

インパルス高電圧型ワクモ電撃殺虫装置の新規開発

大分工業高等専門学校電気電子工学科・准教授 上野 崇寿

■ 緒 言

我が国は鶏卵の年間一人当たり消費量は 329 個¹⁾とメキシコ、マレーシアに次ぎ世界第 3 位の卵大消費国であり、他国で生産される卵より食中毒のリスクが極めて低く安全かつ安価に生食が可能である。これは、日本の卵の品質管理や衛生基準が他国よりも高いためであり²⁾、徹底した品質管理および流通の確保によって実現している。

このような物価の優等生として代表される鶏卵であるが、近年では鳥インフルエンザ問題、配合飼料価格高騰問題、鶏卵の需給緩和と卵価問題といったさまざまな課題が山積しており、その 1 つとして、養鶏におけるワクモ被害が挙げられる。システム化された鶏舎構造の導入により、日常管理が機械化され鶏舎内部の温湿度環境が年間を通じて一定となったため、ワクモの増殖が季節を問わず盛んになり、ワクモ寄生による採卵鶏への被害の報告が増大している。ワクモが引き起こす被害の例として、産卵率の低下や汚卵の発生、死亡だけでなく、従事者の離職要因といった人的影響もある³⁾。

そこで養鶏場ではワクモの被害への対策方法としてピレスロイド系、有機リン系、カーバメイト系等の薬剤を用いた駆除が一般的に行われており、その殺虫率は 90% 以上にも及ぶ。しかし、薬剤に耐性を持つ個体が新たに発生し、薬剤駆除による殺虫率が平均 67.7% と大きく低下していることが報告されている³⁾。現在では、その報告は全国で確認されており、被害の拡大は免れない状況にある。

本研究では、薬剤耐性を持つワクモにも対抗できる新たな殺虫方法としてインパルス高電圧による電撃殺虫を提案し、その効果を確認し、併せて紫外線殺菌やオゾン殺菌など、既存の殺菌技術として用いられている手法についても比較及び検討した結果を報告する。

■ 方 法

【実験対象と実験環境】

1. ワクモとは

ワクモは、ダニ科、中気門亜目、ワクモ科に属するダニであり、国内の産卵鶏農場における浸潤率は 2007 年の調査で 85.2% (300/352)⁶⁾と高く、国内で幅広く生態が確認されている。ワクモの増加により、鶏のみならず養鶏場で働く作業員にも強烈な痒みなどといった被害が報告されており、養鶏場での離職者の増加及び労働力の確保が困難となっている⁶⁾。吸血直後の成ダニの体は、鮮やかな赤色であり、時間とともに黒褐色、薄褐色になる(図 1 参照)。また、飽血状態であれば体長は約 1.2mm、幅約 0.65mm になる⁴⁾。主に家禽類が休息する夜間に吸血を行い、対象が活動している時間帯は集合フェロモンにより地面の割れ目や木材の繋ぎ目に集まり産卵等を行う⁵⁾。繁殖には鳥類の血液を必要とし、鳥のいない環境では次第に死滅するため、このことが養鶏場へ被害を起こす要因に繋がると考えられる。

本研究の実験対象となるワクモは、養鶏場からその大きさを問わず採取を行い、幼ダニも含んだものに対してインパルス高電圧を印加した。

2. 実験環境

実験環境を図 2 に示す。インパルス高電圧電源に直列に抵抗を介し、そこへ負荷となるリアクタ基盤を接続して実験を行った。その構成図を図 3 に示す。高電圧直流電源 V_{cc} によって任意の電圧まで一次側コンデンサ C_0 を充電する。その後、半導体スイッチである IGBT (富士電機、1MBi200U4H-120L-50) をターンオンさせ、トランスを用いて昇圧を行い、二次側コンデンサ C_1 を充電させ、負荷にインパルス電圧を印加する。このとき、高電圧直流電源の充電電圧を可変させることで、二次側に任意のインパルス高電圧を出力させることが可能である。

また、今回使用するリアクタ基盤は、厚さ 1.0mm のガラスエポキシ材を使用した、1 辺 90mm の正形状に切り取り、基盤の表面には陽極と陰極がそれぞれ 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm 間隔で交互に配置する形状として基盤加工を行った(図 4 参照)。

3. 無負荷電圧と放電電圧の測定

実験回路を作成したのち、リアクタ基盤へ加えるインパルス高電圧を増加させ、無負荷電圧と放電電圧を測定した。リアクタ基盤へ接続する抵抗は $1k\Omega$ とした。図 5 に電極間隔 1.0mm のリアクタ基盤へインパルス高電圧を印加した際の電圧波形を示す。パルス幅 $11.6\mu s$ 、最大 $4.4kV$ のインパルス高電圧が瞬間的に出力され、その後徐々に減少していく波形となった。このとき加えるインパルス高電圧を増加させると、電極間の空気が絶縁破壊し放電が発生する(図 6)。

続いて、リアクタ基盤の電極間隔を 0.5mm、1.0mm、2.0mm と変化させた場合の各基盤の放電電圧を図 7 に示す。このとき、任意の最大電圧値に達した瞬間に急激に立ち下がった時の最大値を放電電圧とした。基板上の電極間隔の増加に伴い、放電電圧が線形に増加していることが確認できた。

■ 結 果

【リアクタ基盤単体へのインパルス高電圧印加による電撃殺虫】

透明アクリル容器(縦 100mm×横 100mm×高さ 100mm、厚さ 3.0mm)の下部に設置したリアクタ基盤の上にワクモを投下し、インパルス高電圧を 40 秒加え、死滅したワクモの数を確認した。このときの殺虫率は、死滅したワクモの数を投下したワクモの総数で割り算出した。電極間隔が 0.5mm、1.0mm のリアクタ基盤に接続する抵抗は $100k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $1k\Omega$ として加える電流を変化させ、電極間隔 1.5mm、2.0mm の基盤に接続する抵抗は $1k\Omega$ 一定として、電極間隔の変化による殺虫率を確認した。

基盤上に流れる電流を変化させたときの各殺虫率を図 8 に示す。このとき電極間隔 0.5mm の基盤では約 $3.4kV$ 、電極間隔 1.0mm の基盤では約 $3.8kV$ の放電電圧が得られ、いずれの電極間隔においても、最大殺虫率がそれぞれ 88%、90% まで達したことが確認された。電極間隔 0.5mm の基盤を用いた実験結果において、インパルス高電圧を印加した際の電流が約 $34mA$ である時に殺虫率が 36% 程度と他の結果と比べ低い値となったものの、それ以外の条件においては 87%、88% もの殺虫率が得られた。これより、電流値が極めて低い条件においては、殺虫率が下がることが示唆された。

次に、電極間隔 1.5mm、2.0mm のリアクタ基盤の殺虫率を図 9 に示す。電極間隔 1.5mm の基盤の殺虫率が 87.5% であることに對して、電極間隔 2.0mm の基盤では殺虫率が 74.6% と低くなることが確認された。

■ 考 察

【他の殺虫方法との比較】

1. 紫外線殺虫

本実験では、15W の UV-C ライトの直下 10cm にワクモを封入した直径 10cm の透明のシャーレを設置し、そこへ直接紫外線(UV-C、波長 253.7nm)を 60 分間照射させ時間ごとのワクモの殺虫率を確認した。この時、シャーレ内に封入されたワクモに対して UV-C ライトから発する紫外線を十分に照射させるために、蓋部は厚さ 1.0mm の石英ガラス(紫外線透過率=99.9%)を使用した。

紫外線の照射時間ごとのワクモの殺虫率を図 10 に示す。紫外線の照射によるワクモの殺虫率は、紫外線の照射時間に従い増加しており、10 分までは 10% にも満たなかったが、10 分から 30 分にかけて殺虫率が上昇し、60 分間が経過時には全体の 88% ものワクモが死滅したことが確認された。このことより、紫外線を用いた殺虫方法に要する時間は長時間を要し、ワクモの移動速度を踏まえると効率的な殺虫は困難であることが示された。

2. オゾン殺虫

本実験では、10L の容器内に小型のオゾン発生器とワクモを封入したシャーレを設置し、オゾン濃度を 50ppm に調整したのちにワクモをシャーレから容器内へ放ち、時間ごとの殺虫率を確認した。

オゾンを暴露させた時間ごとのワクモの殺虫率を図 11 に示す。電撃殺虫や紫外線殺虫の結果とは異なり、3 分から 10 分の暴露で 2.7% しか増加しておらず、オゾン暴露から 60 分経過しても 6% 程度とどまる結果となった。これより、オゾンによる殺虫効果は低く、高濃度オゾンの暴露によってもワクモを死滅させることが困難であることが確認された。

【各殺虫方法の比較】

ワクモ殺虫の第一選択となる薬剤殺虫は、有機リン系やカーバメイト系では、アセチルコリンやコリンエステラーゼの働きの阻害⁷⁾、ピレスロイド系等であれば神経膜(ナトリウムチャンネル)の阻害⁷⁾といった神経系に作用しワクモを死滅させる機構であり、どの薬剤においても概ね 90% 以上の殺虫率

が得られることが確認されている³⁾。

しかしながらワクモの殺虫剤費が高額で、年間1～5万羽の鶏の飼育で300～350万円、10万羽以上の鶏の飼育で約500万円もの費用の負担となることが報告されている^{7,8)}。また、90%以上のワクモの駆除には最大48時間もの長時間を要するだけでなく、複数回の散布でワクモが耐性を獲得し殺虫率が年々低下し、60%未満となる報告も挙げられている³⁾。

UV-C 紫外線殺虫では、殺虫までの時間が60分以上と長時間を要するため、その移動速度が毎秒数センチ程度のワクモの高効率殺虫は難しい。また、暗闇を好む性質(光を厭う)負の走光性を持つことからワクモへのスポット照射は困難となる。またオゾン殺虫に至っては、JIS規格で定められている濃度0.05ppmの100倍となる50ppmにおいても殺虫効果が極めて低い結果となった。この濃度は人間が1時間で生命が危険な状態となるものである。

一方、今回提案の電撃殺虫では、40秒未満のインパルス高電圧の印加で最大90%の殺虫率を実現することができた。また、殺虫に必要な電氣的パラメータは電流値がミリアンペアオーダであり、マイクロ秒オーダのパルスとしているため人体へ感電負傷を負わず危険性も極めて低いため、実現可能性としては極めて高いと言える。(表1参照)

■ まとめ及び今後の課題

本研究では、薬剤によらないワクモの殺虫方法としてインパルス高電圧による電撃殺虫を提案し、基盤の放電特性や抵抗値及び電極間隔の変化に伴う殺虫率の変化を調べた。その結果、電撃殺虫によるワクモの駆除が可能であり、電流値ならびにリアクタ基盤上の電極間隔によってワクモの殺虫率が大きく変化することを確認した。リアクタ基盤上の電極間隔が広いほど放電電圧および電流値が大きく、ワクモの殺虫率が増加することが示唆された。電撃殺虫は紫外線殺虫やオゾン殺虫などの他の殺虫方法と比べ、40秒という短時間で最大90%ものワクモの殺虫が可能であり、その殺虫効果や時間的効率が低いものであることが確認できた。

以上より、インパルス高電圧による電撃殺虫技術は、薬剤殺虫のようにワクモが耐性を持つことがなく、短時間で多くのワクモの駆除が可能であることから、新たな殺虫方法として期待できる。今後は、インパルス高電圧電源の動作周波数や電極構造による殺虫率の変化を確認し、リアクタ基盤を複数枚積層した際に得られる殺虫率の違い等、実用化に向けて検討する予定である。

■ 文 献

- 1) 国際卵委員会. 2011年. 世界鶏卵評議会年次報告(IEC annual review). 22-25
- 2) 田村 豊. 2013. 食卵によるサルモネラ食中毒の現状と対策. 日本食品科学工学会誌, 第60巻(13), 375-379.
- 3) 村野 多可子. 2006年. ワクモの生態と最近の問題. 鶏病研究会報, 第42巻(3), 127-136.
- 4) 村野 多可子. (n. d.). 鶏舎のワクモ対策.
- 5) 株式会社三共リメイク. ダニの生態. www.sankyoremake.com/dani_control_s.html, (参照 2021-02-22)
- 6) 村野 多可子, 並木 一男, 椎名 幸一, 安川 久. 2015年. 国内の養鶏場におけるワクモ *Dermanyssus gallinae* の市販殺虫剤に対する抵抗性出現. 日獣会誌, 68, 509-514.
- 7) 環境機器株式会社. PCO 薬剤基礎知識. <https://www.semco.net/products/pco.html>, (参照 2021-02-22).
- 8) 村野 多可子, 山口 剛士, 山上 善久. 2012年. ワクモ防除対策に対する国内アンケート調査結果. 鶏病研究会報, 第48巻(1), 30-34.

表 1 ワクモの各殺虫方法の比較

殺虫方法	薬剤殺虫	紫外線殺虫	オゾン殺虫	電撃殺虫
作用機構	神経系阻害による 麻痺や中毒症	DNA 損傷	強力な酸化力で 細胞に損傷	インパルス高電圧 印加による感電
コスト* (単価 税別)	高 (ピレスロイド系)	低 (UV-C 紫外ライ ト)	中 (オゾン発生器)	中 (インパルス電源)
欠点等	耐性獲得による 殺虫率低下	長時間の駆除時間 (駆除が困難)	人体への影響 低い殺虫効果	絶縁性強化が必要

*市販価格を参考とした金額

高・・・1 万円以上, 中・・・4 千円以上 1 万円未満, 低・・・4 千円未満



図 1 各養鶏場で被害が報告されているワクモ(成ダニ)

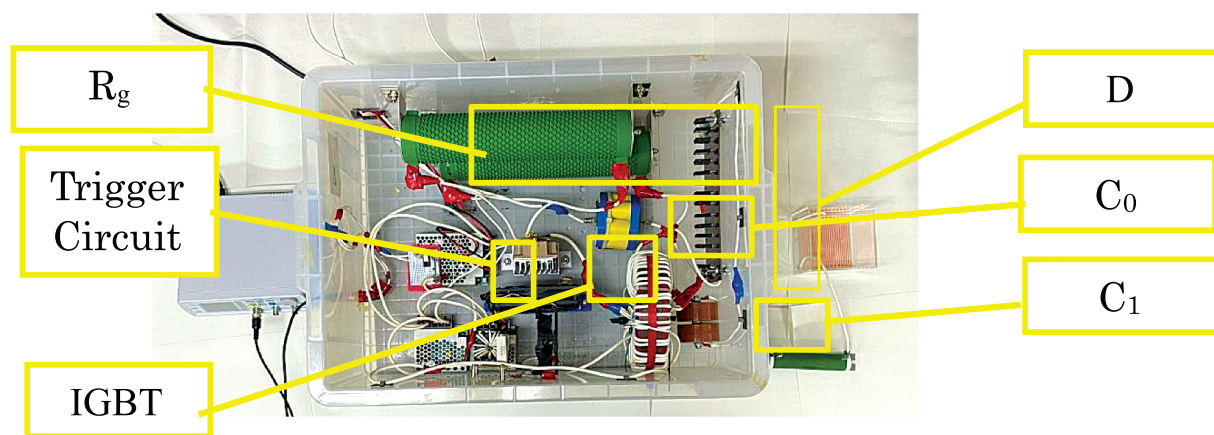
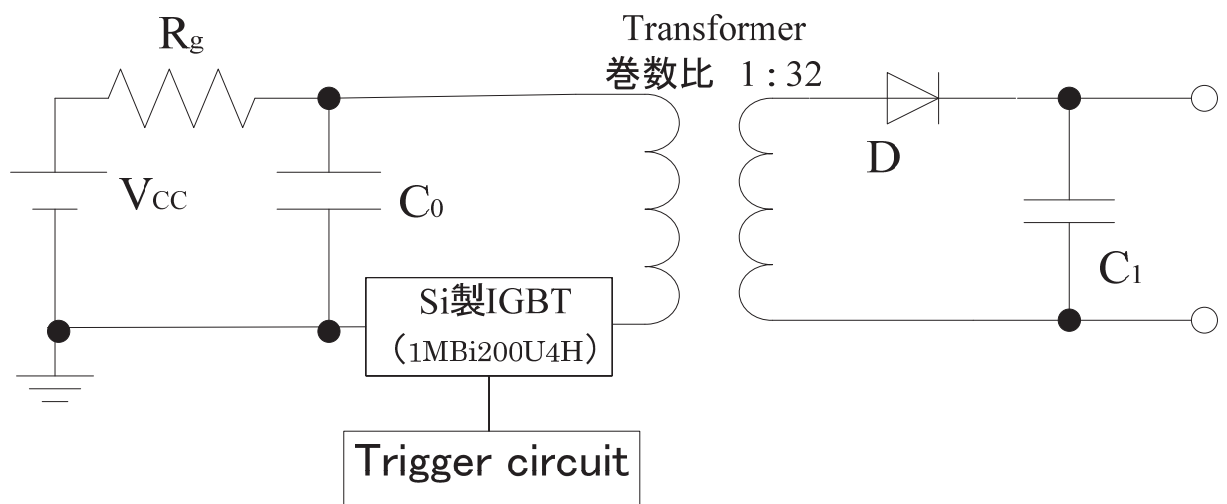
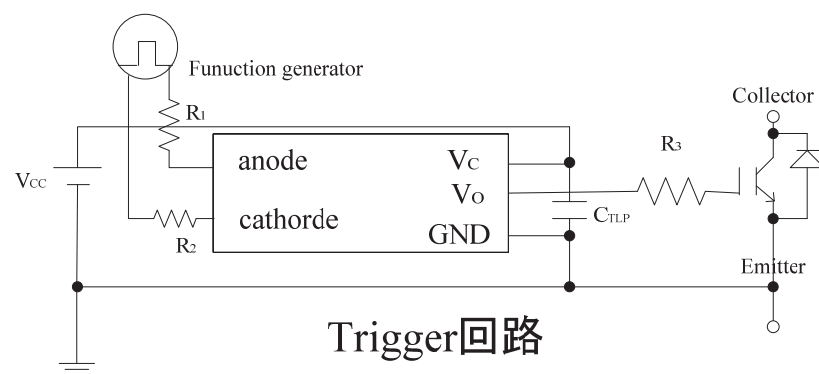


図 2 インパルス高電圧電源の回路写真



主回路



Trigger回路

図 3 インパルス高電圧電源回路の構成図

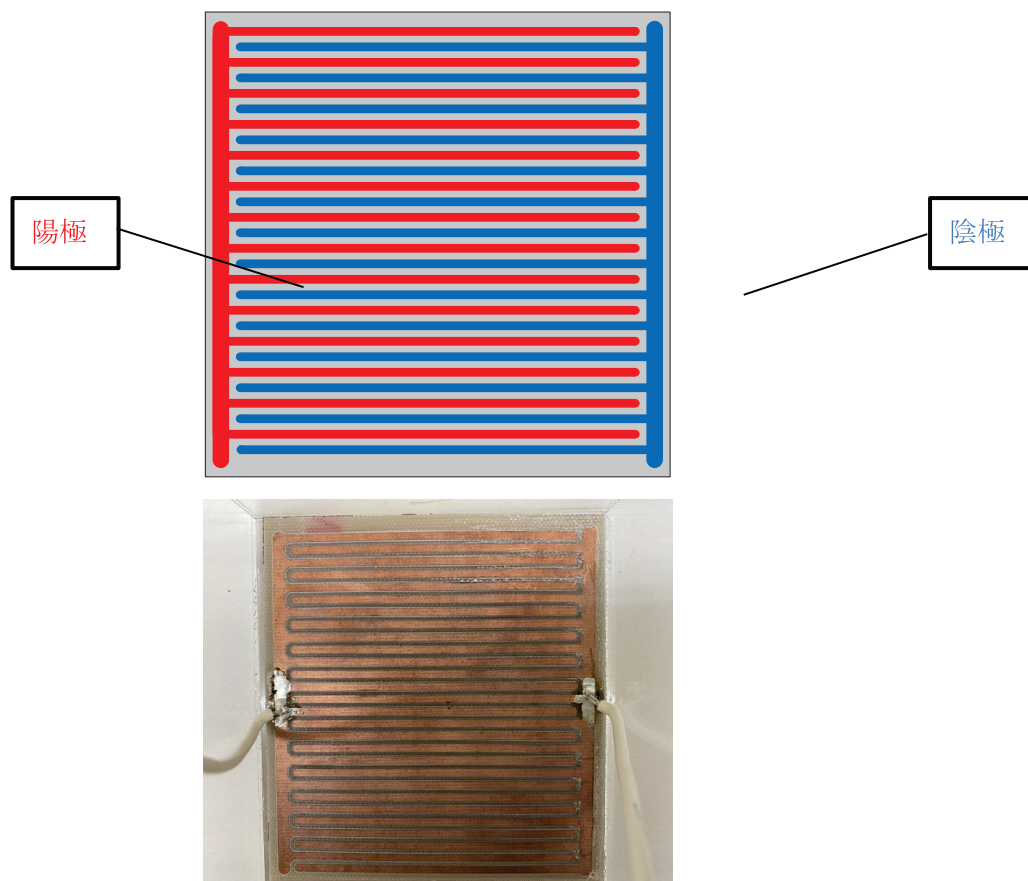


図 4 リアクタ基盤図面と写真(電極間隔 1.0mm)

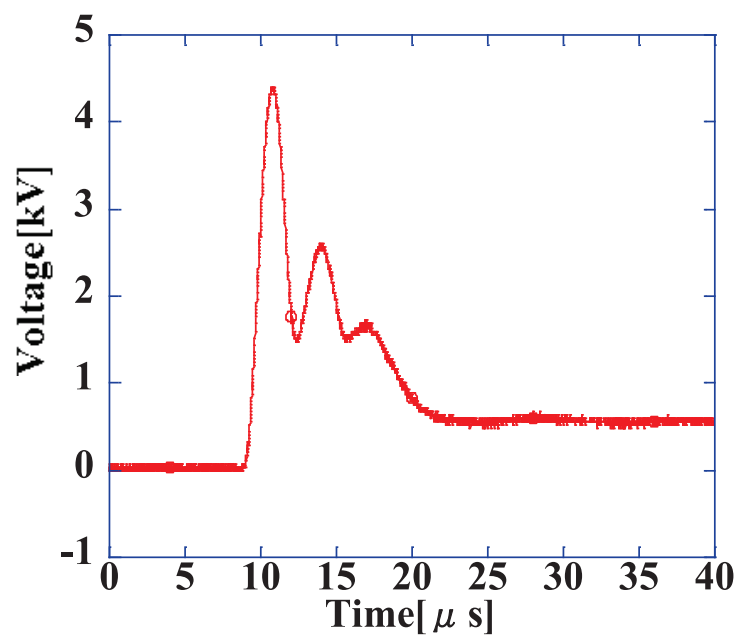


図 5 無負荷時の電極間隔 1.0mm のリアクタ基盤でのインパルス高電圧波形

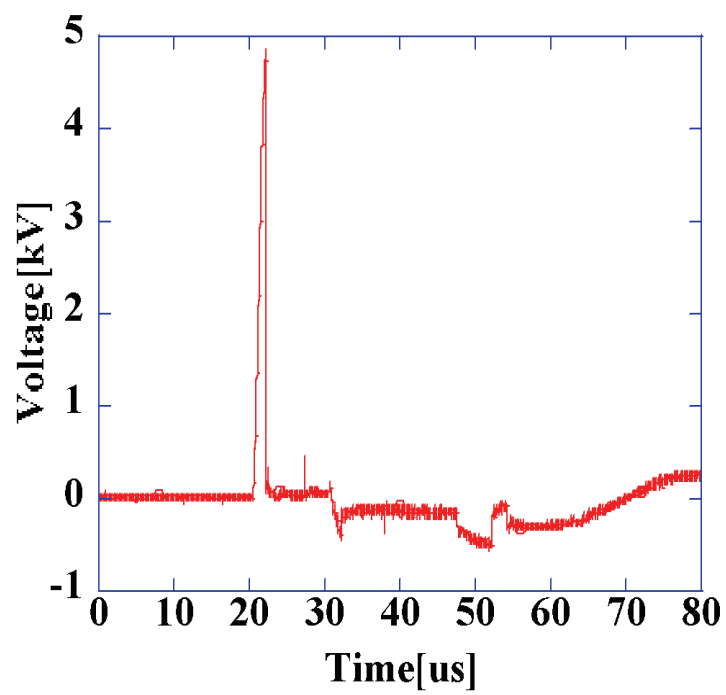


図 6 電極間隔 1.0mm のリアクタ基盤での放電電圧波形(1.0mm)

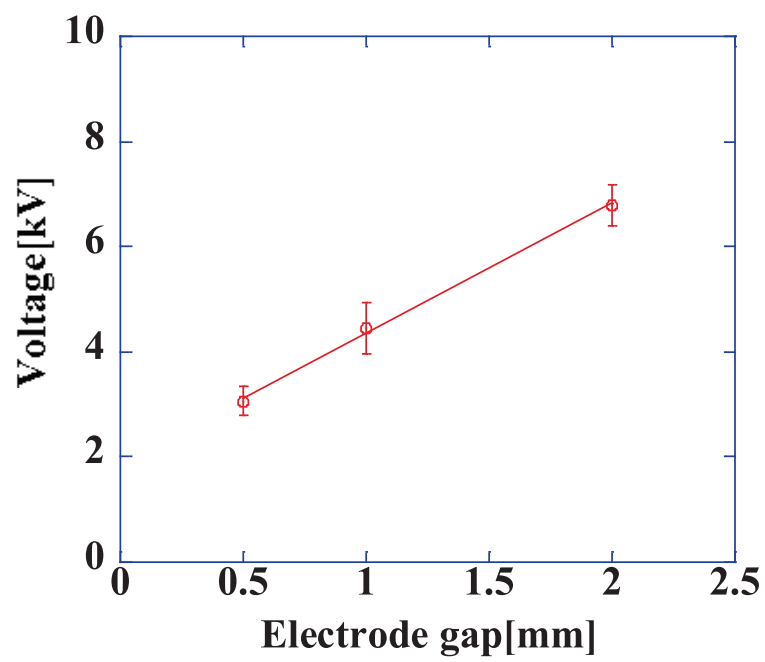


図 7 電極間隔ごとの放電電圧

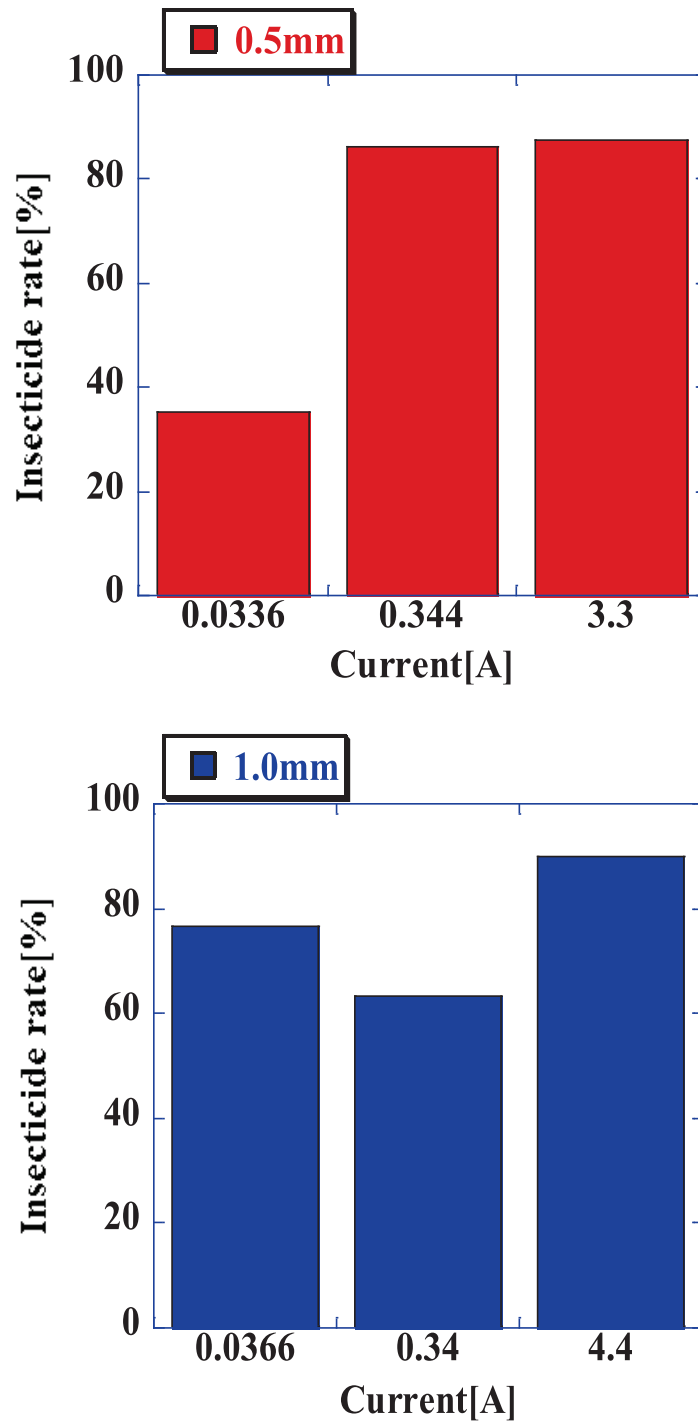


図 8 電極間隔および電流値の変化に伴う殺虫率

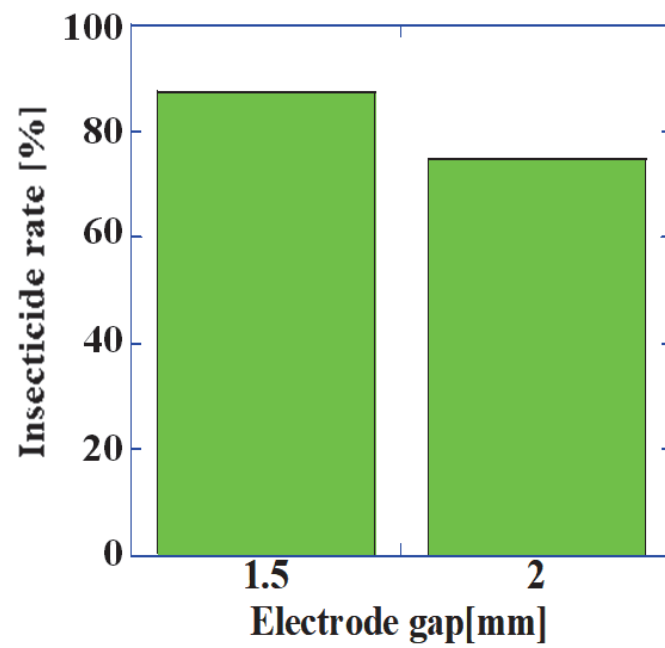


図 9 電極間隔ごとの殺虫率(接続抵抗:1k Ω)

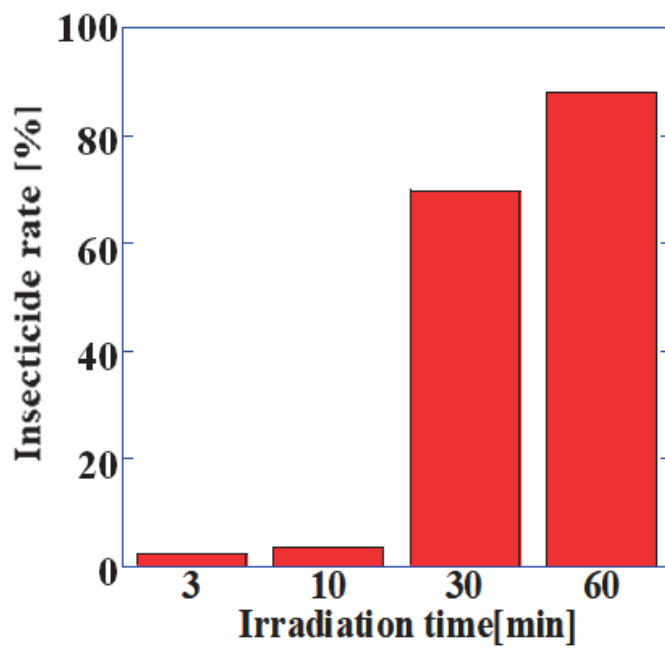


図 10 紫外線の照射時間ごとの殺虫率

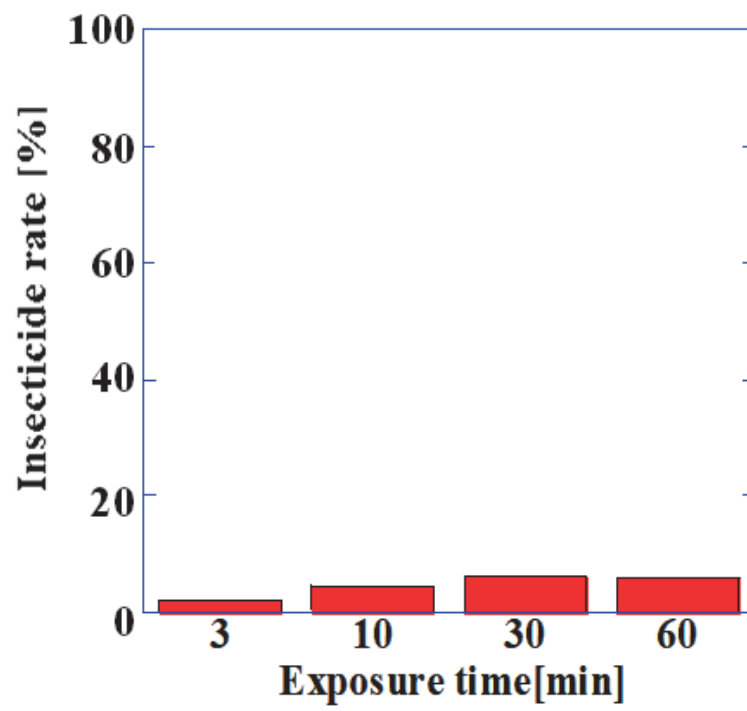


図 11 オゾンの暴露時間ごとのワクモの殺虫率