

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 4月 17日現在

機関番号： 33302
 研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2009～ 2011
 課題番号： 21560453
 研究課題名 (和文) 害虫の網膜電位特性に連動した黄色 LED 光源による物理的害虫防除装置の試作
 研究課題名 (英文) Development of a Physical Control Device for Insect Pests Using a Yellow LED Light Source, Synchronizing with the Characteristic of Signal of their Electro Retinograms
 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

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、超高輝度黄色 LED を利用した物理的な害虫防除光源装置の開発である。害虫の ERG(網膜電位)信号を計測し、そのデータに基づき夜間での行動観察を関連付け効果的な防除方法を目指す。夜間に連続照射すると防除効果はあるが、照明に伴い植物体の種類により生育障害を起こす。障害なしで有効な黄色 LED のパルス点灯の時間構造は明期 20ms、暗期 80ms、光強度は 2～10 lx が光刺激の持続性を確認でき、キクの開花遅延や生長障害を与えない。また、ERG 信号のデータベース化を構築し、特定害虫種に有効な光源選択を可能とした。

研究成果の概要(英文)：

The purpose of this study is to investigate an insect pest control as an alternative to synthetic chemicals. We have been developing a physical insect pest control lighting source using the characteristics of a high luminosity yellow LED. We measured electroretinogram (ERG) signals induced by the illumination of pest species that are highly harmful to agricultural crops. We are seeking a correlation between the behavior of the insects at night in an open field to establish an effective pest control method. Although it is assumed that continuous illumination at night can contribute to effective pest control, depending on the plant, night time lighting can cause growth inhibition. Our study confirmed that pulsed yellow LED lighting, with 20ms light and 80ms dark periods, and with an intensity of between 2lx and 10lx can be visible to noctuid moths, while causing neither delay in the flowering of chrysanthemums nor growth inhibition. We can establish an emergency system to suggest the design of an effective LED light source to control the pests, by referring to the accumulated data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野： 生体情報工学、電子回路工学、計測・制御工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学・計測工学

キーワード： センシング情報処理

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。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 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。開発にあたり、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)の光に対する ERG 信号を計測し、そのデータと行動観察とを関連付けることにより、より効果的な防除方法が望まれている。

2. 研究の目的

これまでに申請者は、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利用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 Retino Gram: 以後、ERG 信号と呼ぶ) が誘発する。この光受容特性に連動した ERG 信号に基づき、害虫の好きな光/嫌

いな光を推定し、害虫防除光源装置の実用化を目指している。将来的には、発生中の害虫の 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即提案し、栽培現場で生かせる防除光源装置を提供する。

3. 研究の方法

図 1 に示すように防除対象の害虫の複眼に針電極を挿入して、各種光刺激に対する ERG 信号の応答特性を計測して光刺激の有効性を検討する。



図 1 針電極を複眼(カメムシ)に挿入

その後、ERG 信号が大きく反応した光やそうでない光に対する走光性を害虫の行動観察で検証する。即ち、得られた ERG 信号の計測結果を踏まえ、特定波長で発光する LED 光源装置を設計・試作し、それを網室や農場に設置して害虫の行動観察により、その有効性を検証する。

図 2 は各種害虫の複眼に 1 秒間のワンショットパルス光照射時の ERG 信号の代表的な測定結果を示す。

光照射の開始と停止時に追従して、数 mV の ERG 信号が誘発する。このように 1 秒間の光照射によって ERG 信号が誘発するので、電位差 V_{pp} を測定対象として定義している。図示のように V_{pp} は害虫種により ERG 信号波形が異なることをすでに突き止めている。

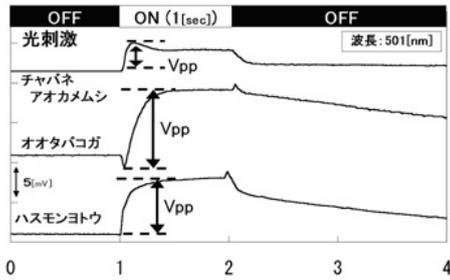


図2 各種害虫種の ERG 信号

【平成21年度】

(1) 実験系の再構築

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した。

(2) ERG信号のゆらぎの再計測

予備的には、ERG信号のゆらぎ特性を計測できた(カメムシ類や蛾類ではのべ100個体程度)。これまでの計測技術のノウハウを生かし、多くのERG信号のゆらぎ特性を解析し、LED光源の照射技術の基礎資料を得る。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。

(3) 慣れ防止および低消費電力化を目指したLED光源制御装置の再設計

ゆらぎ光やパルス光のLED光源パネルの試作運用は予備的に実施済みであるが、その光源パネルに対する防除効果は判然としなかった。この原因としては、ゆらぎの種類(例えば、 $1/f^0$ ゆらぎ、 $1/f$ ゆらぎ、 $1/f^2$ ゆらぎ特性など)のミスマッチやゆらぎの頻度設定などの問題箇所を明らかにしている。そこで上記(2)で述べたように、より多くの害虫種および個体サンプル数を対象として、得られた各種のゆらぎ特性をLED光源パネルの制御装置に反映させた。この制御技術は申請者の電子回路設計・製作技術を活かし、PICや汎用PCあるいはROM化したデジタル回路での基本設計をした。また、次年度実施予定の農地での加害調査用のLED光源装置試作および設置に向けて、全体

システムの再度基本設計を実施した。これまで多くのLED光源パネルを試作した廃物品があるので、それを積極的改造し、有効利用することも考えた。

ところで、菊花では非常に発光の幅は狭く短時間の光(ストロボ光に類似)、しかも非常に強い閃光をターゲットとしており、カテゴリが大きく異なる。とはいえ、害虫防除の観点からは共通項があるので、それぞれの研究成果の特色を相互に乗り入れて共有化した。

【平成22年度以降】

(1) 農地での加害調査

前年度までに得られたERG信号のゆらぎ特性を反映して、光源パネルの制御装置の試作を行い、加害状況の行動観察を実施した。この年度も必要に応じて廃物品のLED光源パネルや制御装置の再生利用も視野に入れた。ただし、ゆらぎデータの一般性の評価や光源の明るさ設定などは、前年度までの成果に応じてこの年度でも再検討する場合もあった。

また、これまで試作してきた太陽電池パネルの容量なども検討した。

(2) ERG 信号の継続計測および新種の害虫対応

前年度に引き続き、ERG 信号の継続計測を実施し、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した。また、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、光強度依存性などを予定した。

過去10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検討した。

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が瞬時に可能とし、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た。

(3) 生物農薬の提案

夜行性の害虫が主体で黄色 LED 光源により、行動抑制や交尾阻害といった「世代交代」での防除効果を目指した。新たな提案として、「食物連鎖」に基づいた生物農薬も検討する。すなわち、大量発生している害虫を補食させた後、その大型昆虫を光で誘引させ、防除対象害虫を減らす方法である。「明るい所には虫が群がる」走光性を積極的に利用し、無害な大型昆虫を誘引させる。つまり、栽培植物には被害を与えず、害虫が大型昆虫に補食され、その結果として防除できる。この考えが生物農薬の考えである。

4. 研究成果

【平成21年度】

(1) 実験系の再構築 現在までに構築してきた ERG 信号計測システムに関して、この年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った。高性能なリニア IC やフィルタ IC などの調査後、新型 IC を採用して基本設計・試作を行った。

(2) 慣れ防止および低消費電力化を目指した LED 光源制御装置の再設計

ゆらぎ光やパルス光の LED 光源パネルの試作運用は予備的に実施済みであるが、その光源パネルに対する防除効果は判然としなかった。この年度はより多くの害虫種および個体サンプル数を対象として、得られた各種の ERG 信号の諸特性を LED 光源パネルの制御装置に反映させた。

この制御技術は申請者の電子回路設計・作技術を活かして基本設計を実施した。また、次年度実施予定の農地での加害調査用の LED 光源装置試作および設置に向けて、これまで多くの LED 光源パネルを試作した廃物品があるので、それを積極的に再利用した。

【平成22年度】

短日植物であるキクの開花遅延を与えず害虫には昼間と勘違いさせて加害をなくす照射方法の確立を実施した。21 年度までに得られた ERG 信号の光応答特性を反映して、光源パネルの光制御回路にパルス点灯を採用した。当初の研究計画に準じてこれまで試作してきた廃物品の LED 光源パネルや制御装置の再生利用を行った。パルス点灯の時間構造については明期 20ms、暗期 80ms、光強度は 2lx(ルクス)から 10lx が、ヤガ類であるオオタバコガとハスモンヨトウには光刺激の持続性が確認でき、さらに切り花のキクには開花遅延や生長阻害が無いことが判明した。光源は、シャープ社製の超高輝度型のレモンイエロー LED を採用して低消費電力で、しかも広い照射範囲を可能とした。図 3 は光

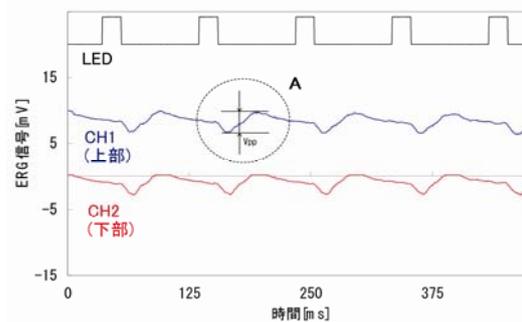


図 3 明期 20[ms]暗期 80[ms]の代表的な ERG 信号波形

強度 5[mW/m²]で固定し、発光パターンを変えたときの ERG 信号波形を示す。この結果から、ERG 信号が十分な光応答特性を示すことがわかった。

また、21 年度に引き続き ERG 信号の継続計測を実施した。この年度では、特にハスモンヨトウを中心に可能な限り多くのデータ(約 100 頭)を収集し、更なる信頼性の高い基礎資料収集を実施できた。



無処理 連続光 点滅光
20-10 20-40 20-80
明期・暗期(ms)

図 4 各種光刺激環境下でのキクの栽培実験

そこで、点滅光下でのキクの開花実験（共同研究先（広島県農業センタ）にて実施した。図 4 にその結果を示す。無処理区を除いて畝面から高さ 1m の放射照度 $20\text{mW}/\text{m}^2$ に設定した。図中の点滅光は明期 20ms、暗期 80ms に設定している。なお、供試品種は小ギク白馬とした。図示の如く、明期・暗期が、20ms・80ms の処理区では、無処理区と同程度の生育状態となり、生育障害が無いことがわかる。

【平成23年度】

(1) ERG 信号の継続計測および新種の害虫対応

22 年度に引き続き ERG 信号の継続計測を実施し、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した。ちなみに、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った。過去 10 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。そこで、ERG 信号の諸特性の大量データベースに基づき、特定害虫種に対する防除に有効な光源選択が瞬時に可能とし、

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の構築も検討した。

(2) その他

新たな取り組みとして、予備的であるが、ゴキブリの複眼の光受容特性である網膜電位 (ERG 信号) 応答特性の計測にも成功した。今後の光線利用による物理的防除方法の見通しを得た。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】（計 2 件）

- ①石倉 聡、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、植物環境工学、査読有、22 巻 4 号、2010、pp. 167-174
- ②平間淳司、光を用いた北陸の生き物の生体制御、電子情報通信学会、査読有、93 巻 10 号、2010、pp. 831-833

【学会発表】（計 6 件）

- ①夏目亮輔、平間淳司、鎌田直人、ホテルの網膜電位応答特性に連動した黄緑色 LED 光源の誘引装置の開発、日本生物環境工学会 2011 年札幌大会 講演要旨、B14、2011 年 9 月 6 日、北海道大学(札幌)
- ②石倉 聡、平間淳司、他 6 名、黄色パルス光を利用した害虫防除技術の開発、日本生物環境工学会 2010 年大会、2010 年 9 月 9 日、京都大学(京都)
- ③平間淳司、二井清友、他 7 名、黄色 LED の終夜パルス点灯によるキクのウワバ類の防除、平成 21 年度日本応用動物昆虫学会中国支部・日本昆虫学会中国支部合同例会、2009 年 10 月 22 日、生涯学習プラザ(福山市)
- ④平間淳司、石倉 聡、他 5 名、黄色蛍光 LED を用いた終夜のパルス点灯が秋ギクの開花に及ぼす影響、園芸学会平成 21 年度秋期大会研究発表およびシンポジウム講演要旨 園芸学研究、2009 年 9 月 26 日、秋田大学(秋田市)
- ⑤平間淳司、東浦 優、他 7 名、黄色蛍光 LED

の終夜パルス点灯が小ギクとスプレーギクの開花及び形質に及ぼす影響、園芸学会平成 21 年度秋期大会研究発表およびシンポジウム講演要旨 園芸学研究、2009 年 9 月 26 日、秋田大学(秋田市)

- ⑥ 平間淳司、審良昌紀、他 5 名黄色LEDを用いたパルス光による害虫防除装置の開発 日本生物環境工学会 2009 年福岡大会 2009 年 9 月 6 日、九州大学(福岡市)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称： 植物の照明栽培方法、防虫用照明装置、および防虫用照明システム

発明者： 平間淳司、小西勝之、石倉 聡、野村昌史、東浦 優

権利者： 同上

種類： 特開

番号： 2011-55367

出願年月日： 2011 年 3 月 1 4 日

国内外の別： 国内

〔その他：講演会・報道発表〕 (計 3 件)

- ① 平間淳司、講演会講師「光技術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 —」、大鹿地域づくり講演会、新潟県妙高市 地域づくり大鹿 主催、2011 年 6 月 11 日、新潟県妙高市
- ② 平間淳司、キクの開花遅らせず夜蛾類の防除に効果、農業共済新聞 北陸ページ、14 面、2011 年 4 月 6 日、新聞記事
- ③ 平間淳司、点滅する黄色LEDでキクには悪影響を与えず利用できる夜蛾類の防除技術、石川中央農業共済組合 NETWORK あんしん、No. 64、2011 年 4 月、農業共済組合機関誌

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・教授

研究者番号： 4 0 1 8 1 1 8 5

(2) 研究分担者 なし