

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560531

研究課題名(和文) 昆虫の網膜電位特性に学ぶLED光による害虫(ガ・ゴキブリ)防除光源装置の開発

研究課題名(英文) Development of Insect Pest Control for

研究代表者

平間 淳司(Hirama, junji)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40181185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は化学農薬に替わる害虫防除方法の模索であり、超高輝度型LEDの諸特性を積極的に利用した物理的害虫防除光源装置の開発である。開発にあたり近年特に農作物への被害が多い特定害虫種(ヤガ蛾類)や家庭内で特に嫌がられているゴキブリなどに対して、光照射時に誘発する網膜電位応答(ERG信号)特性を明らかにした。そのデータと行動観察とを関連付け、効果的な防除や駆除の物理的方法の確立を行った。実験系の再構築により、ERG信号の継続計測および新種の害虫種に対応し、特に多くのヤガ類やゴキブリ類の色覚特性のデータベースを作成した。計測データに基づき防除あるいは駆除光源装置開発の取り組みにも着手した。

研究成果の概要(英文)：This research investigates an alternative to chemical pesticides by developing a system that uses characteristics of high power LEDs as a physical form of pest control. At the time of development characteristics of the retinal potential response (ERG signal) to the induced light stimulation for pests (types of moth) were revealed. These types of pests are Noctuidae moths that eat crops and cockroaches that infest homes. Relationships between the data and behavioral observations were revealed and a physical method for effectively controlling and exterminating pests was performed. By re-designing the test system, ERG signals were measured continuously and a database of color vision responses was created from new pest species, especially various types of Noctuidae moths and cockroaches. Based on the measurement data, light source development for prevention and control has begun.

研究分野：電気電子計測

キーワード：ERG信号 LED光源 害虫防除 ヤガ類 ゴキブリ類

## 1. 研究開始当初の背景

現在の農作物の害虫防除手段は、即効性や簡便性から化学農薬が主流であるが、消費者の安全面からは農薬に替わる効果的な防除方法の確立が望まれている。これまでに我々は、超高輝度型LEDを用いて「光線を利用した物理的害虫防除装置」の開発を行っている。

一般に、LED光源ではなく黄色蛍光灯によるヤガ類(夜行性のガ)の防除光源装置や紫外線を利用した電撃誘殺器など、光線を利用した光源装置が実用化され成果を上げている。しかし、蛍光灯や放電灯を使用しているため、商用電源供給路の確保や消費電力、ランプの寿命によるメンテナンスの煩雑さなど、恒常的な光源装置の運用が困難である。その点、LED光源は低消費電力で直流電源使用のため、実用化の段階では太陽電池と蓄電池とを現場に設置することで、省エネタイプで商用電源ケーブルの敷設も不要となる。更にランプでは通常約1年毎の交換が必要であるのに対し、LEDは耐久性に優れ半永久的に使用できるなどの利点がある。

また、簡便な電子回路技術で発光制御ができるなど、害虫防除光源の開発に際し利便性が高いと考えている。「虫は明るい光に集まる」という走光性が知られている。害虫の主要な光受容器は複眼であり、光刺激を与えると極微弱な網膜電位(Electro Retina Gram: 以後、ERG信号と呼ぶ)が誘発する。この光受容特性であるERG信号に基づき、害虫の好きな光/嫌いな光を推定し、害虫防除や駆除の光源装置の実用化を目指している。

## 2. 研究の目的

本研究では化学農薬に替わる害虫防除方法を模索しており、超高輝度型LEDの諸特性を積極的に利用した物理的な新しいタイプの害虫防除光源装置の開発を行っている。

本研究では、開発にあたり近年特に農作物に被害を多くもたらす特定害虫種(チャバネアオカメムシ、オオタバコガ、ハスモンヨトウ)や家庭内で特に嫌がられているゴキブリ(これまでの成果を踏まえ、今回は初めて挑戦する)の両害虫種に対して、光照射時に複眼の網膜に誘発する網膜電位応答(ERG信号)特性を明らかにし、そのデータと行動観察とを関連付けることにより、効果的な防除や駆除の物理的方法の確立を行う。将来的には、発生中の各種害虫のERG信号を短期間で計測し、その害虫に対して有効な光源の色や照射方法を推定し、例えば農作物の栽培現場で生かせる防除光源装置やゴキブリ駆除光源装

置を提供できる事が最終目的である。

## 3. 研究の方法

初年度では、現在使用中の自作の生体電位アンプに対して、これまで以上のS/N比向上を目指したERG信号計測の実験系の再構築を実施する。これにより、害虫のERG信号の計測精度を向上させる。

また、予備的にゴキブリの複眼への光照射時のERG信号の計測も行う。初めての試みなので、光の色(波長)や照射強度、さらにパルス光の光追従性などの諸特性を知ることから始める。その結果を踏まえ、ERG信号特性に連動したより効果的なLED光源制御装置の再設計を行う。

次年度以降は、光源装置の製作後に可能ならば農地での加害調査と並行して、更に深度化させたERG信号計測、および飼育されたゴキブリへの光照射時の行動観察などを実施する。

以下に、年度毎の詳細な実施計画を記す。

### 【平成24年度】

#### (1) 実験系の再構築

これまで以上の高S/N比で質の良いERG信号を計測できる新たな計測システムの再構築を実施する。この年度では、自作の生体電位アンプ(計測用アンプ)の再設計及び試作を行う。高性能なリニアICやフィルタICなどの選定後、そのICを採用して基本設計・試作を行う。そして、現在は半自動でERG信号の光強度依存性や周波数応答特性などを計測しているが、別途制御用PCを付加して、光刺激提示や計測データの高速化自動ロギングシステムを新規に構築する。

#### (2) ERG信号の再計測およびゴキブリのERG信号の予備計測

これまでの計測技術のノウハウを生かし、より多くのERG信号の各種光質特性を解析し、LED光源の照射技術のための基礎資料を得る。このデータは、害虫の光に対する慣れ防止効果を狙うと同時に、ちらつき点灯なので、低消費電力化も図ることが目的である。

また、ゴキブリの複眼に針電極を挿入し、光応答特性の予備調査を実施し、次年度以降の実験計画に役立てる基礎資料を入手する。

### 【平成25年度以降】

#### (1) ERG信号の継続計測および新種の害虫対応

24年度に引き続き、ERG信号の継続計測を実施して可能な限り多くのデータを収集し更なる信頼性の高い基礎資料収集を実施する。

ERG 信号の計測カテゴリは、波長(色)依存性、光の点滅の周波数依存性、光強度依存性などである。過去 15 年間に渡り本研究テーマを継続実施してきたが、これまでに年度の違いにより屋外で大量発生する害虫種は自然環境などの変化に伴い千差万別であった。時に、新種の害虫が大量発生することがあった。その場合には、本研究の防除対象の害虫種を急遽一時中断し、被害をもたらすことが予想される害虫に切り替え、臨機応変に ERG 信号計測を実施することも予定している。

また、将来的には、ERG 信号の諸特性の大量データベースを構築し、特定害虫種に対する防除に有効な光源選択を瞬時に可能とし、大量発生しそうな害虫が予察可能な場合、これまでの蓄積データと照合することで、防除に有効な LED 光源の設計提案を緊急情報発信する体制を構築することが重要と考えている。

## (2) ゴキブリの防除あるいは駆除光源装置開発の取組み

日常生活で特に嫌われているゴキブリも夜行性の害虫であり、本研究手法により ERG 信号を計測することで、「光質による刺激力」をターゲット害虫として学ぶことができる。

一般に、薬剤やフェロモン剤利用の粘着シートなど、多くの駆除方法が提案され一定の成果を得ている。しかし、光線を利用することは全く検討されていない。そもそも ERG 信号の計測技術が普及していないのが現状である。

研究の方向性として、一般家庭では「効果的に誘引し、一気に薬剤等で駆除(主婦には、捕獲されたゴキブリの姿・形を見せないことが必須かもしれない)」、コンビニやレストランのホール内では、「忌避(お客の目に入らないことが最重要かもしれない)」効果を狙う。その厨房では、一般家庭と同様に「誘引させ一気に薬剤駆除(衛生面確保が最重要と考える)」を目指している。

## 4. 研究成果

### (1) ERG 信号計測系の整備

図 1 に ERG 信号計測システムを示す。本研究により、図中に示した生体電位アンプ部の電子回路の再設計・製作を行った。これにより、当初の目標であった高 S/N 比で低雑音の ERG 信号が計測可能となった。これにより従前に比べて、高精度で安定した ERG 信号の計測ができた。また、光提示部である電磁シャッター部の自動開閉や ERG 信号の自動ロギング化の自動制御化も行った。

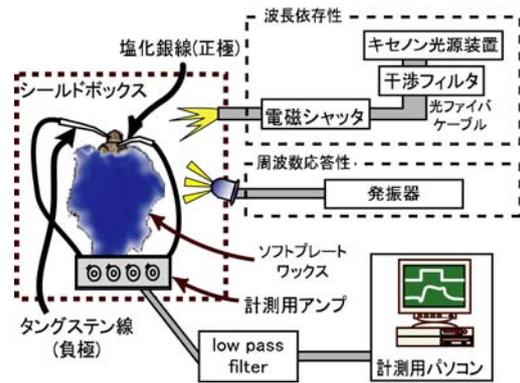


図 1 ERG 信号計測システム

### (2) 新種害虫(マイマイガ)の ERG 信号計測

図 2 は、本研究において最近大量発生した新種の代表的なマイマイガの ERG 信号の波長依存性の測定結果を示す。同図(a)は光照射強度が  $0.1\text{W/m}^2$  (弱光)、同図(b)は  $0.3\text{W/m}^2$  (強光)を示す。

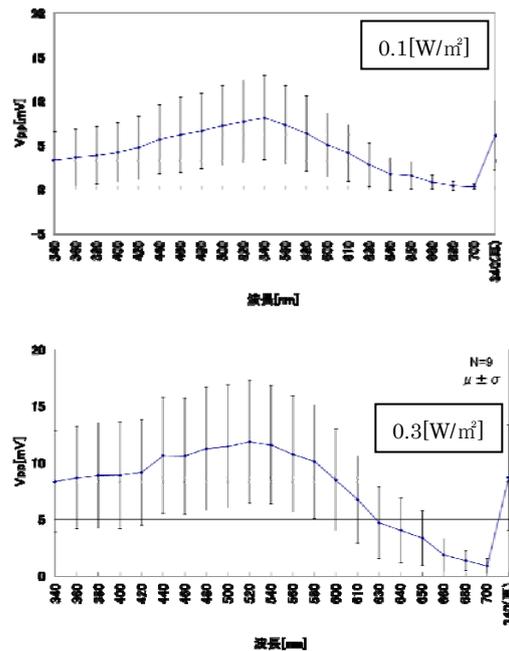


図 2 本州亜種 全 9 個体のマイマイガの複眼の  $V_{pp}$  値の( $\mu \pm \sigma$ )表示

可視域である波長  $500\text{nm} \sim 540\text{nm}$  で ERG 信号が最大値を示し、視認感度が高いことがわかる。また、近紫外域  $340\text{nm} \sim 380\text{nm}$  では、前述の可視域に比べて ERG 信号は小さいが視認していることがわかる。ただし、可視域であっても赤色域の  $600\text{nm}$  以上では ERG 信号が小さくなり、この傾向はこれまで計測してきたハスモンヨトウやオオタタバコガなどの夜蛾類と同様な傾向を示した。また、光強度が弱い時には、ERG 信号のピークが明確となり光受容体の視感度の波長域が明確化している。これらの結果から、これまで開発して

きた LED 光源を用いた害虫防除装置が有効となる推定ができた。

一方、表 1 はマイマイガのパルス照射光の代表的な周波数応答特性を示す。

表 1 個体別の最大周波数応答

個体名	性別	最大周波数応答[Hz]	
		放射束密度0.1[W/m <sup>2</sup> ]	放射束密度0.3[W/m <sup>2</sup> ]
HM-3	♀	71.4	90.9
HM-4	♂	71.4	83.3
HM-5	♀	52.6	62.4
HM-6	♀	83.3	76.9
HM-7	♂	90.9	90.9
HM-9	♂	76.9	83.3
HM-10	♂	83.3	83.3
平均値		75.7	81.6

これらの結果より、光強度に差異がなくパルス点灯周波数が約 60Hz から 80Hz を上限とする臨界融合周波数であることがわかる。この結果は、害虫防除装置の点滅周波数を設定する重要なパラメータとなる。これまでの研究成果と今回の結果を踏まえると、点滅周波数は約 10Hz で、十分になれ防止となることも推定できる。

### (3) ゴキブリの ERG 信号計測及び予備的行動観察



図 3 実験対象のゴキブリ

図 3 は、今回測定したクロゴキブリを示す。本研究では、ERG 信号の波長依存性実験とその結果を踏まえた予備的な行動観察を実施した。

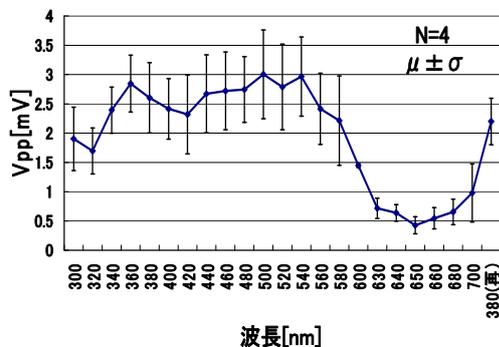


図 4 クロゴキブリの ERG 信号の波長依存性

図 4 は、本研究において、初めて測定したクロゴキブリの ERG 信号の波長依存性を示す。この結果は、前出の図 2 で示したマイマイガ

の ERG 信号の波長依存性と細部の特性は異なるものの類似していることがわかった。

この結果より、視認している近紫外光と可視光の LED 光源を使用して、予備的な誘引・忌避の行動観察実験を実施した。

### (4) LED 光源を用いたゴキブリの行動観察

行動観察実験のタイムスケジュールを図 5 に示す。行動観察には、ゴキブリの ERG 信号に反応しない赤外線カメラを用いて画像解析を行った。図示のように録画を開始した瞬間に LED 光源を点灯させる。点灯させてから 5 分後に LED 光源を消灯する。これを 30 分間繰り返す。また、ゴキブリが、どの波長の光に対して反応を示すのかを確かめるために、LED 光源を両方点灯させた場合、375nm の LED 光源のみを点灯させた場合、520nm の LED 光源のみを点灯させた場合の 3 パターンの実験も行った。更に、点灯実験と同様に、LED 光源を点滅させる点滅実験を行った。

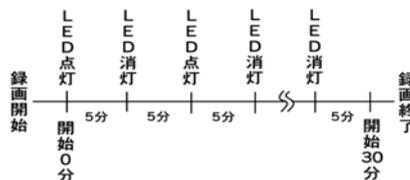


図 5 行動観察実験のタイムスケジュール

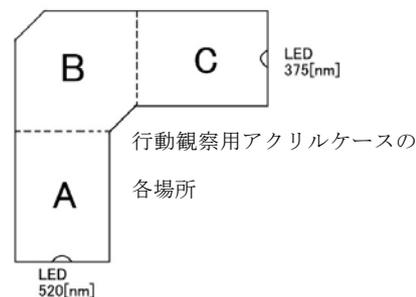
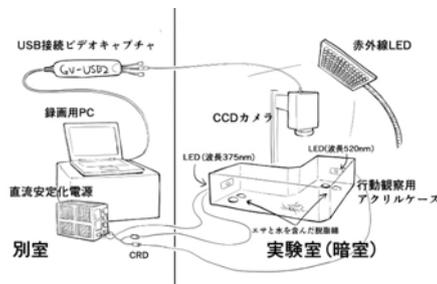
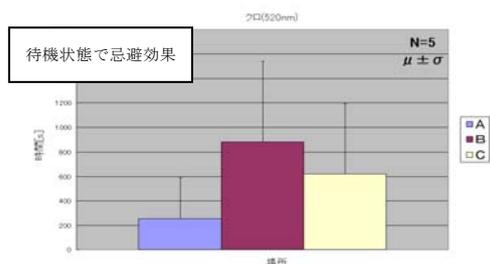


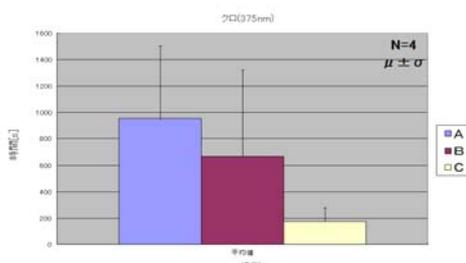
図 6 行動観察実験のシステム構成図

図 6 は行動観察実験システムを示す。観測用のアクリルケースを 3 領域(A, B, C)に分けて、各領域に滞在するゴキブリの時間を再生画像から計測した。図 7 は、代表的なクロゴキブリの波長 375nm および 520nm の LED 光源に対する滞在時間の観測結果を示す。同図

(a)は波長 520nm の連続光、同図(b)は波長 375nm の点滅光の結果である。



(a) 波長 520nm の連続光



(b) 波長 375nm の点滅光

図7 クロゴキブリの滞在時間

これらの実験結果より、連続光で領域 A に滞在する時間が 256s、領域 B では 880s、領域 C では 622s であった。また、(b)に示した点滅光では、領域 A に 954s、領域 B に 670s、領域 C に 177s 滞在した。このことから、クロゴキブリに忌避効果は、波長 520nm の連続光と波長 375nm の点滅光であり、逆に、誘引効果は 375nm の連続光と 520nm の点滅光であることが推定される。

しかしながら、今回の実験結果や予備的な結果であることから、今後も反復実験を行いデータの信頼性の検討を行う予定である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①石倉 聡、後藤丹十郎、平間淳司、他 6 名、黄色 LED パルス光を用いた秋ギクの害虫防除光源装置の開発 — 秋ギク生産に適用可能な放射照度の範囲の特定 —、植物環境工学、査読有、第 24 巻第 4 号、2012. pp244-251

[学会発表] (計 9 件)

- ①平間淳司、「生き物」が発する生体電位に学ぶ「害虫防除」「キノコ栽培」「植物工場」の技術、日本生物環境工学会特別講演、九州の農業気象、第Ⅱ輯 第 23 号、pp102-113、日本農業気象学会九州支部、平成 26 年九州支部合同大会、2014 年 11 月 20 日、九州沖縄農業研究センター合同拠点(熊本市)
- ②加藤淳、平間淳司、原田信昌、網膜電位(ERG)の光応答特性に基づいたゴキブリ類の物理的防除方法の検討、日本生物環境工

学会 2014 年東京大会(明治大学)、2014 年 9 月 10 日、P54、pp262-263、明治大学(東京)

- ③平間淳司、生き物が発する微弱電気に学んだ「食」への応用 — 害虫防除・茸工場・植物工場 — 北陸マッチング交流サロン「Co Cafe」講演会講師、中小機構北陸いしかわ大学連携インキュベータ(i-BIRD)主催、2014 年 3 月 19 日、(金沢市)
- ④平間淳司、「生き物の電気生理」と「光」との関わり — 害虫防除・キノコ工場・植物工場 —、平成 24 年度 農水省委託プロジェクト研究「生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減技術の開発」のうち、害虫の光応答メカニズムの解明及び高度利用技術の開発、(招待講演)、金沢工業大学、2013 年 9 月 12 日(野々市市)
- ⑤石倉 聡、後藤丹十郎、山下真一、梶原真二、平間淳司、他 2 名、秋ギクでの害虫防除効果、蕾径および草丈に及ぼす黄色 LED ランプのパルス照明による影響、平成 24 年度園芸学会秋季大会、花 034、福井県立大学、2012 年 9 月 21 日、(福井市)
- ⑥平間淳司、「光」と「生き物」とのコミュニケーション — 茸工場・植物工場・害虫防除 —、園芸学会 平成 24 年度秋期大会、苗生産研究小集会(招待講演)、福井県立大学、2012 年 9 月 21 日(福井市)
- ⑦平間淳司、日本生物環境工学会 50 周年記念貢献賞受賞講演、害虫防除・茸と植物栽培、日本生物環境工学会 2012 年大会 50 周年記念大会、東京大学、2012 年 9 月 6 日(東京)
- ⑧夏目亮輔、平間淳司、原田昌信、光線利用によるゴキブリの網膜電位応答特性に連動した忌避・誘引効果を狙った物理的防除装置の開発、日本生物環境工学会 2012 年大会 50 周年記念大会講演要旨、B54、pp86-87、東京大学、2012 年 9 月 4 日(東京)
- ⑨平間淳司、光線利用による「生き物」とのコミュニケーション — 植物工場・キノコ工場・害虫防除 — 平成 24 年度 日本生物環境工学会中部支部 役員会 (i n 清水)、2012 年 6 月 9 日 (清水市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)
- [その他] 特になし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

平間淳司 (Hirama Junji)

金沢工業大学・工学部・電気電子工学科教授

研究者番号： 40181185

(2) 研究分担者 なし