する。

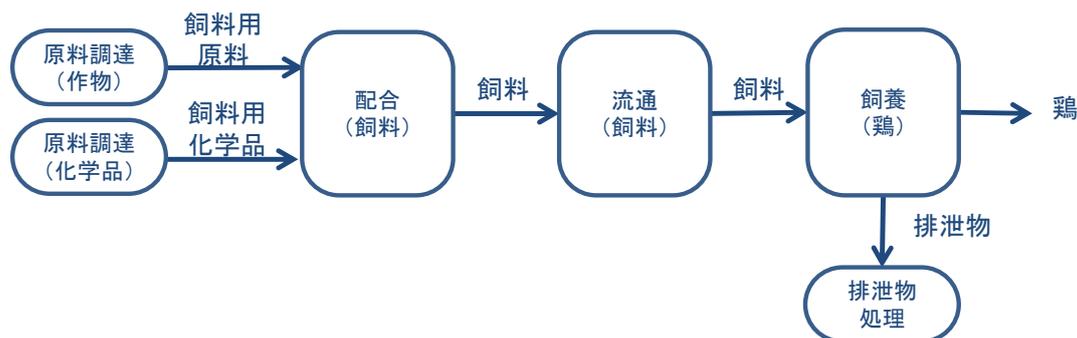


図 10- 2. 本事例のバリューチェーン

3. 製品の比較

本事例は、タンパク質含量の異なるブロイラー用配合飼料を比較したものである。

評価対象製品は DL-メチオニン添加配合飼料、比較製品は無添加配合飼料である。評価対象製品では、DL-メチオニンを添加することによって飼料中の必須アミノ酸バランスを効率的に整え、ブロイラーの生産に利用されない余剰なアミノ酸を削減する。その結果、排泄物中の窒素量を削減することができ、排泄物処理過程における N_2O 発生を抑制することが可能である。

比較製品は無添加配合飼料であり、飼料中のタンパク質含量が高く、ブロイラーの生産に利用されない余剰なアミノ酸が多く含まれているため、排泄物中の窒素量が相対的に高くなる。

表 10- 1. 評価対象製品と比較製品

評価対象製品	比較製品
DL-メチオニン添加配合飼料	無添加配合飼料

本事例による GHG 排出削減貢献量は、評価対象製品が存在しなければ比較製品を使い続けていたとみなし、「評価対象製品が普及したことによって、比較製品を使い続けた場合よりも削減された GHG 排出量」を表現している。

4. 機能単位

4.1 機能及び機能単位の詳細

本事例はタンパク質含量の異なるブロイラー用配合飼料の比較であり、評価対象製品と比較製品のアミノ酸スコア(必須アミノ酸含量)は等しく、いずれの製品を使用しても、最終製品であるブロイラーが発揮する機能(生産成績)は変わらないことから、配合飼料に焦点を当てて比較することが可能である。

したがって、評価対象製品および比較製品の機能はブロイラーの飼養、機能単位は配合飼料 1kg とした。

DL-メチオニン添加配合飼料の使用によって便益を受けるユーザーは養鶏業者である。

・機能

ブロイラーの飼養

・機能単位

配合飼料 1kg

・便益を受けるユーザー

養鶏業者

4.2 品質要件

配合飼料の機能性(役割)はブロイラーの飼養、すなわち家禽生産に必要な栄養源の供給である。

適切な家禽生産のために必要な栄養素として、ブロイラー用配合飼料中の代謝エネルギーは 3,200 kcal/kg、可消化のメチオニン及びシスチン含量は 0.80%の水準を満たさなければならない。この条件において、DL-メチオニン添加配合飼料中の粗タンパク質含量は 20.16%、無添加配合飼料では 26.99%となる。いずれの配合飼料もブロイラーの育成成績は変わらない。

表 10- 2. 配合飼料中の栄養組成

区分	DL-メチオニン 添加配合飼料	無添加配合飼料
代謝エネルギー	3,200 kcal	3,200 kcal
粗タンパク質	20.16%	26.99%
可消化メチオニン+シスチン	0.80%	0.80%

出典: ROSS Nutrition Specifications 2019 から設計

図 10- 3 に、DL-メチオニン添加配合飼料および無添加配合飼料における必須アミノ酸含

量のブロイラー要求量に対する充足率を示す。ここで、適切な家禽生産のためには、必須アミノ酸含量が充足率 100%の水準を満たしている必要がある。いずれの飼料においても、メチオニン及びシスチンを含む必須アミノ酸含量は充足率 100%の水準を満たしていることから、配合飼料の機能性は同等と言える。

一方、100%の水準を超えて供給されるアミノ酸は、ブロイラーの生産に利用されずに排泄されるため、DL-メチオニンを添加して効率的に要求量を満たしている評価対象製品では(赤色箇所)、排泄窒素の削減が可能となる。

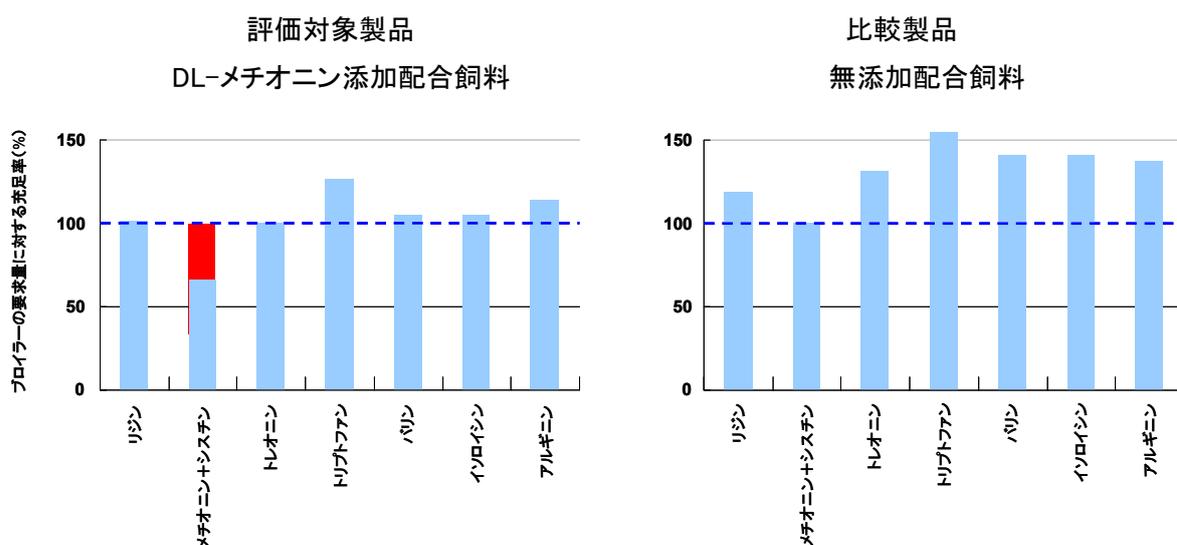


図 10- 3. ブロイラーの要求量に対する飼料中必須アミノ酸含量の充足率

4.3 製品のサービス寿命

本事例ではブロイラーの飼養期間をサービスライフとした。日本国内における一般的な飼養期間は 47.1 日(47.1 日齢)であり、給餌量¹⁾は 1 羽あたり 5.14kg とした。

4.4 時間的基準と地理的基準

GHG 排出量の算定に用いた配合飼料のデータは 2019 年の飼料構成に基づくものである。配合飼料の原料調達時における CO₂ 排出量の算定は IDEA、食品関連材料 CO₂ 排出係数データベースを用いた。排泄物処理に係る N₂O 排出量の算定は日本国温室効果ガスインベントリ報告書の計算方法とデータを使用した。

本事例の対象地域は配合飼料の日本での使用とした。

5. 算定の方法論

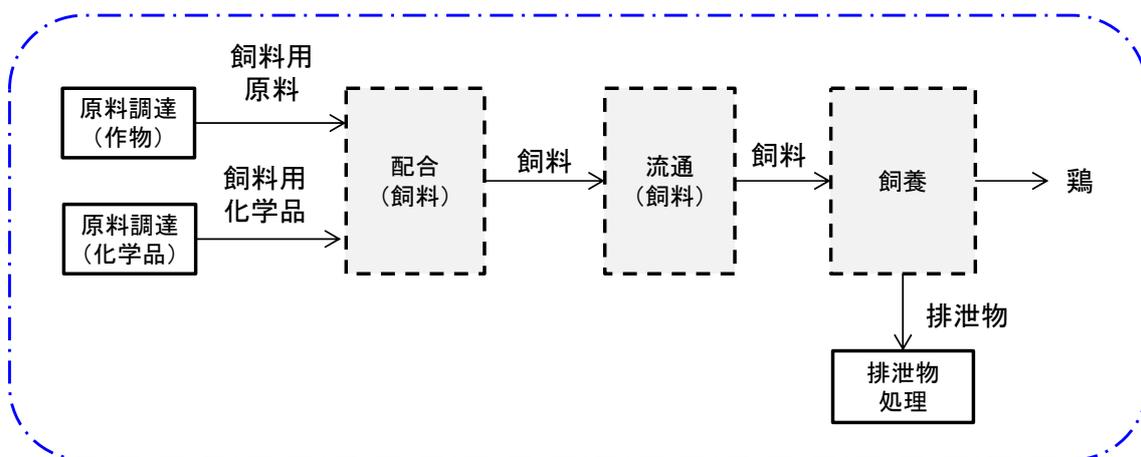
本事例では配合飼料における GHG 排出量を算定しているが、GHG 排出量の差異が生じる部分

は原料調達段階と排泄物処理段階の部分であり、それ以外は両製品で共通のプロセスとなることから省略し、配合飼料に焦点を絞った評価を行うために簡易算定法を用いた。

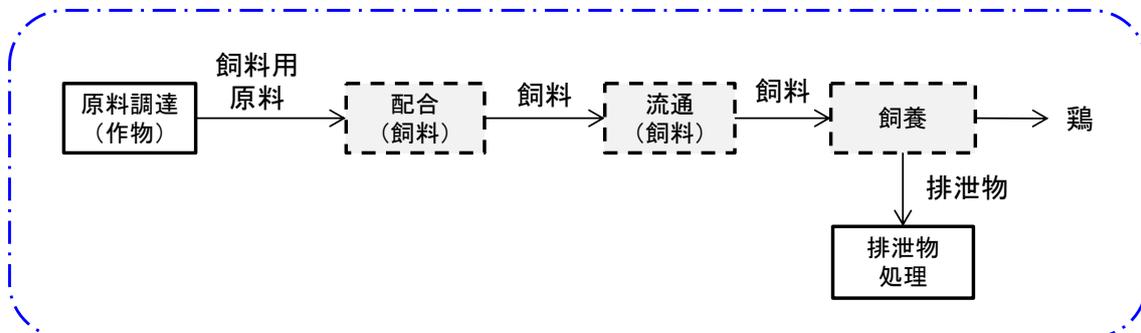
5.1 境界の設定

評価対象製品と比較製品の双方について、原料調達および排泄物処理過程をシステム境界に含む。

【評価対象製品のシステム境界】



【比較製品のシステム境界】



注: 本図ではプロセス間の輸送を省略している。

- GHG排出量を考慮しているプロセス
- 両製品共通のためGHG排出量の算定を省略しているプロセス
- システム境界

図 10- 4. システム境界

表 10-3. システム境界に関する補足事項

	評価対象製品	比較製品
原料調達	○	○
配合	—	—
流通	—	—
飼養	—	—
排泄物処理	○	○

注:○含まれる —含まれない

5.2 前提条件

・配合飼料組成

配合飼料組成を表 10-4 に示す。いずれの配合飼料においても、ブロイラーの飼養条件は同様であり、粗タンパク質含量を除いて、代謝エネルギー、必須栄養素は適切な家禽生産に必要な要求量を満たしていることを前提とする。

表 10-4. 配合飼料組成

区分	DL-メチオニン 添加配合飼料	無添加配合飼料
トウモロコシ	56.2%	42.0%
大豆粕	35.0%	40.0%
コーングルテンミール	0.0%	9.1%
大豆油	5.6%	5.9%
ビタミン・ミネラル等	3.0%	3.0%
DL-メチオニン	0.3%	0.0%
計	100.0%	100.0%

・ブロイラーの飼育日数と給餌量¹⁾

ブロイラー1羽の飼養日数は 47.1 日間とし、この期間の給餌量は 5.14kg とした。

5.3 簡易算定法

比較に用いる製品同士のライフサイクルにおける同一部分/プロセスの GHG 排出量は同量であり、削減貢献量の絶対値に影響を与えていないため、算定を省略した。

●省略したプロセス

- A: 配合飼料製造段階の GHG 排出量
- B: 流通段階(飼料製造会社～養鶏場)の GHG 排出量
- C: 養鶏場における飼養段階の GHG 排出量

●基準ケースの総排出量に対する省略された排出量の程度

A、B、C の同一部分の総排出量に対する割合は把握できなかった。

5.4 主要パラメータ

GHG 排出量全体に与える影響が大きいと考えられる主要パラメータは、①排泄物処理方法、②配合飼料組成である。

5.5 不確実性と将来的進展シナリオの統合

2018 年の市場規模データをもとに、2030 年まで将来特別な変化が起こらないと想定した。

6. 貢献の度合い(重要性)

本事例は、DL-メチオニンを添加することによって配合飼料中の余剰なアミノ酸を削減し、ブロイラーの排泄窒素を削減することができる。その結果、排泄物処理過程における N₂O 排出量を抑制することが可能である。DL-メチオニン添加飼料は最終製品であるブロイラーの飼養過程で GHG 排出量の削減に直接的に関与していることから、GHG 排出削減へ「基本的」に貢献しているものと判断される。ただし、GHG 排出削減貢献量は、化学産業のみに帰属しておらず、原料調達から養鶏業者を通じたバリューチェーン全体に帰属している。

貢献度合い		化学製品と最終製品の関係
○	基本的 (Fundamental)	その化学製品は、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にする上で重要な要素である。
	必要不可欠 (Extensive)	その化学製品は重要な要素の一部であるとともに、最終製品を用いて GHG 削減貢献を可能にするためにその化学製品の特性・機能が必要不可欠である。
	実質的 (Substantial)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、最終製品による削減貢献量に影響なく容易に置き換えられるものではない。
	間接貢献 (Minor)	その化学製品は GHG 削減貢献に直接的な貢献をしていないが、基本的又は広範囲に貢献している製品の製造プロセスで用いられている。
	貢献対象外 (Too small to communicate)	その化学製品は、最終製品を用いた GHG 削減貢献量に変化を及ぼさずに置き換えが可能である。

7. GHG 排出量の算定結果

各プロセスの GHG 排出量を算定する過程において、窒素含有量や総窒素量などの換算を行っているため、四捨五入の影響により数式として示した数値と計算結果として表示される数値は一致しない場合がある。

7.1 素材の GHG 排出量

配合飼料組成(表 10- 4)を元に、食品関連材料 CO₂ 排出係数データベース²⁾、MiLCA (MiLCA マスタ・データベース構造バージョン:2.2.1、IDEA バージョン名:IDEA Ver.2.0)を用いて飼料製造段階の CO₂ 排出量を算出した。

ただし、食品関連材料 CO₂ 排出係数データベースは引用元の数値が CO₂ を対象としたものであるが、素材の製造段階においては CO₂ 以外の温室効果ガスの影響は少ないと考えられることから、CO₂ 排出量≒GHG 排出量とみなして合算することとした。

表 10- 5. 配合飼料の原料製造に伴う GHG 排出量

単位:kg-CO₂e/kg-飼料

区分	DL-メチオニン 添加配合飼料	無添加配合飼料
トウモロコシ	0.042	0.031
大豆粕	0.061	0.070
コーングルテンミール	0	0.011
大豆油	0.026	0.028
ビタミン・ミネラル等	0.074	0.074
DL-メチオニン	0.011	0
計	0.214	0.214

7.2 廃棄段階の GHG 排出量

廃棄段階(排泄物処理過程)における GHG 排出量は以下の条件に基づき算出した。排泄物中の有機物から発生するメタン発生量については、DL-メチオニン添加配合飼料および無添加配合飼料のいずれにおいても、排泄物中の有機物量は同等と考えられることから、cLCA ガイドラインの簡易算定法を適用し、算定の対象に含めなかった。

排泄物中の窒素低減率は下式によって得られる。ここでDL-メチオニン添加配合飼料中の粗タンパク質(CP: Crude Protein)低減率は6.82%(前提条件の栄養組成より:小数点以下第2位の数字が一致しないのは四捨五入による)であることから、排泄物中の窒素低減率は50.1%となる。

$$\text{排泄物中の窒素低減率}^3)(\%) = 0.64 + 7.25 \times \text{飼料中の CP 低減率}(\%)$$

無添加配合飼料を給与した飼養鶏の排泄物に含まれる窒素含有量を 2.62g-N/羽/日⁴⁾とすると、DL-メチオニン添加配合飼料を給与した飼養鶏の1羽、1日あたりの排泄物に含まれる窒素含有量は $(2.62\text{g-N/羽/日} \times (1 - \text{窒素低減率 } 0.501) = 0.499)$ 1.31 g-N/羽/日と算出されることから、その削減量は 1.31 g-N/羽/日となる。また、飼育日数が 47.1 日であることから、ブロイラー1羽の排泄する総窒素量は DL-メチオニン添加配合飼料を使用した場合は 61.58 g-N/羽 $(1.31\text{ g-N/羽/日} \times 47.1\text{ 日})$ 、無添加配合飼料を使用した場合は 123.40 g-N/羽 $(2.62\text{g-N/羽/日} \times 47.1\text{ 日})$ と算出される。

家畜排泄物の処理方法として、天日乾燥、火力乾燥、強制発酵、堆積発酵、焼却、メタン発酵などがあり、日本における処理比率を図 10- 5、排泄物処理方法別の N₂O 排出係数を表 10- 6 に示す。排泄窒素量と排泄物の処理比率、処理方法別 N₂O 排出係数を用いて、ブロイラーの排泄物管理過程における GHG 排出量を算出した(表 10- 8)。

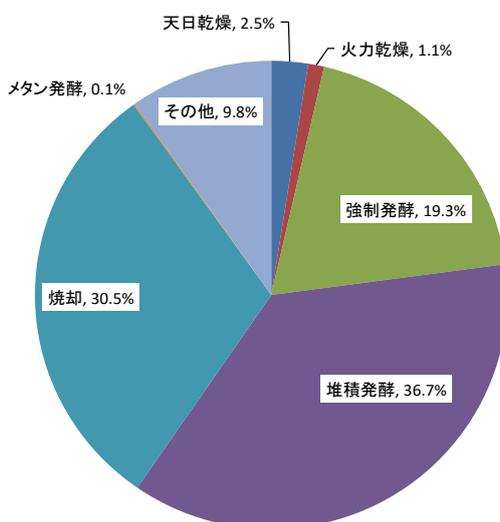


図 10- 5. 排泄物の処理比率⁴⁾

表 10- 6. 排泄物の処理方法別 N₂O 排出係数⁴⁾

単位 : g-N₂O-N/g-N

天日乾燥	0.33%
火力乾燥	2.00%
強制発酵	0.16%
堆積発酵	0.08%
焼却	0.10%
メタン発酵	0.08%
その他	2.00%

表 10- 7. 排泄物中の窒素量と GHG 排出量⁴⁾

処理法	DL-メチオニン添加配合飼料		無添加配合飼料	
	排泄物中の窒素量	GHG 排出量	排泄物中の窒素	GHG 排出量
	g-N/羽(47.1 日)	g-CO _{2e} /羽(47.1 日)	g-N/羽(47.1 日)	g-CO _{2e} /羽(47.1 日)
天日乾燥	1.54	2.38	3.09	4.77
火力乾燥	0.68	6.34	1.36	12.71
強制発酵	11.88	8.90	23.82	17.84
堆積発酵	22.60	8.47	45.29	16.97
焼却	18.78	8.79	37.64	17.63
メタン発酵	0.06	0.02	0.12	0.05
その他	6.03	56.52	12.09	113.26
計	61.58	91.43	123.40	183.23

表 10- 8. 排泄物管理過程における GHG 排出量(飼料 1kg あたり)

	DL-メチオニン添加配合飼料	無添加配合飼料
	(kg-CO _{2e} /kg-飼料)	(kg-CO _{2e} /kg-飼料)
天日乾燥	0.000	0.001
火力乾燥	0.001	0.002
強制発酵	0.002	0.003
堆積発酵	0.002	0.003
焼却	0.002	0.003
メタン発酵	0.000	0.000
その他	0.011	0.022
計	0.018	0.036

7.3 ライフサイクルにおける GHG 排出量

評価対象製品と比較製品のライフサイクルにおける GHG 排出量を表 10- 9 に示す。

評価対象製品 1kg あたりの GHG 排出量は 0.232kg-CO_{2e}、比較製品は 0.250kg-CO_{2e} である。

・配合飼料 1kg あたりの GHG 排出削減貢献量

評価対象製品と比較製品の GHG 排出量の差から算出した GHG 排出削減貢献量は 0.018kg-CO_{2e}/kg-飼料となる。

表 10- 9. 配合飼料 1kg あたりの GHG 排出量と GHG 排出削減貢献量

kg-CO_{2e}/kg-飼料

	評価対象製品	比較製品
原料調達	0.214	0.214
配合	A	A
流通	B	B
飼養	C	C
排泄物処理	0.018	0.036
ライフサイクル全体	0.232	0.250
GHG 排出削減貢献量	▲ 0.018	

注: 四捨五入の影響により数字が一致しない部分がある

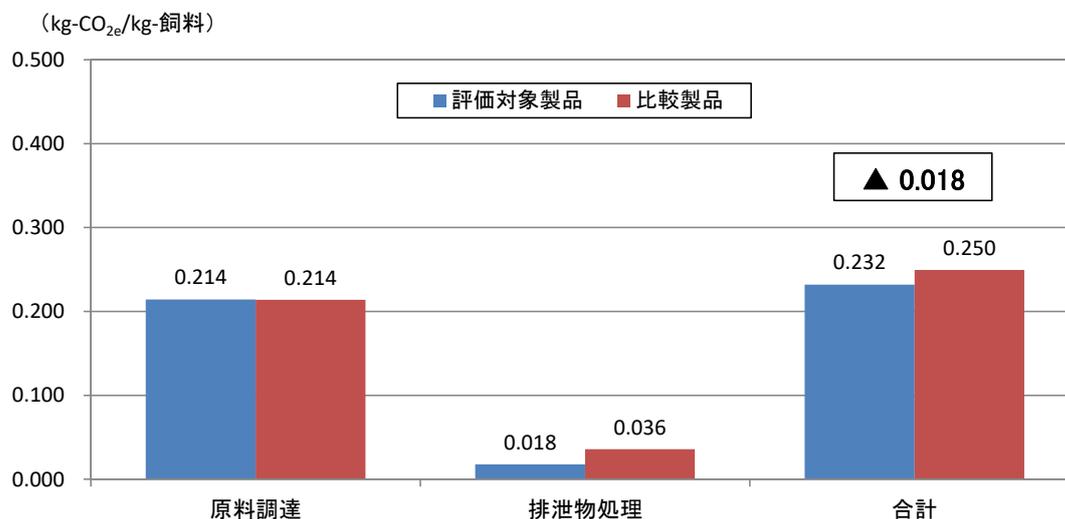


図 10- 6. 配合飼料 1kg あたりの GHG 排出量と GHG 排出削減貢献量

8. 今後の予測

本事例の 2030 年における GHG 排出削減貢献量は、以下の設定に基づいて算定した。

① 評価対象製品の市場規模(見込)

2018 年 700,571 千羽⁵⁾

2030 年 729,095 千羽

2030 年の処理羽数は、食鳥流通統計調査(農林水産省)による 2018 年の処理羽数および OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028 における年平均伸び率(0.33%)をもとに推計した。

表 10- 10. 国内処理羽数の推計

単位:千羽

	2018年 (実績)	2019年 (推計)	2020年 (推計)	2021年 (推計)	2022年 (推計)	2023年 (推計)	2024年 (推計)
年間処理羽数	700,571	704,359	703,940	704,840	707,267	709,431	711,931

	2025年 (推計)	2026年 (推計)	2027年 (推計)	2028年 (推計)	2029年 (推計)	2030年 (推計)
年間処理羽数	715,032	717,791	720,796	724,261	726,674	729,095

②ブロイラー1羽当たりの給餌量(47.1日齢) 5.14kg

③配合飼料1kg 当たりの GHG 排出削減貢献量 0.018 kg-CO_{2e}/kg-飼料

④GHG 排出削減貢献量

配合飼料1kg 当たりの GHG 排出削減貢献量 × 1 羽当たりの給餌量 × 市場規模(見込)

$$= 0.018 \text{ kg-CO}_{2e}/\text{kg} \times 5.14\text{kg}/\text{羽} \times 729,095 \text{ 千羽}$$

$$= 67,431 \times 10^3 \text{ kg-CO}_{2e}$$

$$= 67,431 \text{ t-CO}_{2e}$$

表 10- 11. 2030 年における評価対象製品による GHG 排出削減貢献量

1)2030 年の導入量		
①年間処理羽数の見込み	(千羽)	729,095
②飼料給餌量	(kg/羽)	5.14
③配合飼料消費量(①×②)	(t)	3,746,161
2)導入シナリオに基づく GHG 排出削減貢献量		
・DL-メチオニン添加配合飼料 1kg のライフサイクル GHG 排出削減 貢献量	(kg-CO _{2e} /kg-飼料)	▲0.018
・2030 年の評価対象製品による GHG 排出削減貢献量	(万トン-CO _{2e})	▲6.7

評価対象製品の DL-メチオニン添加配合飼料1kg あたりのライフサイクルにおける GHG 排出量は 0.232kg-CO_{2e} であり、年間消費量の見込みは 3,746,161 トンであることから、評価対象製品の GHG 総排出量は 86.9 万 t-CO_{2e}(0.232kg-CO_{2e}/kg-飼料 × 3,746,161 トン = 869,353t-CO_{2e})となる。

9. 事例(調査)の限界、将来に向けた提言

本事例はブロイラー用配合飼料を評価したものであり、今後の予測は 2030 年の需要予測に基

づいて GHG 排出削減貢献量を算定したものである。したがって、採卵鶏や養豚、養牛といった配合飼料組成の異なる他の家畜種においては個別の評価が必要であり、その結果によっては GHG 排出量の算定結果に違いが生じる。

本評価には含んでいないものの、国立環境研究所の温室効果ガスインベントリ報告書によれば、 N_2O には他にも間接排出と大気沈降からの発生が指摘されている。間接排出については、ふん尿から揮発したアンモニアなどの窒素化合物が大気から土壤に沈着して微生物活動を受けて N_2O が発生するケース、農用地土壤へ施用された肥料に含まれる窒素が硝酸として流出し、微生物の作用により N_2O が発生するケースである。大気沈降については、ふん尿から NH_3 や NO_x として揮散した窒素化合物から N_2O に変化して発生するケースである。

このような間接排出と大気沈降からの N_2O 発生についても潜在的な削減貢献の余地があると考えられる。

10. 課題

配合飼料製造、流通、飼養の段階については、評価対象製品と比較製品において共通のプロセスであり、簡易算定法を用いて GHG 排出量の計算を省略した。省略したプロセスの GHG 総排出量に対する割合を記述する必要があるが、文献調査等によっても、配合飼料製造、流通、飼養の段階の GHG 排出量を算定した事例を把握できなかったため、今後の課題とした。

また養鶏以外の畜産においても、本事例と同様に配合飼料の栄養素を最適化することによって、 N_2O が大気中に放出されるのを抑制することができる可能性があり、他の畜産に関する事例についても今後期待される。

参考文献

- 1) 鶏の改良増殖をめぐる情勢(2019年)農林水産省
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/attach/pdf/niwatori-6.pdf
- 2) 食品関連材料 CO2 排出係数データベース、味の素(株)環境・安全部
- 3) Animal Science Journal 72. (8): J177-199, 2001
- 4) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書(2019年4月) 独立行政法人国立環境研究所
- 5) 食鳥流通統計(農林水産省)

※著作権の帰属について

本著作物の著作権は著作者に帰属し、著作物の一部または全部を無断で複写・複製・転載することを禁じる。なお本著作物の著作者は一般社団法人日本化学工業協会とする。