

補助事業番号 2023M-424

補助事業名 2023年度 養鶏業の防疫に資する高汚染空間中での空間殺菌技術の構築 補助事業

補助事業者名 上野 崇寿

1 研究の概要

本研究は、養鶏業における最重要課題である鳥インフルエンザ対策として、新たな電氣的空間殺菌技術を開発したものである。従来の予防措置には限界があり、畜産環境特有の高濃度粉塵環境では既存の空気清浄技術(フィルター式やUV殺菌)は実用的でない。そこで「繰り返しインパルス高電圧によるエアロゾル殺菌技術」と「重畳パルス電圧による粉塵・羽毛捕集技術」を組み合わせた新システムを構築した。この技術は高電界を空間中に印加することで流れのある空間でも高い殺菌率を実現し、同時に空間中の粉塵や微生物を帯電させて捕集する。さらに、AIを活用した鶏の行動追跡システムを統合することで、鶏舎環境の総合的な衛生管理を可能にした。本研究では空間中微粒子が多い状態での高効率殺菌技術を確立し、実証試験を通じて実用化の可能性を大きく高めることができた。

2 研究の目的と背景

鶏舎内といった汚染度が極めて高い空間において、高強度の殺菌や病原体不活化を実現する電氣的殺菌技術の構築を目的としている。従来の予防的対策(外来者制限、野生動物侵入防止等)には限界があり、養鶏業者の大きな負担となっている。そこで申請者らが保有する「インパルス高電圧によるエアロゾル殺菌技術」と「重畳高電圧による汚染粒子捕集技術」を統合し、既存の空気清浄機では実現不可能な高濃度汚染粒子環境での殺菌を可能にする新たな技術を開発した。これにより6.0log以上(99.9999%以上)という極めて高い殺菌効果を達成し、殺菌と集塵を一体化した効率的なシステムを実現した。本研究は畜産業界の防疫体制を予防的対策から根本的防除対策へとシフトチェンジさせる可能性を持つこれまでにない取り組みである。

3 研究内容

(1) 高電圧パルス技術による空間殺菌・集塵システムの開発

(<https://www.mdpi.com/2076-2607/12/2/418>)

インパルス高電圧を用いたエアロゾル殺菌・集塵技術を開発した。大腸菌やバンコマイシン耐性腸球菌に対して6.0log以上の高い殺菌効果を達成し、MS2ファージ(ウイルスのサロゲート)に対しても7.54logの不活化効果を確認した。IGBTを用いた小型高電圧発生装置(最大15kV、1kHz)を設計・筐体化し、PIV測定により電界印加時の粒子挙動を可視化して最適な電極構成を決定した。これにより、高汚染度環境でも効率的に機能する荷電部と集塵部を分離した独自設計のリアクタを開発した。

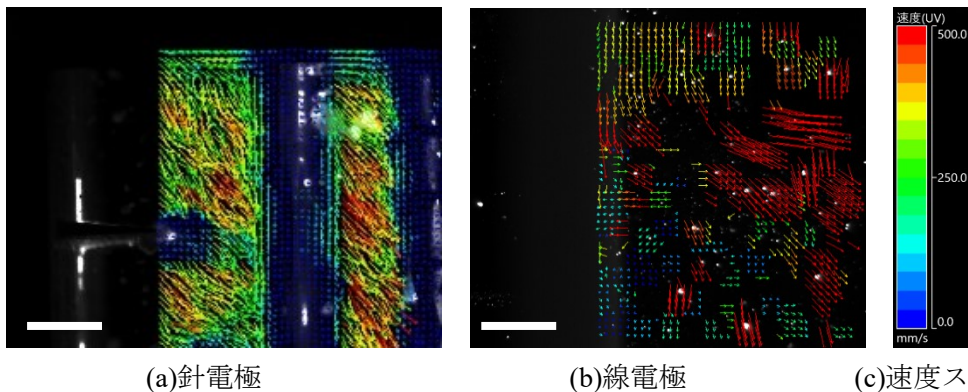


図1 針電極および線電極のPIV流速画像（対象シリカ）これにより高強度の殺菌を実現した。

(2) 実環境応用のための統合技術の開発

DeepLabCutを活用した鶏の行動追跡システムを構築し、追跡精度平均0.97を達成した。特にワクモ寄生を早期発見できるアルゴリズムを見出した。模擬空間と実際の養鶏場環境での検証実験では、9台のリアクタ設置により0.5 μm 粒子に対して最大98.7%の集塵率を達成した。また鶏の行動パターンと空気質変化の相関分析に基づく自律制御システムをシミュレートし、活動パターン連動制御により電力消費量38%削減、微生物濃度を従来比2.8倍速く低減できることを示した。



図 2. DLC による養鶏のトラッキング（養鶏舎環境下での実際の追跡画像。カラーのマーカが各追跡ポイント（眼、トサカ）を示しており、フレーム間の移動パターンから行動特性を解析する。右側の信頼度スコアは各ポイントの追跡精度を示している。このシステムにより、ワクモ寄生個体を早期発見することが可能となった。）

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果は、養鶏産業を中心に幅広い分野で社会実装が期待される。第一に、空気中の病原体を6.0log以上の高効率で不活化できる本システムの導入により、鳥インフルエンザをはじめとする感染症対策が革新的に強化される。具体的には抗生物質使用量の約40%削減が見込まれ、これは薬剤耐性菌対策という世界的課題への貢献となる。

AIを活用した鶏の行動追跡システムは、従来の目視検査より約3倍早く疾病を検出し、予防医療的アプローチによる家畜健康管理のパラダイムシフトをもたらす。特に感度93.2%、特異度95.1%という高精度は実用レベルとして十分であり、早期発見・早期対策により産卵率約15%向上が期待できる。

さらに、空気清浄技術と遠隔監視システムを統合した「スマート養鶏システム」は、環境制御の最適化と省力化を同時に実現する。鶏の活動パターンと連動した制御により電力消費38%削減、微生物濃度を2.8倍速く低減できることが示されており、労働力不足に悩む農畜産業の課題解決に貢献する。

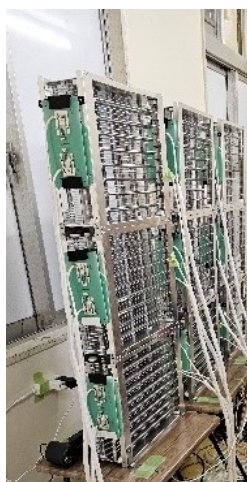


図3. 開発リアクタ外観と設置写真(400 mm × 300 mm × 110 mm。荷電部と集塵部が分かれているが特徴である。鶏舎における9個のリアクタ。)

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

2008年より大分高専に在職し、高電圧インパルスの応用研究に従事してきた研究歴において、本研究は集大成的な位置づけといえる。2012年からの西日本電線株式会社との共同研究でインパルス電源の基礎を築き、2013-2017年のTMEIC・東芝社との共同研究で国際規格認証電源の開発へと発展させた。2020年からはJAXAとの共同研究で水殺菌技術を開発し、JST A-STEP事業で空間殺菌技術を確立した。2022年からはNEDO事業で殺虫技術の研究に取り組んできた。

これらの研究で培ったインパルス高電圧技術、殺菌技術、殺虫技術の知見を統合し、実環境応用への橋渡しを実現したのが本研究である。特に、高汚染度空間での殺菌効果実証と遠隔監視システムの開発は、基礎研究から実用化への重要なステップとなった。本研究は、これまでの要素技術研究を統合し、実社会課題解決に直結させた点で研究キャリアの新たな転換点となっている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Hayato Tajiri, Takashi Sakugawa, Takashi Furukawa, Takahisa Ueno, "Efficacy of Pulsed Electric Fields in Poultry Farm Sanitation", Proceedings of ISPlasma 2025/IC-PLANTS2025,

2025年3月

2. Takahisa Ueno, Takashi Furukawa, Takeshi Hatta, "Electrostatic attraction and charge accumulation of poultry red mites (*Dermanyssus gallinae*) under high electric fields", Japanese Journal of Applied Physics 63(11) 11SP11-11SP11, 2024年11月1日
3. Takahisa Ueno, Takashi Sakugawa, Takashi Furukawa, Takeshi Hatta, "Control of agricultural pests that have acquired drug resistance by impulse high voltage", Proceedings of APSPT-13/ISPlasma 2024/IC-PLANTS2024, 2024年3月
4. Takahisa Ueno, Konosuke Takada, Shohei Zaizen, Takashi Sakugawa, Junko Ninomiya, Takashi Furukawa, "Disinfection of Bacteria in Aerosols by Applying High Voltage to Stranded Wire Electrodes", Microorganisms 12(2), 2024年2月19日
5. 上野 崇寿, 古川 隼士, 八田 岳士, "高電界による節足動物への影響とIPM防除の可能性", 令和6年度 放電・プラズマ・パルスパワー研究会, 2024年6月
6. 中村 誉, 古川 隼士, 佐久川 貴, 尾形 公一郎, 上野 崇寿, "パルス高電圧による高汚染空間の清浄化に関する研究", 電気学会九州支部令和5年度高専研究講演会講演論文集, 2024年3月

7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの
 - (2)(1)以外で当事業において作成したもの
- 無し。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 大分工業高等専門学校(オオイタコウギョウコウトウセンモンガッコウ)

住 所: 〒870-0152

大分県大分市牧1666

担 当 者 准教授 上野 崇寿(ウエノ タカヒサ)

担 当 部 署: 電気電子工学科 (デンキデンシコウガクカ)

E - m a i l: kikaku@oita-ct.ac.jp

U R L: <https://ee.oita-ct.ac.jp/staff/ueno>