

食品衛生基準科学研究費補助金(食品安全科学研究事業)
「新たなバイオテクノロジーを用いて得られた食品の安全性確保と
リスクコミュニケーション推進のための研究」
令和6年度 分担研究報告書

リスクコミュニケーションに関する研究

研究分担者 小泉 望 公立大学法人 大阪公立大学 教授

研究要旨

本研究では「ゲノム編集食品」、「細胞性食品(主として“精密発酵”と“細胞培養食品”)」を「新たなバイオテクノロジーを用いて得られた食品」として位置づけ、以下の4つの項目について研究をおこなった。1)国内外におけるゲノム編集食品の開発状況や社会受容の調査。2)ゲノム編集動物の開発とアニマルウェルフェアに関する調査、3)精密発酵の概要(定義や具体例、研究開発動向、規制等)、4)細胞培養食品に関するリスクコミュニケーション用コンテンツのための資料収集と整理。1)については米国を中心にゲノム編集食品の社会実装が進んでいるのに加え英国で小麦等のゲノム編集による品種改良が進み野外試験栽培も行われていることが伺えた。中国でも研究開発が盛んである。EUは規制について各国の合意が充分では無く、目立った研究開発の進展は伺えなかった。2)ゲノム編集動物は家畜を対象に複数の形質が付与されているが、我が国のマダイ、トラフグ、ヒラメ以外の実用化例は無く、アニマルウェルフェアの観点からは反対運動はあるが現時点では意識調査は十分で無いと思われた。3)精密発酵の定義は多岐に渡っており産物も多様で、法規制も国により異なることから、対象物のある程度絞ったリスクコミュニケーションが必要と考えられた。4)培養肉とよばれる細胞性食品は、比較的イメージはしやすく分かり易いコンテンツを作成するための準備を行うことができた。

A. 研究目的

本研究で新たなバイオテクノロジーを用いて得られた食品として位置づけたもののうち「ゲノム編集食品」は社会実装されているが上市されているものは GABA 高蓄積トマト、可食部増量マダイ、高成長トラフグ、高成長ヒラメの4品目に限られている。また、2024年の消費者庁の調査では国民の9割以上がゲノム編集食品を知らないと答えており、ある意味リスクコミュニケーション以前の問題とも言える。従って、ゲノム編集食品に関する情報提供とリスクコミュニケーションがその円滑な社会実装に求められる。従って、国内外のゲノム編集食品の研究開発並びに社会受容の状況を調査することを目的とした。また、ゲノム編集食品は規制の仕組み(事前相談、届出)があるものの、

ゲノム編集動物の評価項目にアニマルウェルフェアの観点を入れる必要があるかどうかについては検討の余地がある。従って、ゲノム編集動物の開発例および国内外での議論を調査することとした。「細胞性食品(主として“精密発酵”と“細胞培養食品(いわゆる培養肉)”)」は概念が必ずしも明確ではなく社会実装のルール作りも進んでいるとは言えない。そこで、細胞性食品については、その定義、具体例、研究開発動向、主に海外の規制について調査した。細胞培養食品は精密発酵よりはイメージしやすく国内で社会実装を求める声も多く、規制の議論も産業界では高まっている。従って、その社会実装を見据えたリスクコミュニケーション用の資料を作成すること目的に調査と整理を行った。

B. 研究方法

国内外のゲノム編集食品の研究開発並びに社会容の状況

2024 年 6 月～2025 年 3 月にかけて、Google 等による定期的な(原則 2 週間に 1 度)WEB 調査によりゲノム編集食品の研究開発、社会受容等と関連のあるニュースをピックアップして整理した。

ゲノム編集動物におけるアニマルウェルフェアに関する調査

2024 年 6 月～2025 年 2 月に Google Scholar および PubMed を用いてゲノム編集動物に関する英語論文を収集しエクセルによりデータベース化した。そのうち技術的論文と社会的論文をピックアップして内容を精査した。さらに 2024 年 11 月～12 月に、Google Scholar、Perplexity、Bing を用いて、「ゲノム編集あるいは genome editing」および「アニマルウェルフェアあるいは animal welfare」というキーワードで論文および各種 WEB サイトを検索した。必要に応じて ChatGPT、Copilot、Sider による要約の後、英語論文に関しては、DeepL により翻訳しエクセルによりデータベース化した。尚、明らかな反対団体によるものや、一個人の主観を綴ったブログ等は取り上げていない。

精密発酵の概要のまとめ

「精密発酵」の定義、用いられている技術、関連する国内外の業界団体の動向、海外における規制や実態、国内外の具体的な製品の研究開発状況等を各種 WEB サイトや FOOVO(フードテックニュースの専門メディア)のレポートなどを用いて調査した。尚、調査は三菱ケミカルリサーチに委託した。

細胞培養食品に関するリスコミ資料の収集と整理

細胞培養食品に関する各種書籍、WEB サイト(細胞農業研究機構、細胞農業協会等)から情

報を収集し整理するとともに写真、画像を含むオンライン公開用のサイトを整備した。

C. 研究結果

1. 国内外のゲノム編集食品の研究開発並びに社会受容の状況

国内外の事例を 58 ピックアップしてエクセルによりデータベース化した(表 1)。総説や原著論文は膨大な数になることから含めず、研究開発状況、規制の整備、産業界の動向、一部反対運動についてもピックアップした。

研究開発動向としては米国では Cibus 社がゲノム編集イネやナタネの試験栽培を行い、Pairwise 社が種なしブラックベリーの開発を進めている。またスタートアップである Pairwise 社は大手コルテバ社と業務提携している。英国では複数の形質を持つゲノム編集コムギの野外試験栽培が行われた。それに伴い、規制の道筋もつつある一方で、EU 諸国の規制の枠組みはまだ確定していない。アジアに目を向ければ中国でゲノム編集作物の研究開発が進められているのに加え、フィリピンやタイでも積極的な姿勢が見られる。

国内では魚類のゲノム編集をてがけるリージョナルフィッシュ社やゲノム編集作物の開発に力を入れるグランドグリーン社への資金提供や連携が進んでいる。また、プラチナバイオ社とキューピーによるアレルギー低減タマゴの社会実装も進んでいるように見える。大学発スタートアップ以外の大手企業による動きは明らかではない。また開発企業や販売企業への反対運動も見られる。ゲノム編集食品への反対のための国会内での院内集会も行われている。社会受容については日本では 9 割以上が知らないといった調査結果が報告されているのに対し中国では 8 割以上がゲノム編集作物に対して好意的、英国でも 3 分の 2 が肯定的とされる。

2. ゲノム編集動物におけるアニマルウェルフェアに関する調査

2024 年 6 月～2025 年 2 月では 2017 年以降の論文から 347 報のゲノム編集動物に関する英語論文を収集しデータベース化した。そのうち技術的論文 43 報(表2)、社会的論文 13 報(表3)を整理した。並行して、2024 年 11 月～12 月に、71 のコンテンツをデータベース化した(表4)。尚、WEB サイトについては、明らかな反対団体によるものや、一個人の主観を綴ったブログ等は取り上げていない。

ゲノム編集動物の対象は基本的に牛、羊、豚、ニワトリなどの家畜と魚である。付与されている形質で多いのは耐病性と成長促進、食品としての品質向上である。牛では耐暑性形質の付与も見られる。ニワトリでは孵化前の雌雄判別が可能となっている。また、低アレルゲン卵を産むニワトリも作られている。アニマルウェルフェアを目的とするものは限定的である。ゲノム編集動物の有名な例に無角牛がある。通常は牛同士が傷つけないために角切が行われているが、牛に痛みを伴う。その回避のために角の無い牛がゲノム編集で開発されているが賛否の意見がある。動物の苦痛を和らげるという観点は賛成であるが、不自然な遺伝子操作であるため反対と言うことである。日本ではミオスタチン破壊による可食部増量マダいの上市が行われているが、野生型と比べ泳ぎ方が劣るため動物虐待に当たるといった議論もある。動物愛護団体は基本的に反対のスタンスである。

3. 精密発酵の概要のまとめ

精密発酵の定義は国内外のシンクタンク、業界団体、規制当局、国際機関等に微妙に異なっていた。大まかにはアルコール発酵やヨーグルト生産等の伝統的な発酵の手法を利用するものの、組換え微生物を使うことが多い。また、生産するのは伝統的な発酵でも作られる色素や酵素もあるが、成長因子や特定のタンパク質など作るケースもある。各国でそれぞれ業界団体があり、精密

発酵の定義を作り規制当局等のステークホルダーとの情報共有、リスクコミュニケーションに努めている。日本ではバイオインダストリー協会および細胞農業研究機構、細胞農業協会がそうした役割を担っている。国際機関としては FAO や UNEP も取扱いに関わっている。精密発酵の産物は様々であるが、乳のタンパク質生産の取組が多い。即ち、ホエイタンパク質の成分である β -グロブリンとカゼインである。こうしたタンパク質を用いて人工乳製品(アイスクリームやチーズ等)が既に実用化されている。上記の標記(人工乳製品)は一般的には認められた呼称ではないことに注意が必要である。有名な企業として Perfect Day(米国)や Remilic(イスラエル)が挙げられる。規制は国によって異なっており、今後のハーモナイゼーションが求められる。

4. 細胞培養食品に関するリスク資料の収集と整理

「細胞性食品ガイド 2025—培養肉のいまと未来—(仮称)」と称したリスク資料を作成するために情報を整理した。細胞性食品という表記は消費者には分かり難いと考えられたため、培養肉を併記して、資料では培養肉として記載を進めた。「前書き」、「作り方」、「おいしさ、食べやすさ」、「流通・価格・市場」、「海外の状況」、「日本のこれから」という章立てとし、文章を作成した。WEB ベースで閲覧可能とする予定であり、令和 7 年度の早い段階で画像データを加え、一般公開を行う。

D. 考察

ゲノム編集農作物の実用化に関しては国内ではサナテックライフサイエンス社の GABA 高蓄積トマトに留まっているが、グランドグリーン社が資金提供を受けるなど研究開発を進めていると考えられる。リージョナルフィッシュ社もやはり資金提供を受けている。米国では辛味成分を抑えたカラシナが実用化されているのに続き複数の品

目が実用化に近い。英国ではコムギを中心に試験栽培が行われ、規制の枠組みも決まりつつある。EU では研究開発、規制整備が停滞気味である。アジアでは中国、東南アジア等がゲノム編集農作物の研究開発に積極的である。ゲノム編集食品に対する国内での認知度は低く(9割以上が知らない)現状説明を含めたリスクコミュニケーションが求められる。

ゲノム編集動物の実用化例は世界的に見て我が国の可食部増量マダイ、高成長トラフグ、高成長ヒラメに限られているが、家畜を対象として複数の形質を付与する試みが行われている。アニマルウェルフェアとの関連に関する論文は非常に少ないものの動物愛護団体からは反発する意見が多く、その対応は今度の課題である。

精密発酵に関しては定義が多様であることからリスクコミュニケーションはかなり複雑になることが予想される。例えば、精密発酵の代表例である人工乳製品などに限ったリスクコミュニケーションから行うのが現実的と考えられる。しかし、規制の枠組みが無い状況でのリスクコミュニケーションには限界がある。

精密発酵と比べると細胞培養食品は比較的概念が定まっているが、細胞性食品は広い意味では精密発酵も含むこと、消費者にはなじみが少ないことなど用語の問題は大きい。精密発酵も同様に規制の枠組みが決まっていなことからリスクコミュニケーションに工夫が必要である。

E. 結論

ゲノム編集農作物に関しては国内外の研究開発動向を引き続き注視しながら、リスクコミュニケーションに必要な情報収集が求められる。その上で、現状のリスクコミュニケーション資料のアップデートも求められる。国民理解が進んでいないことを考えれば分かり易い情報提供サイトの構築も求められる。ゲノム編集動物の規制におけるアニマルウェルフェアの観点も特に海外の研究およ

びそれに対する消費者の態度などを引き続き調査する必要がある。精密発酵についてはリスクコミュニケーションの対象を人工乳製品に限定してリスクコミュニケーションコンテンツの作成を行うことも一つの選択肢である。細胞培養食品については令和 7 年度にはリスクコミュニケーションのための WEB コンテンツを提供し、国民理解増進を図る。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Shineha R., Takeda K.F., Yamaguchi Y. & Koizumi N. A comparative analysis of attitudes towards genome-edited food among Japanese public and scientific community. **PLoS ONE**, 2024, 19, e0300107.
- 2) Yamamoto R., Higuchi S., Iwata, Y., Takeda, S., Koizumi, N. & Mishiba K-I. High β -carotene accumulation in transgenic eggplant fruits grown under artificial light. **Plant Biotechnology**, 2024, 41, 77-81

2. 学会発表

- 1) Koizumi N. Perception gap of genome edited foods in Japan. Global Plant Stress Research Center International Symposium. 韓国 ソウル市、2024 年 9 月 24 日

G. 知的財産権の出願・登録状況

特許取得

該当なし

実用新案登録

該当なし

その他

該当なし

表1 ゲノム編集食品の研究開発、社会受容等と関連のあるニュース

	年月日	タイトル	国	URL
1	2024年6月4日	ペアワイズ社、革新的なCRISPR技術で初の種なしブラックベリーを開発	米国	https://www.pairwise.com/news/pairwise-develops-first-seedless-blackberry
2	2024年6月7日	CRISPRで風味改良された“ゲノム編集サラダ”、今秋一般向け展開も	米国	https://wired.jp/article/gene-edited-salad-greens-fall-pairwise-bayer-crispr-gmo/
3	2024年6月19日	スシロー親会社社長、魚のゲノム編集「広げていくべき」導入は未定	日本	https://news.goo.ne.jp/article/asahi/business/ASS6M24RJS6MPLFA00BM.html#google_vignette
4	2024年6月21日	ゲノム編集について知れば知るほど、安全なものとして受け入れるようになるという研究結果	米国	https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2024.1340398/full
5	2024年6月21日	ゲノム編集技術を用いた農作物の種苗開発を行うグランドグリーン株式会社への出資について	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000034.000111802.html
6	2024年6月27日	次世代ゲノムデザインツールとしての利用が期待	日本	https://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/news/release/20240627.html
7	2024年6月28日	グランドグリーンへのヒューリックの出資	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000019.000046371.html
8	2024年7月1日	ニワトリの性別をタマゴの段階で判別。～オスひよこの殺処分問題の解決につながるか？	日本	https://www.setsurotech.com/official/9563/
9	2024年7月3日	精度と標的柔軟性を高めた一塩基置換(ゲノム編集)に成功	日本	https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20240703-1.html
10	2024年7月3日	フィリピンでゲノム編集バナナの生産、流通が認可	フィリピン	https://www.freshfruitportal.com/news/2024/07/03/new-non-browning-bananas-in-the-philippines/
11	2024年7月	ゲノム編集小麦の野外試験の結果は！ アクリルアミドが45%低下	英国	https://www.rothamsted.ac.uk/news/results-are-gene-edited-wheat-field-trial-delivers
12	2024年7月11日	株式会社スーパーワームと熊本大学が、ゲノム編集技術を用いた新品種開発に向けた共同研究契約を締結	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000003.000121307.html
13	2024年7月12日	海藻類でのゲノム編集による遺伝子導入に世界で初めて成功	日本	https://www.hokudai.ac.jp/news/2024/07/post-1538.html
14	2024年7月25日	遺伝子重複を誘導するゲノム編集技術を開発～複製フォークの操作によりゲノム構造の大規模変化が可能に～	日本	https://www.jst.go.jp/pr/announce/20240725/index.html
15	2024年8月1日	世界初の動物ゲノム編集食品「22世紀タイ」を通して、食と生き物のしくみが学べる児童書ノンフィクションが発刊	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000543.000002535.html
16	2024年8月1日	ゲノム編集でバラを始め様々な農作物のトゲを無くすことに成功したという話題	日本	https://www.cshl.edu/every-rose-has-its-thorns-or-does-it/
17	2024年8月6日	米Cibus社がイネのスタックゲノム編集除草剤耐性形質の初めての圃場試験で良好な結果を	米国	https://investor.cibus.com/news-releases/news-release-details/cibus-achieves-positive-initial-field-trial-results-stacked-gene
18	2024年8月14日	スイスにおけるゲノム編集作物の未来: GMO禁止20年後の挑戦	スイス	https://www.youtube.com/watch?v=j6K-OZ_FvDA
19	2024年8月19日	研究者はゲノム編集穀物の農場への導入に向けて大きく前進	英国	Researchers make significant progress toward bringing gene-edited cereal crops to farms - Food and Drink Technology
20	2024年8月27日	New definition for GM foods in ANZ: Officials propose only those containing novel DNA be considered genetically modified	FSANZ	https://www.foodnavigator-asia.com/Article/2024/08/27/new-definition-for-gm-foods-in-anz-proposal-for-only-those-with-novel-dna-to-be-called-genetically-modified
21	2024年9月5日	三重県の南伊勢町と「リージョナルフィッシュ」が「水産物の種苗開発に関する連携協定」を締結	日本	https://www.isenp.co.jp/2024/09/05/115919/
22	2024年9月10日	Cibus社は、Pod Shatter Reduction（早熟種子散布）低減形質を有する冬蒔きナタネの英国初のほ場試験を完了	米国	https://menafn.com/1108656620/Cibus-Completes-First-Field-Trials-In-UK-For-Pod-Shatter-Reduction-In-Winter-Oilseed-Rape
23	2024年9月17日	コルテバ社とペアワイズ社、ゲノム編集の加速による農業における気候変動への対応推進で提携	米国	https://www.corteva.com/resources/media-center/corteva-pairwise-join-forces-to-accelerate-gene-editing-advance-climate-resilience-in-agriculture.html
24	2024年9月17日	スタンフォード大によるCRISPR教育を安価で身近なものにするキットの開発	米国	https://news.stanford.edu/stories/2024/09/making-crispr-education-affordable-and-accessible
25	2024年9月19日	キュービーへの低アレルギー卵の開発中止を求めるハガキの送付	日本	https://nishoren.net/new-information/20204
26	2024年9月23日	DNAフリーで遺伝子型に依存しない大豆のCRISPR/Cas9 システム	日本	https://academic.oup.com/plphys/advance-article/doi/10.1093/plphys/kiae491/7764170?login=fa
27	2024年9月25日	ノーベル賞受賞者2人が欧州におけるCRISPR特許の取り消しを希望	EU	https://www.technologyreview.com/2024/09/25/1104475/nobel-prize-winners-cancel-crispr-patents-europe/
28	2024年10月1日	遺伝子改変作物、イングランドの農場で初めて栽培へ	英国	https://news.agropages.com/News/NewsDetail---51613.htm
29	2024年10月16日	高小型塊茎数ジャガイモがゲノム編集食品として届出	日本	https://www.caa.go.jp/policies/policy/standards_evaluation/bio/genome_edited_food/list

	年月日	タイトル	国	URL
30	2024年10月23日	日持ちの良いトマトと貯蔵タンパク質を改変したオオムギの文部科学省への情報提供	日本	https://www.mext.go.jp/a_menu/lifescience/bioethics/mext_02730.html
31	2024年10月23日	ゲノム編集技術応用食品の表示等について更なる検討を求める意見書 兵庫県議会	日本	https://web.pref.hyogo.lg.jp/gikai/teireikai/r06/r6_368/ikensho/ikensho_41.html
32	2024年10月29日	大規模な代謝改変により異種天然物の生産能力を大幅に増強した麹菌を開発	日本	https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20241029-1.html
33	2024年10月30日	中国の消費者はゲノム編集食品に対してポジティブである	中国	https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/ged/article/default.asp?ID=21058
34	2024年11月1日	AIを活用した植物のプロモーター領域のゲノム編集に関するプラットフォーム技術（Promoter AI™）の基本特許が日本で成立	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000016.000090699.html
35	2024年11月5日	Cibus社、除草剤耐性（HT2）形質が新規除草剤に対する耐性を示すことを確認	米国	https://www.bakersfield.com/ap/news/cibus-confirms-its-herbicide-tolerance-ht2-trait-shows-increased-tolerance-to-a-novel/article_25c67347-330b-5b13-9a26-4a69443212c7.html
36	2024年11月13日	収穫量を減らすことなく糖度をトマトの糖度を上げることに成功	中国	https://www.theguardian.com/science/2024/nov/13/tomatoes-gene-editing-sweeter-fruit
37	2024年11月14日	ERC（European Research Council）によって予算を付けられた研究者はCRISPR/Casによるゲノム編集の研究を迅速に進めている	EU	https://erc.europa.eu/news-events/news/report-erc-funded-researchers-lead-rapid-use-crisprcas-gene-editing
38	2024年11月21日	フィリピンでのGM作物およびGE作物に関する啓発キャンペーン	フィリピン	https://www.manilatimes.net/2024/11/21/campus-press/up-launches-educ-campaign-on-genetic-modification/2008266
39	2024年12月3日	消費者庁の調査ではゲノム編集食品を「知らない」消費者は9割以上	日本	https://www.asahi.com/articles/DA3S16097863.html
40	2024年12月6日	「表示して！ゲノム編集食品 地方から国に声を届けよう～」	日本	http://www.labonetjp.org/EventItem/1731591640078staff01
41	2024年12月11日	A technical approach to global plant genome editing regulation	世界	https://www.nature.com/articles/s41587-024-02489-5
42	2024年12月17日	ゲノム編集植物に関するFDAの新たなガイダンスが簡素化した対応を可能に	米国	https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2024/12/17/fdas-guidance-introduces-pre-market-process-for-genome-edited-plants/
43	2024年12月21日	AIとCRISPRの組み合わせが世界を変える——特集「THE WORLD IN 2025」	米国	https://www.wired.com/story/combining-ai-and-crispr-will-be-transformational/
44	2024年12月26日	リージョナルフィッシュ、シリーズCで約40億円の資金調達を実施	日本	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000031.000060432.html
45	2024年12月30日	ゲノム編集豚肉がそのうち市場に出る？	米国	https://mynbc15.com/news/offbeat/gene-edited-pork-soon-eat-would-you-pigs-genetically-modified-genetic-editing-science-study-research-scientist-meat-food-store-shelves-united-states-farm-farmers-livestock-disease-resistant
46	2024年12月31日	China approves more GM crops to boost yields, ensure food security	中国	https://www.reuters.com/markets/commodities/china-approves-more-gm-crops-boost-yields-ensure-food-security-2024-12-31/
47	2025年1月3日	タイ、農業分野のリーダーシップ強化に向けてゲノム編集を進める	タイ	https://thainews.prd.go.th/nbtworld/news/view/806751/?bid=1
48	2025年1月22日	次世代シーケンサーを用いた外来DNA検出法(k-mer法)解析ツール"GenEditScan"を公開	日本	https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/naac/167351.html
49	2025年1月22日	ゲノム編集でアレルゲンを欠損したニワトリの卵 通常とほぼ同等の特性を確認	日本	https://univ-journal.jp/251209/
50	2025年2月7日	ゲノム編集食品は安全なのか？【2/21】日消連、ゲノム編集養殖魚で院内集会	日本	https://wellness-news.co.jp/posts/250207-6-2/
51	2025年2月10日	アフリカでもバナナの病気に対してゲノム編集技術が有効	アフリカ	https://genedititeracyproject.org/2025/02/10/how-crispr-could-revolutionize-banana-farming-and-sustainable-agriculture-in-africa/
52	2025年2月12日	Scientists Develop Gene Editing Method to Reduce Corn Plant Height	中国	https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=21206
53	2025年2月14日	中国、バイオテクノロジーイニシアティブでゲノム編集ツール、新品種開発へ	中国	https://www.reuters.com/world/china/chinas-agriculture-ministry-issues-guidelines-promote-biotech-cultivation-2025-02-14/
54	2025年2月20日	ゲノム編集食品に対する消費者の受容：知識、信頼、情報の役割	米国	https://ruralradio.com/kbear/news/consumer-acceptance-of-gene-edited-food-the-role-of-knowledge-trust-and-information/
55	2025年2月28日	英国がゲノム編集作物への道を明らかに	英国	https://www.feednavigator.com/Article/2025/02/28/uk-policy-makers-advance-gene-editing-regulation-for-crops/
56	2025年3月7日	ゲノム編集による褐変化しにくいバナナはフードロスを減らすことにつながる（研究者の弁）	英国	https://www.theguardian.com/science/2025/mar/07/gene-edited-non-browning-banana-cut-food-waste-tropic-norwich
57	2025年3月14日	EU諸国、作物に対する新しいゲノム編集のルールに関する合意へ	EU	https://www.euractiv.com/section/agriculture-food/news/eu-countries-back-compromise-on-new-gene-editing-rules-for-crops/
58	2025年3月28日	フロリダ大の新しい研究は、柑橘類のゲノム編集に対する消費者の反応を探ることになる	米国	https://www.freshfruitportal.com/news/2025/03/28/new-study-will-explore-consumer-response-to-genetic-editing/

表2 ゲノム編集動物に関する技術的論文

目的	No	タイトル	発表年	対象動物	目的遺伝子	国	ゲノム編集技術	主な成果	課題
技術の確立	1	Cytosine Base Editor (hA3A-BE3-NG)-Mediated Multiple Gene Editing for Pyramid Breeding in Pigs (豚のピラミッド育種のためのシトシン塩基編集ツール(hA3A-BE3-NG)を用いた複数遺伝子編集)	2020	ブタ	CD163 MSTN APN MC4R	中国	hA3A-BE3-NG	・hA3A-BE3-NGの有効性 ・複数遺伝子の同時編集に成功	・オフターゲット効果の存在 ・生体内での応用研究不足
	2	Generation of mutant pigs by lipofection-mediated genome editing in embryos (リポフェクション媒介型ゲノム編集による変異豚の生成)	2021	ブタ	MSTN	日本	CRISPR/Cas9	・リポフェクションを用いた簡便かつ低コストな CRISPR/Cas9 遺伝子編集の成功 ・オフターゲット効果なし	・モザイク変異の発生 ・編集効率の向上
	3	The genomes of precision edited cloned calves show no evidence for off-target events or increased de novo mutagenesis (精密に遺伝子編集されたクローン牛のゲノムにおいて、オフターゲット変異や新規変異 (de novo 変異) の増加は確認されなかった)	2021	ウシ	PMEL	ニュージーランド	CRISPR/Cas9	・オフターゲット効果なし ・新規変異 (de novo mutation) の増加なし	・細胞培養やクローン作成プロセスによる変異の影響 ・他の生殖技術との比較における新規変異率
	4	Generation of double knockout cattle via CRISPR-Cas9 ribonucleoprotein (RNP) electroporation (CRISPR-Cas9 リボヌクレオプロテイン (RNP) エレクトロポレーションによるダブルノックアウト牛の生成)	2023	ウシ	MSTN PRNP BLG	韓国	CRISPR/Cas9	・エレクトロポレーションによる効率的な遺伝子編集 ・ダブルノックアウト牛の生成成功 ・健康に問題がないこと、オフターゲットがないことの確認 ・非 GMO としての可能性	・モザイク変異の発生リスク ・PRNP 変異の効率の低さ
	5	Versatile generation of precise gene edits in bovines using SEGCPN (SEGCPN を用いたウシにおける多用途で正確な遺伝子編集の生成)	2023	ウシ	MSTN SRY CSN1	中国	CRISPR/Cas9、TALEN	・精密な遺伝子編集の実現 ・不要配列の自己除去成功	・SCNT (体細胞核移植) への依存 ・オフターゲット効果の低減
	6	Multiplexed genome engineering for porcine fetal fibroblasts with gRNA-tRNA arrays based on CRISPR/Cas9 (CRISPR/Cas9 に基づく gRNA-tRNA アレイを用いた豚胎児線維芽細胞の多重ゲノム編集)	2023	ブタ	IGFBP3 MSTN MC4R SOCS2	中国	GTR-CRISPR	・GTR-CRISPR の有効性の実証 ・複数遺伝子の同時編集の成功	・各遺伝子の編集効率のばらつき ・複数遺伝子編集の副作用の可能性 ・生体内での応用研究不足
成長促進	7	Efficient Generation of Myostatin Mutations in Pigs Using the CRISPR/Cas9 System (CRISPR/Cas9 システムを使用したブタでの効率的なミオスタチン変異の作製)	2015	ブタ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・筋肉量の増加を確認 ・高い編集効率 ・オフターゲット効果が最小限	・HDR (相同組換え修復) の効率が低い ・モザイク変異の存在
	8	Isozygous and selectable marker-free MSTN knockout cloned pigs generated by the combined use of CRISPR/Cas9 and Cre/LoxP (CRISPR/Cas9 と Cre/LoxP を組み合わせて作製された同型接合かつ選択マーカー遺伝子を含まない MSTN ノックアウトクローン豚)	2016	ブタ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・CRISPR/Cas9 による高効率な MSTN ノックアウト ・Cre/LoxP システムによる選択マーカー遺伝子 (SMG) の効率的削除 ・筋肉量の増加と脂肪量の減少	・SCNT (体細胞核移植) の低効率
	9	Targeted disruption of sp7 and myostatin with CRISPR-Cas9 results in severe bone defects and more muscular cells in common carp (CRISPR-Cas9 を用いた sp7 およびミオスタチンの標的破壊は、コイにおいて深刻な骨欠損と筋肉細胞の増加を引き起こす)	2016	魚	MSTN sp7	中国	CRISPR/Cas9、TALEN	・高効率な変異誘発 ・筋肉繊維が肥大 ・多遺伝子同時編集の実証 ・骨の欠損 (特に頭蓋骨と背骨に欠損)	・表現型のばらつき ・sp7a 変異による骨形成障害
	10	Generation of Myostatin Gene-Edited Channel Catfish (Ictalurus punctatus) via Zygote Injection of CRISPR/Cas9 System (CRISPR/Cas9 システムを用いた受精卵注入によるミオスタチン遺伝子編集チャネルキャットフィッシュ (Ictalurus punctatus) の生成)	2017	魚	MSTN	アメリカ	CRISPR/Cas9	・筋肉成長と体重の増加 ・遺伝子変異 (複数の挿入・欠失) の具体的な確認	・商業的応用に向けたさらなる研究の必要性
	11	Editing porcine IGF2 regulatory element improved meat production in Chinese Bama pigs (中国のバマ豚における IGF2 遺伝子調節領域の編集により肉生産量が向上)	2018	ブタ	IGF2	中国	CRISPR/Cas9	・IGF2 遺伝子のイントロン 3-3072 領域編集による成長促進 ・筋肉繊維の肥大による筋肉量の増加 ・非コード領域編集の有効性	・長期的影響の評価不足
	12	Generation of myostatin-knockout chickens mediated by D10A-Cas9 nickase (D10A-Cas9 ニッカゼを介したミオスタチンノックアウト鶏の作製)	2020	ニワトリ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・胸筋および脚筋の重量の増加 ・脂肪沈着量が減少 ・D10A-Cas9 ニッカゼの実用性	・筋肉成長の性差と部位差 ・鶏におけるゲノム編集の技術的困難さ
	13	Effective MSTN Gene Knockout by AdV-Delivered CRISPR/Cas9 in Postnatal Chick Leg Muscle (アデノウイルス (AdV) を用いた CRISPR/Cas9 による MSTN 遺伝子ノックアウトの効果: 孵化後ヒヨコ脚筋における研究)	2020	ニワトリ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・AdV を用いた MSTN 遺伝子ノックアウトの成功 ・重要なシグナル経路と遺伝子の特定	・対照群の設計の不十分さ ・長期的影響の評価不足
	14	Myostatin regulates fatty acid desaturation and fat deposition through MEF2C/miR222/SCD5 cascade in pigs (ミオスタチンは、MEF2C/miR222/SCD5 カスケードを介して豚における脂肪酸の不飽和化と脂肪蓄積を調節する)	2020	ブタ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・MSTN (ミオスタチン) の脂肪代謝における役割の解明 ・脂肪蓄積の減少 ・脂肪酸の不飽和化の減少	・遺伝子編集の効率と精度の課題 ・筋肉量と筋内脂肪含量のトレードオフ
	15	Integrated Microbiome and Metabolome Analysis Reveals a Positive Change in the Intestinal Environment of Myostatin Edited Large White Pigs (統合的な微生物叢およびメタボローム解析により、ミオスタチン編集大型白豚の腸内環境における肯定的な変化が明らかになる)	2021	ブタ	MSTN	中国	-	・MSTN 変異型での腸内微生物叢の変化 ・代謝物構成の変化 ・微生物と代謝物の相関	・腸内微生物叢の変化と観察された代謝の改善との因果関係の特定

目的	No	タイトル	発表年	対象動物	目的遺伝子	国	ゲノム編集技術	主な成果	課題
成長促進	16	Viscera Characteristics of MSTN-Edited Heterozygous Pigs(MSTN 編集ヘテロ接合豚の内臓特性)	2022	ブタ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・筋肉量増加の利点と内臓特性の正常性 ・MSTN+/-豚の健康リスクの低さ	・繁殖能力などに影響があるかなどの調査の必要性
	17	Long-term, multidomain analyses to identify the breed and allelic effects in MSTN-edited pigs to overcome lameness and sustainably improve nutritional meat production(長期的かつ多領域の分析により、MSTN 編集された豚における品種および対立遺伝子の影響を特定し、跛行を克服して持続可能性を実現する)	2022	ブタ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・後肢虚弱性の克服 ・肉質と栄養価の向上 (多価不飽和脂肪酸・タンパク質含有量が高く、脂肪含有量が低い) ・赤身肉率の向上 ・飼料効率(FCR)の維持	・遺伝的背景の影響に関するさらなる研究の必要性
	18	Growth Traits and Sperm Proteomics Analyses of Myostatin Gene-Edited Chinese Yellow Cattle(ミオスタチン遺伝子編集を施した中国黄牛の成長特性と精子プロテオミクス解析)	2022	ウシ	MSTN	中国	CRISPR/Cas9	・体重増加 ・精子運動性の向上 ・正常な繁殖能力	・冷凍精子の品質低下 ・代謝への影響の確認
	19	Myostatin Mutation Enhances Bovine Myogenic Differentiation through PI3K/AKT/mTOR Signalling via Removing DNA Methylation of RACK1(ミオスタチン変異は、RACK1 の DNA メチル化を除去することで PI3K/AKT/mTOR シグナル伝達を介し、牛の筋分化を促進する)	2022	ウシ	MSTN	中国	-	・MSTN の欠失による DNA 脱メチル化酵素が活性化 ・RACK1 遺伝子の役割の特定 ・MSTN 欠失による筋分化促進に PI3K/AKT/mTOR 経路が重要	・他のシグナル経路の可能性 ・エビジェネティクスのメカニズムの詳細
	20	Effects of Myostatin b Knockout on Offspring Body Length and Skeleton in Yellow Catfish (Pelteobagrus fulvidraco)(ミオスタチン b ノックアウトが黄鰻魚(Pelteobagrus fulvidraco)の子孫の体長と骨格に与える影響)	2023	魚	MSTN	中国	TALEN	・mstnb ノックアウトによる体長短縮 ・骨格構造の変化 ・成長性能の低下 ・mstnb 遺伝子の役割の解明	・遺伝子機能の研究が不十分である場合における予期しない影響が生じる可能性
	21	Alterations in the fillet quality of myostatin-knockout red sea bream Pagrus major: Preliminary insights into nutritional, compositional, and textural properties(ミオスタチン欠損型マダイのフィレ品質の変化:栄養、組成、およびテクスチャー特性に関する予備的知見)	2024	魚	MSTN	日本	CRISPR/Cas9	・MSTN 変異マダイのフィレ品質の向上(保水力・柔らかさ・栄養成分) ・筋繊維の肥大化 ・経済的・実用的意義	・脂質代謝における MSTN の役割の解明不足
疫病耐性	22	TALE nickase-mediated SP110 knockin endows cattle with increased resistance to tuberculosis (TALE ニッカーゼを介した SP110 ノックインがウシに結核耐性を向上)	2015	ウシ	SP110	中国	TALEN	・結核耐性の向上 ・壊死性病変が抑制され、アポトーシスが優勢になる ・SP110 遺伝子のマクロファージ特異的発現と遺伝性	・SP110 の他の細胞や全身的な影響の検証
	23	Precision engineering for PRRSV resistance in pigs: Macrophages from genome edited pigs lacking CD163 SRCR5 domain are fully resistant to both PRRSV genotypes while maintaining biological function(PRRS ウイルス耐性のための精密工学:CD163 SRCR5 ドメインを欠損したゲノム編集ブタ由来のマクロファージは、PRRS ウイルスの両方の遺伝子型に完全に耐性を示し、生物学的機能を維持)	2017	ブタ	CD163	イギリス	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・健康状態の維持	・SRCR5 ドメインの削除の他の影響の検証
	24	Pigs Lacking the Scavenger Receptor Cysteine-Rich Domain 5 of CD163 Are Resistant to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus 1 Infection(CD163 のスカベンジャーレセプターシステインリッチドメイン 5 を欠損した豚は豚繁殖・呼吸器症候群ウイルス 1 型感染に耐性を持つ)	2018	ブタ	CD163	イギリス	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・CD163 の他の機能の保持	・サイトカインに関するさらなる研究が必要
	25	Highly Efficient Generation of Pigs Harboring a Partial Deletion of the CD163 SRCR5 Domain, Which Are Fully Resistant to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus 2 Infection (CD163 SRCR5 ドメインの部分欠失を持ち、豚繁殖・呼吸器症候群ウイルス 2 型感染に完全に耐性を持つ豚の高効率な作製)	2019	ブタ	CD163	中国	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・CD163 の生理学的機能の維持 ・免疫応答の正常性	・他の感染症に対する応答や、成長、繁殖、その他の表現型の特徴の評価
	26	Generation of Pigs Resistant to Highly Pathogenic-Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus through Gene Editing of CD163(CD163 の遺伝子編集による高病原性豚繁殖・呼吸器症候群ウイルス(HP-PRRSV)耐性豚の作出)	2019	ブタ	CD163	中国	CRISPR/Cas9	・PRRSV 耐性の向上 ・CD163 の生理学的機能の維持	・一部の編集豚で耐性効果が弱い ・PRRSV 以外の病原体への影響が未検証
	27	CD163 and pAPN double-knockout pigs are resistant to PRRSV and TGEV and exhibit decreased susceptibility to PDCoV while maintaining normal production performance(CD163 および pAPN ダブルノックアウトブタは PRRSV および TGEV に耐性を持ち、PDCoV への感受性が低下する一方で正常な生産性を維持)	2020	ブタ	CD163 pAPN	中国	CRISPR/Cas9	・PRRSV および TGEV に対する完全耐性 ・PDCoV に対する感受性の低下 ・生産性能への影響なし	・大規模な生産性試験の実施 ・PDCoV に対するさらなる耐性メカニズムの解明
	28	Acquiring Resistance Against a Retroviral Infection via CRISPR/Cas9 Targeted Genome Editing in a Commercial Chicken Line(CRISPR/Cas9 を用いた商業用ニワトリ系統におけるレトロウイルス感染耐性の獲得)	2020	ニワトリ	NHE1	ドイツ	CRISPR/Cas9	・ALV-J 完全耐性 ・ゲノム編集による健康・成長への影響がない ・CRISPR/Cas9 の高精度な編集効率	・CB 系統での研究の限界
	29	HMEJ-based safe-harbor genome editing enables efficient generation of cattle with increased resistance to tuberculosis(HMEJ ベースのセーフハーバーゲノム編集により、結核抵抗性が向上したウシの効率的な生成が可能に)	2021	ウシ	NRAMP1	中国	CRISPR/Cas9	・HMEJ 法の高効率性 ・bROSA26 遺伝子座の GSH(ゲノムの安全なハーバー)としての有用性 ・結核抵抗性の向上	・HMEJ 経路のメカニズム解明 ・大規模なオフターゲット解析の必要性 ・効率向上のさらなる検討
	30	Generation of a Commercial-Scale Founder Population of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus Resistant Pigs Using CRISPR-Cas(CRISPR-Cas を使用して作製された豚繁殖・呼吸器症候群ウイルス耐性豚の商業規模創始集団の生成)	2024	ブタ	CD163	アメリカ	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・健康および生産性の維持 ・商業規模での成功 ・E1 世代および E2 世代でのオフターゲット効果排除	・モザイク動物の発生 ・編集効率の向上

目的	No	タイトル	発表年	対象動物	目的遺伝子	国	ゲノム編集技術	主な成果	課題
疫病耐性	31	Pigs lacking the SRCR5 domain of CD163 protein demonstrate heritable resistance to the PRRS virus and no changes in animal performance from birth to maturity (CD163 タンパク質の SRCR5 ドメインを欠くブタは、PRRS ウイルスに対する遺伝性の耐性を示し、生まれてから成熟するまで動物のパフォーマンスに変化がない)	2024	ブタ	CD163	アメリカ	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・成長、繁殖、肉質、成分へのゲノム編集による影響がない	・PRRSV 以外の病原体への影響が未検証
	32	Rapid adaptive evolution of avian leukosis virus subgroup J in response to biotechnologically induced host resistance (生物工学的に誘導された宿主耐性に対する鳥類白血病ウイルスサブグループ J の迅速な適応進化)	2024	ニワトリ	NHE1	チェコ	CRISPR/Cas9	・ΔW38 変異による耐性をウイルスが克服 ・ウイルスの適応進化の迅速性 ・広範な受容体改変の有効性	・単一アミノ酸改変の限界 ・ウイルスの適応進化のリスク
	33	Genetically modified pigs lacking CD163 PSTII-domain-coding exon 13 are completely resistant to PRRSV infection (遺伝子改変により CD163 PSTII ドメインをコードするエクソン 13 を欠損したブタは PRRSV 感染に完全耐性を持つ)	2024	ブタ	CD163	アメリカ	CRISPR/Cas9	・PRRSV 完全耐性 ・CD163 の生理機能の維持	・PRRSV 以外の病原体への影響 ・商業的利用に向けた追加評価の必要性 ・長期的影響の不明確さ
	34	Genetically modified pigs with CD163 point mutation are resistant to HP-PRRSV infection (CD163 点変異を持つ遺伝子改変豚は高病原性 PRRS ウイルス感染に耐性を持つ)	2024	ブタ	CD163	中国	CRISPR/Cas9	・PRRSV 抵抗性の向上 ・CD163 の生理機能の維持	・他の PRRSV 株への有効性 ・長期的影響の評価
食品品質向上	35	Site-Specific Fat-1 Knock-In Enables Significant Decrease of n-6PUFAs/n-3PUFAs Ratio in Pigs (サイト特異的な Fat-1 ノックインにより、豚の n-6PUFAs/n-3PUFAs 比を大幅に低減)	2018	ブタ	Fat-1	中国	CRISPR/Cas9	・n-6PUFAs/n-3PUFAs 比の大幅な改善 ・Fat-1 遺伝子の安定発現 ・次世代への遺伝子伝達 ・バイオセーフティの向上	・長期的な安全性と健康効果の未検証
	36	Production of hypoallergenic milk from DNA-free beta-lactoglobulin (BLG) gene knockout cow using zinc-finger nucleases mRNA (ジンクフィンガーヌクレアーゼ mRNA を使用した DNA フリーの β-ラクトグロブリン (BLG) 遺伝子ノックアウト牛を用いた低アレルギー性牛乳の生産)	2018	ウシ	BLG	中国	ZFN	・BLG 遺伝子の完全ノックアウト ・低アレルギー性の獲得 ・オフターゲット効果なし	・BLG 以外のアレルギーの影響
	37	Cattle with a precise, zygote-mediated deletion safely eliminate the major milk allergen beta-lactoglobulin (正確な接合子段階での欠失により主要な牛乳アレルギーである β-ラクトグロブリンを安全に除去した牛)	2018	ウシ	BLG	ニュージーランド	TALEN	・BLG フリー牛乳の生成 ・オフターゲット効果なし ・乳成分の変化	・短縮型 BLG タンパク質の残存 ・乳成分の変化への対応
	38	Production and characterization of eggs from hens with ovomucoid gene mutation (オボムコイド遺伝子変異を持つ鶏からの卵の生産と特性評価)	2021	ニワトリ	OVM	日本	CRISPR/Cas9	・オボムコイド (OVM) の発現をほぼ完全に除去 ・卵の正常な生産性と孵化能力 ・オフターゲット効果なし	・卵白の物理的特性的変化 ・短縮型 OVM 変異体の存在
環境耐性	39	Production of light-coloured, low heat-absorbing Holstein Friesian cattle by precise embryo-mediated genome editing (胚を介した正確なゲノム編集による、淡色で低熱吸収のホルスタイン種牛の作出)	2023	ウシ	PMEL	ニュージーランド	TALEN	・淡色被毛 (灰色と白色) 牛の作出に成功 ・熱吸収の低減 ・ゲノム編集の効率性	・モザイク型、意図しない変異の発生 ・編集済み胚の妊娠成功率の低さ
	40	Consequences of gene editing of PRLR on thermotolerance, growth, and male reproduction in cattle (PRLR の遺伝子編集が牛の熱耐性、成長、および雄の繁殖能力に与える影響)	2024	ウシ	PRLR	アメリカ	CRISPR/Cas9	・熱耐性の向上 ・成長促進 ・繁殖能力への影響なし	・ジャージー種のデータ不足
動物福祉	41	Comparison of gene editing versus conventional breeding to introgress the POLLED allele into the US dairy cattle population (POLLED 遺伝子を米国酪農牛の集団に導入するための遺伝子編集と従来の育種の比較)	2019	ウシ	POLLED	アメリカ	-	・ゲノム編集の有効性、育種の迅速化 ・経済的利点の維持	・遺伝的多様性の維持
	42	CRISPR/Cas9-editing of KISS1 to generate pigs with hypogonadotropic hypogonadism as a castration free trait (去勢不要な特性として低性腺刺激ホルモン性性腺機能低下症を持つ豚を作出するための KISS1 の CRISPR/Cas9 編集)	2023	ブタ	KISS1	アメリカ	CRISPR/Cas9	・KISS1 遺伝子編集による性成熟の抑制 ・体重や成長への影響なし	・モザイク型の発生 ・部分的な KISS1 破壊による性成熟の進行 ・KISS1 KO 豚の繁殖能力の回復方法が未解決
	43	Simulation of dual-purpose chicken breeding programs implementing gene editing (遺伝子編集を実装した二重目的鶏の育種プログラムのシミュレーション)	2024	ニワトリ	-	ドイツ	-	・ゲノム編集による遺伝的進歩の加速 ・編集数が少ない場合の健康形質への影響 ・遺伝的多様性の維持 ・レイヤー鶏とブロイラー鶏の交配を基盤としたシナリオの有効性	・編集数が多い場合の健康への悪影響

表3 ゲノム編集動物に関する社会的論文

No	タイトル	発表年	対象動物	目的遺伝子	国	主な成果	課題
1	Economic considerations of breeding for polled dairy cows versus dehorning in the United States(アメリカにおける無角乳牛の繁殖と除角の経済的考察)	2017	ウシ	POLLED	アメリカ	・除角のコスト評価 ・無角遺伝子の導入コスト評価	・無角遺伝子の遺伝的優位性の低さ ・ゲノム編集技術の初期導入コスト ・ゲノム編集技術の規制と受容性
2	Predicting Public Attitudes Toward Gene Editing of Germlines: The Impact of Moral and Hereditary Concern in Human and Animal Applications(生殖細胞系の遺伝子編集に対する一般的な態度の予測: 人間および動物応用における倫理的および遺伝的懸念の影響)	2019	-	-	オーストラリア	・応用分野による支持の違い (食用動物への遺伝子編集は、支持が低い) ・個人属性による態度の違い ・倫理的懸念と遺伝的懸念の独立性 ・政策・教育への示唆	・倫理的・遺伝的懸念の克服 ・応用分野間の支持のギャップ ・一般市民の理解不足
3	Public attitudes towards genetically modified polled cattle(遺伝子改変された無角牛に対する世論の態度)	2019	ウシ	POLLED	アメリカ	・公衆の態度に関する肯定的な傾向 ・社会的望ましさバイアスの最小化 ・リスクと利益の認識は負の相関 ・ゲノム編集技術の認知度の低さ	・技術に対する懸念の存在 ・認知度向上の必要性
4	Public attitudes toward genetic modification in dairy cattle(乳牛における遺伝子改変に対する一般市民の態度)	2019	ウシ	-	カナダ	・疫病耐性の改変が無角化より肯定的 ・動物福祉を目的とした場合の支持が最も高い ・知識が多い参加者は肯定的な態度を示す傾向がある	・「不自然さ」や「倫理的懸念」への対応 ・目的が明示されない場合の否定的態度
5	Is gene editing an acceptable alternative to castration in pigs?(遺伝子編集は豚の去勢に対する受け入れ可能な代替手段となり得るか?)	2019	ブタ	KISSR	ブラジル	・リスク認識が高いほど受容性が低下 ・利益認識が高いほど受容性が向上 ・農業環境で育った参加者は、より懐疑的で受容性が低い ・多くの参加者がゲノム編集に関する情報不足を実感 ・「動物福祉を向上させるなら」という条件付きでの支持	・倫理的懸念の存在 ・未知のリスク ・情報の透明性の不足
6	Public Perceptions Regarding Genomic Technologies Applied to Breeding Farm Animals: A Qualitative Study(家畜の繁殖に適用されるゲノム技術に関する一般市民の認識: 質的研究)	2021	-	-	イギリス	・動物福祉や環境持続性を向上させる目的の技術は、肯定的に評価 ・商業的利益や生産性向上を主目的とした技術は否定的に捉えられる傾向 ・遺伝子組換えと比べ、ゲノム編集技術は比較的「自然に近い」と見なされ、受け入れられやすい ・倫理的懸念が受容性に大きく影響	・規制の整備と信頼構築 ・技術のリスクに対する懸念 ・技術の使用が商業的利益の場合への不信感
7	Public perceptions of potential adaptations for mitigating heat stress on Australian dairy farms(オーストラリアの酪農場における熱ストレス緩和策に対する公衆の認識)	2022	ウシ	-	オーストラリア	・ゲノム編集技術を用いたシステムへの評価は低い ・倫理的懸念の存在 ・ゲノム編集技術を用いて生産された牛乳に対する購入意欲は低い	・公衆の倫理的懸念への対応 ・技術に対する信頼の確立 ・公衆の価値観とのギャップ
8	Right on the money? U.S. dairy farmers' varied understanding of consumer preferences and attitudes towards animal health, welfare and biotechnology(正確に理解しているのか? アメリカの酪農家による消費者の嗜好と動物の健康、福祉、バイオテクノロジーに対する態度の多様な理解)	2023	ウシ	-	アメリカ	・消費者のゲノム編集使用商品の購買意欲に対する認識のズレ ・痛みを伴わない除角に関する認識の一致	・遺伝子編集技術に対する消費者態度の誤解 ・消費者購買意欲と投票行動の違いへの対応不足 ・調査データの言語や文脈の違いによる誤解の可能性がある
9	Public attitudes toward the use of technology to create new types of animals and animal products(技術を使用して新しい種類の動物や動物製品を作り出すことに対する一般市民の態度)	2023	-	-	カナダ	・動物福祉の観点が支持を左右 ・倫理的懸念の重要性 ・トレードオフ思考の存在	・技術に対する拒否感 ・一般市民の意識と技術開発のギャップ
10	Enhancing Animals is "Still Genetics": Perspectives of Genome Scientists and Policymakers on Animal and Human Enhancement(動物の強化は「依然として遺伝学」: ゲノム科学者と政策立案者による動物および人間の強化に関する視点)	2024	-	-	アメリカ	・動物のゲノム編集は「依然として遺伝学」として認識 ・動物ゲノム編集の環境への貢献	・動物福祉の向上が目的とされる一方で、その改善が主に人間の利益中心に議論 ・倫理的配慮の欠如 ・環境への影響に関する不確実性 ・社会的議論の不足
11	Gene editing in animals: What does the public want to know and what information do stakeholder organizations provide?(動物における遺伝子編集: 一般市民が知りたいことと、利害関係者が提供する情報)	2024	-	-	カナダ	・一般市民の関心と質問の傾向 ・一般市民の関心と FAQ ページとのギャップ ・一般市民はリスクと倫理的懸念に関心	・FAQ ページの情報不足 ・市民との対話不足 ・倫理的・社会的懸念への対応不足
12	Attitudes of western Canadian dairy farmers toward technology(西カナダの酪農家の技術に対する態度)	2024	-	-	カナダ	・ゲノム編集技術は議論が少ない段階 ・一部の農家は受け入れの可能性を示唆	・未知のリスクと倫理的な問題 ・消費者信頼の確保
13	Risk-appropriate regulations for gene-editing technologies(ゲノム編集技術におけるリスク適切な規制)	2024	-	-	イギリス	・ゲノム編集技術の可能性 ・科学的根拠に基づく「リスク適切な規制」の必要性	・過度に慎重な規制の影響 ・商業化までのコストと時間が技術革新の妨げ ・技術革新の遅れによるリスク

表4 「アニマルウェルフェアとゲノム編集」に関する記事・論文

No	タイトル	分類	掲載日	URL
1	動物のゲノム編集、日本はアニマルウェルフェアの評価なし	言説	2022/3/24	https://www.hopeforanimals.org/animal-welfare/genome-editing-cruelty/
2	ゲノム編集という次なる暴力	言説	2024/6/28	https://arcj.org/issues/animal-welfare/genome-editing/
3	ゲノム編集技術の動物応用をめぐる社会的課題	論文	2020/3/1	https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsr/26/4/26_283/_pdf
4	キュービーがゲノム編集卵の臨床試験～質問状を送付	言説	2024/8/23	https://gmo-iranai.org/?p=4781
5	【令和5年度第1回研修会】ゲノム編集技術の現状と今後について	言説	2023/9/12	https://jlta.jp/archives/2178
6	アニマルライツチャンネル vol53[動物のゲノム編集]	言説	2024/5/24	https://arcj.org/issues/animal-welfare/ar-channel-53/
7	5月のオンライン学習会「畜産の現状とアニマルウェルフェア」	言説	2024/7/22	https://v3.okseed.jp/news/4532
8	アニマルウェルフェアや人権に配慮した食品の購入意向に関する国際比較	論文	2023/7/11	https://www.murc.jp/wp-content/uploads/2023/07/seiken_230711_01.pdf
9	Review: Towards an integrated concept of animal welfare	論文	2023/8/4	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731123001349
10	規範的な食の倫理の再検討	論文	2022/3/1	https://www.senshu-u.ac.jp/~off1009/PDF/nenpo/nenpo56/nenpo56_itai.pdf
11	Animal Welfare in the European Union	論文	2017/1/1	https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/583114/IPOL_STU(2017)583114_EN.pdf
12	日本の食料自給率はなぜ低いままなのか	論文	2024/8/1	https://doi.org/10.60233/ijsci.59.8_40
13	食用および飼料用のための昆虫の生産と利用に関する研究動向と今後の課題	論文	2023/1/1	https://doi.org/10.2508/chikusan.94.1
14	スマート飼養衛生管理システム創出による畜産物の安定供給	論文	2022/1/1	https://ajass.jp/Sympo/2021/6manabe.pdf
15	ニワトリフリーの鶏卵生産の可能性	論文	2022/7/20	https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010942229
16	食農政策転換と先端技術への期待：社会技術レジームの視点から	論文	2022/12/25	https://www.jstage.jst.go.jp/article/nokei/94/2/94_120/_article-charlja/
17	ゲノム編集技術の動物応用をめぐる社会的課題	論文	2020/3/1	https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsr/26/4/26_283/_pdf-charlja
18	ゲノム編集技術応用食品とそのガバナンスに対する消費者意識 一日米独の比較ー	論文	2022/1/1	https://doi.org/10.5874/jfsr.21_00034
19	4つの共生論ー共生を「ともいき」「シンバイオーシス」「エコシステム」「インクルージョン」の4つの視点から整理する	論文	2023/1/1	https://doi.org/10.50829/miraikyoso.10.0_75
20	Genome editing in livestock: Are we ready for a revolution in animal breeding industry?	論文	2017/11/1	https://link.springer.com/article/10.1007/s11248-017-0049-7
21	AnimalWelfare Science: Why and for Whom?	論文	2023/6/1	https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10252133/
22	Basics of genome editing technology and its application in livestock species	論文	2017/8/16	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rda.13012
23	Common marmoset as a new model animal for neuroscience research and genome editing technology	論文	2014/1/5	https://doi.org/10.1111/dgd.12109
24	Genome Editing of Pigs for Agriculture and Biomedicine	論文	2018/9/4	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30233645/
25	Production of hornless dairy cattle from genome-edited cell lines	論文	2016/5/6	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27153274/
26	Animal welfare: Methods to improve policy and practice	論文	2023/7/6	https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf0121
27	Farm animal welfare: Beyond "natural" behavior	論文	2023/1/26	https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf5437
28	The EU must stick to its animal-welfare commitments	論文	2023/10/17	https://www.nature.com/articles/d41586-023-03231-y
29	卵の中のひなの性別を、ふ化前に目の色で「目利き」する手法を開発	その他	2024/7/1	https://www.agrnews.co.jp/news/prtimes/242593
30	イスラエル企業、採卵鶏の雌だけが孵化する方法を開発	言説	2022/2/15	https://www.hopeforanimals.org/eggs/only-females-hatch/
31	記者会見：宮津市におけるゲノム編集魚養殖とその拡張計画について	言説	2023/1/30	https://v3.okseed.jp/news/4404
32	独で雄ヒヨコの殺処分禁止へ アニマル・ウェルフェアの最新事情	言説	2021/2/14	https://www.ethicalfood.online/2021/02/141006.html
33	卵内雌雄鑑別法への助成、5億円にアップ	言説	2024/1/11	https://arcj.org/issues/farm-animals/layer-chicken/chick-culling-subsidy/
34	株式会社リジョナルフィッシュ よくいただく質問（FAQ）抜粋「食品としての安全性などについて」	その他	HP	https://regional.fish/faq/
35	ゲノム編集技術で有用たんばく質を大量に含む卵を産む鶏を開発 産総研と農研機構	その他	2018/7/25	https://keimei.ne.jp/article/%e3%82%b2%e3%83%8e%e3%83%a0%e7%b7%a8%e9%9b%86%e6%8a%80%e8%a1%93%e3%81%a7%e6%9c%89%e7%94%a8%e3%81%9f%e3%82%93%e3%81%b1%e3%81%8f%e8%b3%aa%e3%82%92%e5%a4%a7%e9%87%8f%e3%81%ab%e5%90%ab%e3%82%80%e5%8d%b5.html
36	環境省がゲノム編集に関する方針決定～倫理観の欠如した研究者の動画もアップしました	言説	2018/8/31	https://animals-peace.net/experiments/env-genomeediting.html
37	持続可能な畜産業を支えるために畜産学に求められるもの	論文	2020/1/1	https://www.jstage.jst.go.jp/article/chikusan/91/3/91_296/_pdf
38	独自のゲノム編集技術でゲノム編集ニワトリ個体の作出に成功 セツロテック	その他	2023/1/11	https://www.jacom.or.jp/saibai/news/2023/01/230111-63952.php
39	「遺伝子組み換え食品いらない！キャンペーン」アニマルウェルフェアからゲノム編集考える	言説	2022/3/14	https://www.nouminren.ne.jp/old/shinbun/202203/2022031410.htm

No	タイトル	分類	掲載日	URL
40	【寄稿】ゲノム編集魚の養殖問題に関する記者会見報告＝松尾由美(コープ自然派事業連合遺伝子操作問題担当)	言説	2023/4/5	https://table-shizenha.jp/?p=7624
41	【質問状】新宿店におけるゲノム編集トラフグ商品販売に関する公開質問状(2023 年 8 月 3 日)	言説	2023/8/3	https://nishoren.net/new-information/open_letter/18915
42	東京農工大学 農学部 畜産学研究室 新村グループ(システム行動生物学研究グループ)	その他	HP	https://tsuyoshishimmura.wixsite.com/website-1/research
43	Potential of promotion of alleles by genome editing to improve quantitative traits in livestock breeding programs	論文	2015/7/2	https://gsejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12711-015-0135-3
44	Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects	論文	2017/2/1	https://link.springer.com/article/10.1186/s13059-016-1144-4?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot
45	Recent Advances in the Application of CRISPR/Cas9 Gene Editing System in Poultry Species	論文	2021/2/19	https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2021.627714/full#ref121
46	CRISPR in livestock: From editing to printing	論文	2020/7/1	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093691X20300765?via%3Dihub
47	Genome editing in large animals: current status and future prospects	論文	2019/5/3	https://academic.oup.com/nsr/article/6/3/402/5304991?login=true
48	Potential of Genome Editing to Improve Aquaculture Breeding and Production	論文	2019/9/9	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016895251930126X
49	CRISPR/Cas12a mediated knock-in of the Polled Celtic variant to produce a polled genotype in dairy cattle	論文	2020/8/11	https://www.nature.com/articles/s41598-020-70531-y
50	Genomic and phenotypic analyses of six offspring of a genome-edited hornless bull	論文	2019/10/7	https://www.nature.com/articles/s41587-019-0266-0
51	The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows	論文	2023/1/1	https://www.cambridge.org/core/journals/animal-welfare/article/impact-of-genetic-selection-for-increased-milk-yield-on-the-welfare-of-dairy-cows/8205D0F1FF6B9092F168A49B78EC5CD8
52	The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals	論文	2018/8/20	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/age.12696
53	CRISPR/Cas9-mediated MSTN disruption accelerates the growth of Chinese Bama pigs	論文	2020/7/17	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rda.13775
54	The CRISPR/Cas9 induces large genomic fragment deletions of MSTN and phenotypic changes in sheep	論文	2020/4/4	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311919628534?pes=vor
55	The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows	論文	2014/9/9	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030214004573
56	Prospects for gene introgression or gene editing as a strategy for reduction of the impact of heat stress on production and reproduction in cattle	論文	2020/9/15	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X20302946?via%3Dihub
57	Improvement of Disease Resistance in Livestock: Application of Immunogenomics and CRISPR/Cas9 Technology	論文	2020/11/28	https://www.mdpi.com/2076-2615/10/12/2236
58	TALE nickase-mediated SP110 knockin endows cattle with increased resistance to tuberculosis	論文	2014/11/11	https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1421587112
59	Highly efficient modification of beta-lactoglobulin (BLG) gene via zinc-finger nucleases in cattle	論文	2011/9/13	https://www.nature.com/articles/cr2011153
60	Production of hypoallergenic milk from DNA-free beta-lactoglobulin (BLG) gene knockout cow using zinc-finger nucleases mRNA	論文	2018/10/18	https://www.nature.com/articles/s41598-018-32024-x
61	Pigs Lacking the Scavenger Receptor Cysteine-Rich Domain 5 of CD163 Are Resistant to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus 1 Infection	論文	2018/7/31	https://journals.asm.org/doi/10.1128/jvi.00415-18
62	Gene-edited pigs are protected from porcine reproductive and respiratory syndrome virus	論文	2016/1/1	https://www.nature.com/articles/nbt.3434
63	Reconstitution of UCP1 using CRISPR/Cas9 in the white adipose tissue of pigs decreases fat deposition and improves thermogenic capacity	論文	2017/5/12	https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1707853114
64	Alterations in the fillet quality of myostatin-knockout red sea bream Pagrus major: Preliminary insights into nutritional, compositional, and textural properties	論文	2024/6/15	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024082732
65	Production of a breed of red sea bream Pagrus major with an increase of skeletal muscle mass and reduced body length by genome editing with CRISPR/Cas9	論文	2018/10/1	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848617324705
66	Growth rate, body composition and feed digestibility/conversion of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (Salmo salar)	論文	2000/8/1	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004484860003318#preview-section-references
67	CRISPR/Cas9-mediated myostatin disruption enhances muscle mass in the olive flounder Paralichthys olivaceus	論文	2019/10/15	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848619309287
68	Public attitudes toward genetic modification in dairy cattle	論文	2019/12/2	https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0225372
69	Exploring Factors Affecting the Acceptance of Genetically Edited Food Among Youth in Japan	論文	2020/4/23	https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2935
70	Genome Engineering in Livestock: Recent Advances and Regulatory Framework	論文	2022/12/22	https://acspublisher.com/journals/index.php/aru/article/view/3427
71	Do U.S. consumers value genetically modified farmed salmon?	論文	2023/4/1	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950329323000356