

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04013

研究課題名（和文）高電圧インパルスによる高効率ワクモ殺虫技術の構築

研究課題名（英文）Development of Highly Efficient Insecticidal Technology of *Dermanyssus gallinae* Using High-Voltage Impulses

研究代表者

上野 崇寿 (Ueno, Takahisa)

大分工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号：30508867

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：*Dermanyssus gallinae*はニワトリに寄生するダニであり、養鶏業界にとって大きな脅威となっている。ピレスロイド系殺虫剤はこの問題に対処するための主要な手段であり、高い有効性を示してきた。しかし、近年、*D. gallinae*はこれらの薬剤に対して抵抗性を示し、その結果、死亡率が著しく低下している。本研究により、*D. gallinae*は高電圧インパルス放電を利用することで効果的に防除できること、また様々な電気的パラメータが防除に必要な最適値を有することが確認された。その効果は、紫外線やオゾンによる防除効果よりも大幅に優れており、わずか30秒で最大95%のダニが死滅した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、IPMの代替防除法として、薬剤の多用に依存しない高電圧インパルス放電の利用を提案した。紫外線やオゾンを用いた防除法と比較して、高電圧インパルス防除法は、わずか30秒の間に*D. gallinae*に対して95%以上の致死率を達成することが実証されており、防除強度と時間効率において卓越している。この結果は、電気ショックダニ防除法は、*D. gallinae*が電気ショックダニに対して抵抗性を発達させず、速やかに駆除できることから、新規なダニ防除法としての可能性を示すものである。

研究成果の概要（英文）：*Dermanyssus gallinae*, a pernicious ectoparasite plaguing avian hosts and posing a formidable challenge to the poultry industry, has traditionally been controlled through the application of pyrethroid insecticides. However, the emergence of resistance has diminished their efficacy, necessitating alternative strategies. This study substantiates the potency of high-voltage impulse discharges in effectively suppressing *D. gallinae* infestations, delineating optimal electrical parameters. The exoskeletal alterations induced by these discharges mirrored thermal stress effects, albeit without concomitant elemental composition changes, implying tissue damage stemming from internal electric currents. Notably, high-voltage impulses demonstrated markedly superior mite control efficacy compared to ultraviolet light or ozone treatments, eradicating up to 95% of mites within a mere 30-second exposure duration.

研究分野：パルス高電圧

キーワード：インパルス高電圧 ワクモ *Dermanyssus gallinae* IPM防除 ダニ 薬剤抵抗性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ワクモ (*Dermanysus gallinae*) はニワトリの血液を吸う有害ダニであり、家禽業界に深刻な被害をもたらしている。本ダニは日本全国に生息し、ニワトリの血液を夜間に吸い、昼間は金属部品の隙間などに潜んでコロニーを形成する。一度侵入するとヒトや車両などに付着して急速に拡散するため、完全な駆除が困難である。産卵汚染、産卵率低下、貧血などを引き起こし、さらに作業員への不快感やアレルギー反応を引き起こす原因にもなる。世界の大半の養鶏場で本ダニの発生が確認されており、従来は殺虫剤が有効であったが、近年は薬剤抵抗性が課題となっている。そのため新たな総合的有害生物管理対策が求められている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、*D. gallinae* に対するインパルス高電圧の殺虫効果を検証し、最適な電気条件を確立することを目的とした。インパルス高電圧は細胞・医療分野では幅広く研究されているが、昆虫への応用例は少なく、*D. gallinae* を対象とした先行研究や最適な電気パラメータの検討はなされていない。本研究では、*D. gallinae* 制御に適した電気条件を見出すとともに、他の防除法との比較によりインパルス高電圧の有用性を確認した。

3. 研究の方法

3.1 電圧印加対象

発育段階を問わず *D. gallinae* 個体をランダムに選び、25°C、60%湿度、室内照明下で実験を行った。ビデオ顕微鏡で *D. gallinae* の挙動を観察し、高電圧インパルス放電直後および6時間後、12時間後の状態を評価した。動かない場合を死亡と判断した。

3.2 実験手順:

一辺100mmのアクリル容器内に電極(図1)を設置し、約100匹の *D. gallinae* に30秒間の高電圧インパルスを印加した。その後、殺された *D. gallinae* 数と生存数を計数し、致死率を算出した。

3.2.1 電気パラメータによる致死率の変化:

電圧(0.5-4 kV)、周波数(0.1 Hz-100 kHz)、電流(1 k Ω -1 M Ω)、パルス幅(15 ns-10 ms)を変化させ、*D. gallinae* 致死率への影響を調べた。周波数以外は100 Hzで固定し、ビデオカメラで観察した。

3.2.2 紫外線およびオゾンによる致死率の変化:

高電圧インパルスによる *D. gallinae* 制御に加え、紫外線照射(15W UV-C、253.7 nm、60分間)およびオゾン処理(10 ppm)による駆除効果も評価した。紫外線照射ではシャーレ内の *D. gallinae* が十分に紫外線を受けられるよう石英ガラス蓋を用い、オゾン処理では小型オゾン発生器とシャーレをコンテナ内に設置した。いずれも経時的に *D. gallinae* の致死率を確認した。

3.2.3 高電圧インパルス放電による *D. gallinae* の体表面観察:

高電圧インパルスによる *D. gallinae* 殺虫機序を解明するため、様々な条件下でビデオ顕微鏡観察を行い、放電後の体表面の変化を追跡した。対照群として加熱殺虫と絶食による *D. gallinae* も観察した。さらにSEMとEDSにより、*D. gallinae* 体表面の元素分析を行った。

3.2.4 統計解析:

Excel 2021 を用いて、致死率と4つの電気パラメータ(電圧、電流、周波数、パルス幅)の相関

を重回帰分析により統計解析した。致死率を応答変数、電気パラメータを説明変数とし、95%信頼水準で p 値を算出した。

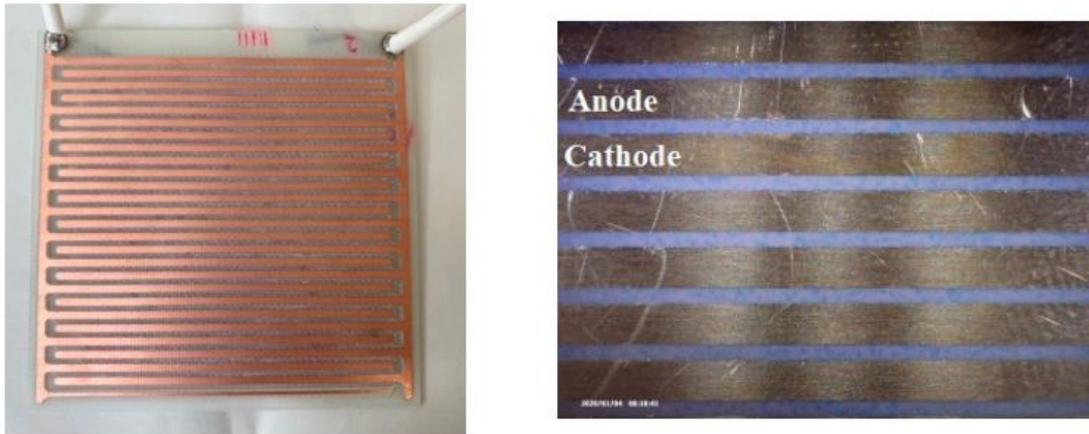


図 1. *D. gallinae* 殺虫に用いた電極

4. 研究成果

4.1 電極間隔および極性による放電電圧の測定

D. gallinae 殺虫を目的として、電極を開発した。この構造は櫛状となっているのが特徴である。ガラスエポキシおよびポリイミドを電極絶縁材料とした場合、電極間距離が大きくなるにつれて放電電圧も上昇した。負の電圧の方が若干高かった。3 mm 電極間隔では、ガラスエポキシで 9.5 kV、ポリイミドで -11 kV であった。10 kV 以上で基板の銅剥離が観察された。ポリイミド電極ではガラスエポキシより放電電圧が低く、3 mm で 2 kV 以上の差があった。ポリイミド表面には突起が確認された。

4.2 電気パラメータと *D. gallinae* 致死率の関係

電気パラメータによる致死率を確認したところ、以下の知見を得た (図 2)。

- (1) 絶縁体の種類による差は小さく有意差は見られなかった。
- (2) 放電電圧が 2.6 kV 以下では致死率が低かったが、3.5 kV で 90% を超えた。さらに高電圧では連続放電が起これり駆除不能となった。
- (3) 周波数 10 Hz 以下では致死率が低く、100 Hz 以上で 90% を超えたが、100 kHz を超えると低下した。
- (4) 電流 10 mA 以上で急上昇し、427 mA で 94.2% に達した。
- (5) パルス幅 15 ns では 8.8% と低かったが、5.6 μ s で 93.3% に達した。10 ms では再び 1% 以下に低下した。

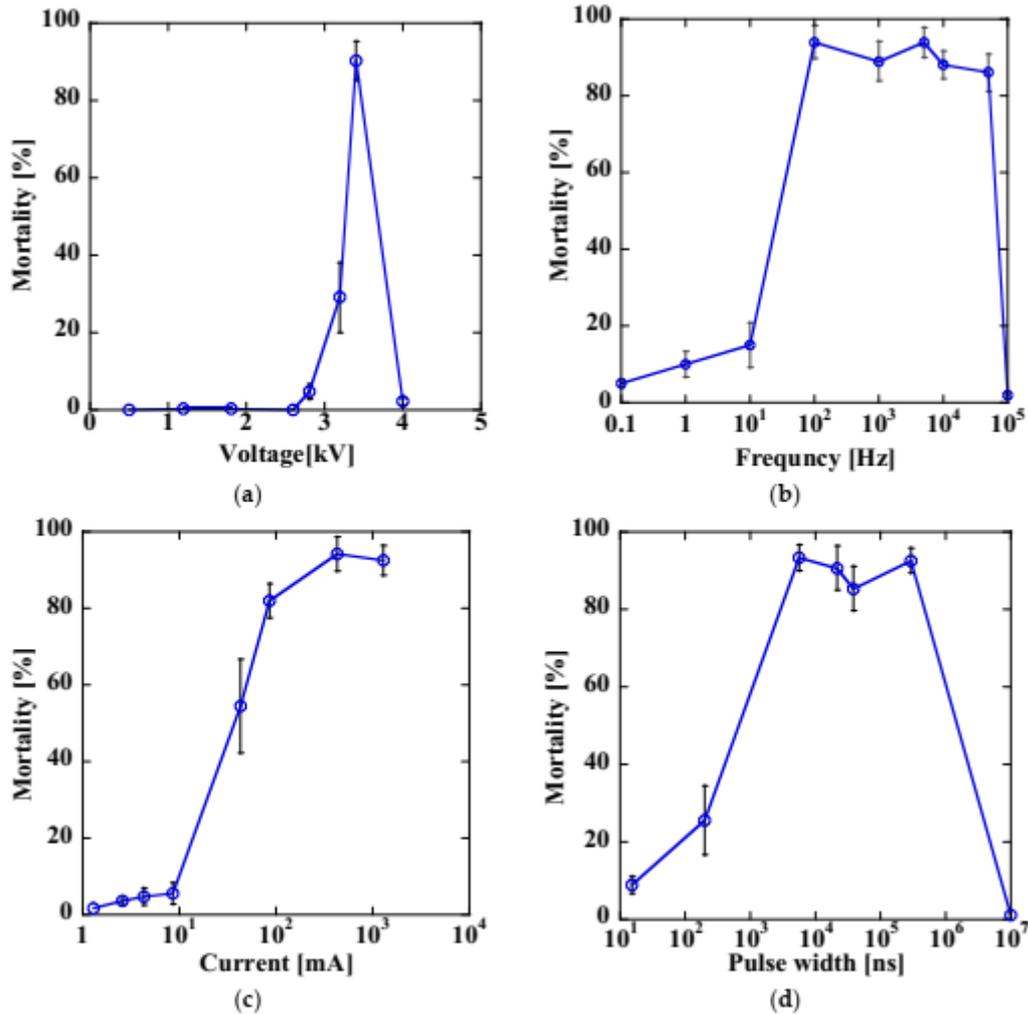


図2. 電氣的パラメータによる死亡率の変化。(a)放電電圧による死亡率の変化。(b)周波数による死亡率の変化。(c)電流による死亡率の変化。(d)パルス幅による死亡率の変化。データ中のエラーバーは標準偏差を示す。

4.3 紫外線照射およびオゾン処理

60分照射で88%の致死率だが、10分以内では10%以下と時間を要した。オゾン10ppmでは3~10分後2.7%、60分後でも5%以下と極めて低い致死率であった。

4.4 *D. gallinae* 体表面の変化

高電圧インパルスと加熱殺虫で体表面が変色し、脚が折れ曲がっていたものの、EDS分析では処理間の明確な組成差はなかった。即ち体表面には、大きな違いは無く、体内部の変性によるものと推測される。

4.6 電源作成と実用化

節足動物の殺虫などに有効なインパルス発生装置の開発を目的とし、可搬性と小型化を兼ね備えたパルスパワー電源を構築した(図3、4)。構築した電源に対する特性試験を実施し、上記の殺虫に必要な電圧や出力特性を実現でき、さらに電源筐体の放熱方法を改善し、塵や埃の多い環境での利用を考慮して、筐体の改良を進めた。

これらの成果から、可搬かつ小型のパルスパワー機器の構築において、重要な進展を図ることができた。パルスパワー電源を用いた節足動物に対する効果的な殺虫手段の提供が可能となり、特

に養鶏場などの実践的な環境での応用が期待される。

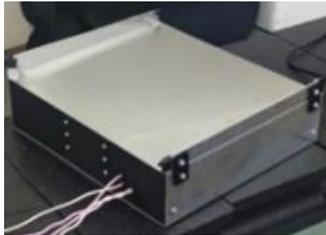


図 3. 密閉筐体



充電抵抗 R
15V 電源
スナバ回路
充電抵抗 R
キャパシタ C
変圧器

図 4. 密閉筐体内部

5. まとめ

本研究では、高電圧インパルス放電を IPM の代替ダニ防除法として提案した。我々は、電極の放電特性と、電圧および周波数の変化に対するダニ防除効果について調査を行った。その結果、高電圧のインパルス放電を印加することで、*D. gallinae* を効果的に防除できること、防除作用に重要な各種電気的パラメータに最適値が存在することが判明した。高電圧インパルス放電による *D. gallinae* の体表面の形態変化は、熱ダニ防除法によるものと類似していることがわかったが、体表面の元素組成には変化が見られなかったことから、この変化は外骨格内のジュール熱によってもたらされたことが示唆された。

D. gallinae は家禽ゲージを通じて家禽施設に侵入し、家禽に感染する可能性がある。実際に設置するには、既存の家禽ゲージに電極を設置し、*D. gallinae* を防除することが予想される。提案されているポリイミド基板は、電極を傷つけることなく歪ませたり成形することができるため、ゲージの形状に合わせて設置することが可能である。しかし、一旦 *D. gallinae* が家禽に寄生してしまうと、この手法で防除することは困難である。したがって、定期的な 全面清掃で *D. gallinae* を完全に駆除した鶏舎に電極を設置することが望ましい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takahisa Ueno, Yuma Mizobe, Junko Ninomiya, Takahiro Inoue, Takashi Furukawa, Takeshi Hatta	4. 巻 12
2. 論文標題 Studies on the Control of Dermanyssus gallinae via High-Voltage Impulse	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electronics12041038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takahisa Ueno, Takashi Furukawa, Takashi Sakugawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Vancomycin-Resistant Enterococcus faecium Sterilization and Conductivity Change by Impulse Voltage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Microorganisms	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/microorganisms11020517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takahisa Ueno, Yuma Mizobe, Takashi Sakugawa, Takeshi Hatta
2. 発表標題 Construction of mite-killing technology using impulse high voltage
3. 学会等名 The 1st KOSEN Research International Symposium (KIRS) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 財前 昌平, 中村 翼, 佐久川 貴志, 上野 崇寿
2. 発表標題 同軸円筒型リアクタ電極のバルス電界解析
3. 学会等名 電気学会九州支部令和4年度高専研究講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 インパルス高電圧による養鶏に寄生する節足動物の殺虫に関する研究
2. 発表標題 溝部裕真, 上野崇寿
3. 学会等名 テクノカフェ大分 第8回高専・大学合同研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 溝部裕真, 上野崇寿
2. 発表標題 インパルス高電圧によるワクモ殺虫技術の構築
3. 学会等名 高専シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ダニ類の駆除装置および駆除方法	発明者 上野 崇寿, 笠間, 俊次, 八田岳士, 古川 隼士	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-15723	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	八田 岳士 (Hatta Takeshi) (00455304)	北里大学・医学部・准教授 (32607)	
研究分担者	古川 隼士 (Furukawa Takashi) (90632729)	北里大学・医療衛生学部・准教授 (32607)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------