

## 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 25 年 4 月 10 日現在

機関番号：34419  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22580290  
 研究課題名（和文）プラズマフィールドを利用した害虫忌避スクリーン‘プラズマリペラ’の開発  
 研究課題名（英文）A newly devised plasma field screen for avoidance of insects  
 研究代表者  
 松田 克礼（MATSUDA YOSHINORI）  
 近畿大学・農学部・教授  
 研究者番号：30268453

## 研究成果の概要（和文）：

プラズマフィールドを利用した害虫忌避スクリーンを開発し、害虫の侵入が問題となる栽培温室や青果物保存施設、食品工場や穀物の貯蔵倉庫などに適用した。その結果、いずれの施設においても害虫の侵入は観察されず、その有効性が確認された。また、施設的环境は大きく改善され夏場においても良好な環境が維持された。さらに、この装置は、害虫を忌避させるだけでなく、害虫を捕捉できることも明らかとなった。

## 研究成果の概要（英文）：

A plasma field screen (plasma repeller) was proposed to physically exclude insect pests from greenhouses, food factories and warehouses. All insects were completely prevented from passing through the screen. In addition, the capability of the plasma field to capture insects that enter inside the screen was clarified in this study.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1, 100, 000	330, 000	1, 430, 000
2011 年度	1, 000, 000	300, 000	1, 300, 000
2012 年度	700, 000	210, 000	910, 000
年度			
年度			
総計	2, 800, 000	840, 000	3, 640, 000

## 研究分野：農業工学

科研費の分科・細目：農業環境工学・農業生産環境

キーワード：プラズマ・害虫防除・防虫ネット・静電場スクリーン

## 1. 研究開始当初の背景

農業生産現場では、栽培過程、収穫後の貯蔵過程、収穫物の加工過程において、異なる種類の害虫の攻撃を受ける。食の安全性を考慮して、農薬散布は極力制限され、防虫ネットによる開口部の遮蔽が重要な技術となっている。しかしながら、夏期高温時の温度上昇がネックとなり、遮蔽され

た状態で栽培・貯蔵・加工することは難しい状況にある。また、貯蔵施設や加工施設の窓または換気口に、網目の細かい防虫ネットを設置すると極端に通気性が悪くなり、生産品だけでなく労働環境も悪化しているのが現状である。そこで、本申請では、害虫がスクリーンを忌避する条件を害虫ごとに明らかにし、農業生産施設、特に貯蔵施設

プラズマリペラスクリーンに設置して害虫忌避効果を検証する。

## 2. 研究の目的

プラズマフィールドを利用すれば、貯穀・衛生害虫であるタバコシバンムシやショウジョウバエなどをその場から忌避させることができる。このプラズマフィールドを形成する忌避能力をもつ防虫ネット‘プラズマリペラ’を開発し、農業生産施設の窓や換気口に設置すれば、貯蔵施設や生鮮食品の加工場で問題となる害虫の侵入を阻止できる。このスクリーンは開口部が十分に広く、通気性を確保した状態で施設を害虫から遮蔽できる。本申請で提案するプラズマリペラスクリーンにより殺虫剤の使用量が大きく軽減され、安全な食料品生産が可能になる。

## 3. 研究の方法

### プラズマリペラの開発

効率的に害虫を忌避するプラズマリペラの開発  
害虫の忌避効率を高めた電極配置方法の調査  
電極の配置間隔についての検討  
電極の形状と忌避効率の改善  
付加電圧と害虫忌避効果の検討

### プラズマリペラスクリーンの試作と害虫忌避効果の検討

プロトタイプの製作と忌避効率の検討  
スクリーンの設置と害虫忌避効果の検討  
風速と害虫忌避効果の検討  
害虫の種類と忌避効果の検討

### 施設におけるプラズマリペラスクリーンの設置

慣行の防虫ネットとの忌避効果の比較  
夏期高温時における設置効果  
防虫ネット被覆区との害虫発生状況の比較  
施設内環境改善効果の検討  
スクリーン設置による温度・湿度の比較

### 現地実証

施設的环境改善効果の検討  
施設における温湿度を調査  
現行施設との環境条件の改善効果を調査  
プラズマリペラによる害虫忌避効果の検討  
設置による害虫の発生低減の調査  
慣行法に対する減農薬効果と経営評価の実施

## 4. 研究成果

### (1) プラズマ生成：

空気中には、酸素や窒素、二酸化炭素などの気体分子とともに、極わずかに電離したプラスイオンと電子が存在している。このよう

な空気中でコロナ放電を発生させるとプラズマが生成される。マイナス帯電導体をアース導体に近づけると、空間のプラスイオンは負の帯電導体に、電子は正に静電誘導されたアース導体に移動する。移動電子は空気中の酸素や窒素の分子に衝突し、電子を弾き飛ばす。その結果、気体分子は電離されてプラスイオンになり、飛び出た電子はアース導体に向かって移動する。この現象が導体間で繰り返され、多くのプラスイオンと電子が存在する空間になる。このような空間の状態をプラズマ状態という。プラズマには細菌や菌類を殺菌する能力、ウイルスや花粉を不活化する能力がある。コロナ放電は帯電導体の先端で局所的に電子移動が起こる現象である。この現象は導体をマイナスに帯電させてもプラスに帯電させても起こるが、導体をプラスに帯電させた場合、電圧を高めるとコロナ放電はストリーマ放電に移行し、やがてアーク放電が起こってしまう。一方、マイナス帯電では、電圧を高めてもコロナ放電がストリーマ放電に移行せず、ある電圧に到達したときに初めてアーク放電が起こる。このことは、アーク放電が起こる直前まで電圧を上げてもコロナ放電が続くことを意味するので、高い電圧のコロナ放電が利用できる。高い電圧のコロナ放電は多量のプラズマを生成できる。ちなみに、オゾンはコロナ放電ではほとんど生成されない。

### (2) 害虫の忌避効果：

まず、プラズマフィールドに対するキイロショウジョウバエの行動を観察した。この実験装置は、プラズマリペラスクリーンを水平に保ちその上下にアクリル製の透明円筒（直径 30cm）を置いてある。実験では、キイロショウジョウバエの成虫を円筒底面に放ち、成虫が「明るい」天井部に移動する性質を利用した。上方に飛び上ったショウジョウバエは必ずアース網の外側（この場合は下側の面）に一旦留まるので、アース網面の成虫の行動を観察した。網面に到達した成虫がそこに留まり、あるいは網面を行ったり来たりしてスクリーンの内部に入るのをためらった場合には「躊躇行動あり」、速やかに内部に進入した場合には「躊躇行動なし」と判定した。また、内部進入を躊躇した成虫がそのまま飛び去った場合には「忌避行動あり」と判定した。一方、タバコシバンムシの行動を調べる場合には、少し改良した装置を用いた。装置の構造は先程と同じであるが、下側の円筒内部にストローを垂直に立ててある。タバコシバンムシの成虫は棒を「よじ登る」性質があ

るので、この特性を利用してアース網に到達させ、プラズマに対する反応を調べた。判定方法はキイロショウジョウバエの場合と同じである。

挙動解析の結果、どちらの昆虫も 0.4kV の電圧で躊躇行動を示し、忌避行動をとるものも現れた。電圧が高くなると忌避する昆虫の数も増加した。さらに、電圧が高くなるとアース網に留まる時間が長くなり、内部進入を躊躇する様子が窺えた。4kV を超える電圧では、どちらの昆虫もアース網に達するや否や速やかに網面から離れ去った。印加電圧と機械的微小放電や生物的微小放電の関係、あるいは、印加電圧と完全捕捉や忌避行動の関係を考察した。この「考察」から、使用する印加電圧をうまく加減すれば昆虫の忌避行動を利用した「害虫追払い」機能を利用できる。また、スクリーン内部に侵入した害虫については、次に示す「捕捉」機能が活用できる。いずれにしてもスクリーンには2つの機能がある。このような考えを念頭に置き、次の機能評価試験を行った

実験には、申請者らの研究室の収穫果菜貯蔵・加工実験室を使用した。この実験室は室内の温湿度の調節が可能であり、送風ダクトも備え自動換気も行える。小型であるが本項の目的合致したものである。しかしながら、構造上の制約から実験室の窓や通気孔にスクリーンを設置することは困難であったため、実験室内に装置を置き、実用化のための実証試験を行うことにした。この装置は直方体透明アクリル箱(高さ 1.8m、奥行き 1m、長さ 2m)の中央部にスクリーンを取り付け、一方の側面には布製の防虫網(目合い、0.4mm)を張り、その対面には軸流ファンを取付けたものである。風速はスクリーンのアース網面で計測し、タバコシバンムシの場合には毎秒 2m、ショウジョウバエは毎秒 1m に設定した。印加電圧は 4.1kV とし、1ヶ月間の連続稼働とした。検定には、タバコシバンムシとキイロショウジョウバエの成虫を用いた。試験は電圧の印加直後と印加 28 日後の 2 回に分け、それぞれ 1,000 匹の成虫を右側の小部屋に放した。左側の小部屋には誘引剤(ショウジョウバエにはマンゴウの果実片、タバコシバンムシには市販のフェロンモン添加餌)を置いた。

その結果、どちらの成虫においても、電圧を印加しない場合には 12~24 時間の間にほぼ全てが左側の小部屋に移動した。一方、電圧を印加した場合には移動が完全に阻止された。タバコシバンムシの場合、最初の 6 時間あたりまでは右側小部屋の壁面を歩き回

り、スクリーンのアース網面を歩くものも存在したが、その後は部屋の隅で動かなくなった。タバコシバンムシのこのような電場忌避行動についてはビデオに保存してある。ショウジョウバエの場合もほぼ同様の傾向が認められ、アース網に止まっても速やかに飛び去る行動が観察された。スクリーンの効果は印加した直後も、また印加して 28 日が経過した時点でも同じであり、連続運転しても機能は安定していることが示された。

### (3) 害虫の捕捉効果：

次の試験では電場に対する昆虫の挙動を解析した。貯穀害虫は貯蔵食品の中でその生活環を繰り返す害虫であり、ほとんどがコウチュウ目かチョウ目に属している。貯穀害虫は水分を含まない貯蔵食品を餌とするので、倉庫等の施設内で見つかることが多く、野外ではほとんど捕獲されない。また、多くの貯穀害虫が食品の流通とともに伝搬するので、ほとんどが世界共通種となっている。また、貯蔵食品には貯穀害虫を捕食若しくは寄生する昆虫(貯穀害虫の天敵)が生息する場合がある。例えば、捕食性のカメムシ類や寄生性のハチ類がこれに当たるが、これらの天敵昆虫も収穫農作物の害虫として取り扱われている。貯穀害虫の防除には臭化メチルによる燻蒸処理が行われてきたが、モンリオール議定書によりその使用が禁止されたことから、臭化メチルに代わる殺虫技術の開発が急務になっている。現在、貯蔵倉庫や貯蔵コンテナの殺虫については有機リン系やピレスロイド系の殺虫剤が使用できるが、食品の存在下ではリン化水素(ホスフィン)と炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)のみが使用可能な燻蒸剤である。

本申請の試験で用いたタバコシバンムシは貯穀類の主要害虫であり、広範な乾燥農作物およびその加工品(コメ、コムギ粉、コーヒー・ココア粉、タバコ葉など)に生息・加害する。一方、キイロショウジョウバエは生鮮果菜加工場の主要害虫である。このハエの成虫は、生鮮果菜の加工時に発する芳香に引き寄せられ、施設内に侵入する。ヨーロッパの調査では、体表に病原性大腸菌を付着させた果実ハエ類(キイロショウジョウバエもこの1種)の侵入が報告されている。どちらの害虫も成虫が施設内に侵入することから加害のサイクルが始まるので、効果的な侵入阻止技術が防除の基本となる。

最初の実験ではスクリーンへの害虫の吹き入れ試験を行い、各印加電圧の捕捉効率を求めた。この実験では検定昆虫を被覆体に捕捉されるものと捕捉されないものに分け、さ

らに、捕捉された昆虫については、被覆体から逃げることができない状態を「強度捕捉」、捕捉されても脚をバタつかせ体を反転させるなどして逃げることができる状態を「弱度捕捉」と定義した。

害虫試験を行う前に構造電流を発生させる電圧を調べたところ、5.2kVの電圧で構造電流が発生し始め、電圧を高めると構造電流の値も増高した。タバコシバンムシとショウジョウバエの両方ではほぼ同じ結果を得た。すなわち、0.1~0.8kVの範囲では、スクリーン内に吹き入れた検定昆虫は被覆体に捕捉されずアース網を通り抜けてスクリーンの外部に出た。一方1.0~4.0kVの範囲では、電圧の上昇とともに捕捉される昆虫の割合も増加したが、その捕捉程度はいずれも弱いものであった。しかしながら、このような弱度捕捉の場合で、電圧が高くなれば離脱に要する時間が長くなった。強度捕捉（一旦捕捉された昆虫が離脱できない捕捉）は4.1kV以上の電圧域で観察された。この範囲では、捕捉力は万全で捕捉された昆虫に毎秒5mの風を吹き付けても引き離すことができなかった。ちなみに、風速の測定には風速計を使用し、アース網外面における風速を求めている。

#### （4）プラズマリペラスクリーンの応用：

プラズマリペラスクリーンが高い通気性を保持しつつ、外敵（空気飛散性の病原菌胞子や花粉、飛翔性の害虫など）の侵入を阻止する空間遮蔽装置であれば、その用途は極めて広いものとなる。例えば、農業の生産現場では、とりわけ施設栽培農業に多大の恩恵をもたらす。栽培植物は年間を通して多くの病虫害の攻撃を受けるため、その防除には殺菌剤や殺虫剤の使用に頼らざるを得ない現状にある。しかしながら、化学農薬に過度に依存した防除では、殺菌剤耐性菌や殺虫剤抵抗性害虫の出現、農薬残留・環境汚染などの諸問題を生じることが周知のとおりである。このような観点からも新しい病虫害対策が急務となっている。とりわけ害虫による被害は深刻であるが、殺虫剤の使用以外では今のところ防虫網の敷設が主要な対策となっている。しかしながら、深刻な被害をもたらす害虫には小形のもが多く、通常目合い（1.5mm程度）の網では容易に通ってしまふ。小形の飛翔害虫を防ぐには0.3~0.4mm目合いの防虫網が必要となるが、このような細かい網目では通気性が極端に悪く、夏場の高温時の栽培には全く使用できない。また、病原菌胞子（直径が $10\sim 20\ \mu\text{m}$ ）の侵入は上記のような極目網を使用しても阻止できない。

病虫害による農作物の被害は栽培時のみの問題ではない。実際には、「安全かつ安心な農作物およびその加工品」が消費者の手に渡るまでが対象であり、その全段階で有効な病虫害対策がなければならぬ。このような収穫農作物の病虫害防除対策をポストハーベスト防除対策と呼ぶ。この過程では化学農薬の散布は法律で認められていない。収穫した農作物の主要なステージは加工と貯蔵である。例えば、生鮮野菜・果実の加工場では果菜の香気に誘引されてハエ類の侵入が頻繁に起こる。特に小形のハエは防虫網を通過して侵入するが、最悪のケースでは人体病原菌（例えば、病原性大腸菌を体表に付着したハエが侵入した例も報告されている。このような場合には、病原菌は加工中の果実や野菜類の搾汁液で急速に増殖するため、極めて危険な食品汚染・食中毒の問題を引き起こすことになる。防除対策としては、施設の開口部（窓や通気口など）に侵入防止設備を設置する以外、有効な方法はない。

一方、低温貯蔵しない農作物、例えば乾燥穀類（コメ、コムギ粉など）の貯蔵でも貯蔵害虫の侵入が非常に深刻な問題である。これらの害虫は野外から侵入するだけでなく、一旦侵入した害虫が倉庫内の通風・換気施設内に住み続け、内部からも加害を繰り返す。そこで、ダクトや送風口にも侵入防止設備を設置し、殺虫剤の施設燻蒸などが必要となる。しかしながら、このような施設内生息害虫を完全に駆除することは極めて困難であり、たとえ一時的に害虫密度を減少させても速やかに繁殖するケースが多い。このような貯蔵害虫に対する防除対策として、プラズマリペラスクリーンを取り付けたコンテナの利用が有効である。このコンテナは通気性に優れており、規格や大きさを自由に変更できるので、既存の倉庫施設にそのまま適用できる。また、貯蔵前に病虫害汚染された収穫物が混在しても、その病虫害がコンテナ外部に出ることはないので、貯蔵時の二次汚染を防止できる利点がある。

微小生物によるヒトの健康被害は病虫害だけによるものではない。特に、我が国では春先に飛散するスギやヒノキの花粉や秋から初冬に飛散するブククサなどの花粉によるアレルギー発症（花粉症）が深刻な社会問題となっている。この場合でも、良好な通気性ととも花粉の屋内進入を防止できる装置があれば、花粉飛散時期における生活環境の改善と健康の維持に大きく貢献する。

文化施設においても病虫害の被害が深刻である。例えば、図書館や美術館・博物館に

は多数の貴重な書籍類が所蔵されているが、それらの書物にカビが発生（例えば、ペニシリウム属菌が紙のセルロースを炭素源として繁殖）するケースや、ヒラタチャタテムシのような害虫の食害を被るケースが頻発している。この場合も書庫などに一旦病害虫が侵入すると、そこで繁殖・蔓延して際限なく被害を拡大させるので、病害虫の最初の侵入を防止することが貴重な文化財の保全に貢献するとともに、燻蒸などの処理に要する莫大な経費の節減につながる。

申請者の考えでは、特に、地震・津波などが発生し、電力供給が遮断された緊急災害時にその効力が発揮できるものと想定している。プラズマリペラスクリーンの電力は小型の太陽光発電で賄えるので、通常の電力供給が停止した場合や夏の高温期でも電源設備のない野外においても、病原菌胞子や害虫を入れない空間を迅速に設営することができる。このような空間は薬品の調剤・処方操作や被災負傷者の簡易処置室に利用できるものと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

##### 1. 査読有

Yoshinori Matsuda, Koji Kakutani, Teruo Nonomura, Junji Kimbara, Shin-ichi Kusakari, Kazumi Osamura, and Hideyoshi Toyoda

An oppositely charged insect exclusion screen with gap-free multiple electric fields

1. Journal of Applied Physics  
112:116103-116105 (2012)  
doi.org/10.1063/1.4767635

##### 2. 査読有

Koji Kakutani, Yoshinori Matsuda, Kayo Haneda, Dai Sekoguchi, Teruo Nonomura, Junji Kimbara, Kazumi Osamura, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda

An electric field screen prevents captured insects from escaping by depriving bioelectricity generated through insect movements

Journal of Electrostatics  
70:207-211 (2012)  
doi:10.1016/j.elstat.2012.01.002

##### 3. 査読有

Koji Kakutani, Yoshinori Matsuda, Kayo Haneda, Dai Sekoguchi, Teruo Nonomura, Junji Kimbara, Kazumi Osamura, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda

Insects are electrified in an electric field by deprivation of their negative charge

Annals of Applied Biology 160:250-259  
(2012)  
doi:10.1111/j.1744-7348.2012.00538.x

##### 4. 査読有

Koji Kakutani, Yoshinori Matsuda, Teruo Nonomura, Junji Kimbara, Kazumi Osamura, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda

Practical application of an electric field screen to an exclusion of flying insect pests and airborne fungal conidia from greenhouses with a good air penetration

Journal of Agricultural Science 4: 51-60  
(2012)

doi.org/10.5539/jas.v4n5p51

##### 5. 査読有

Teruo Nonomura, Yoshinori Matsuda, Koji Kakutani, Junji Kimbara, Kazumi Osamura, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda

An electric field strongly deters whiteflies from entering window-open greenhouses in an electrostatic insect exclusion strategy

European Journal of Plant Pathology  
134:661-670 (2012)  
DOI 10.1007/s10658-012-0014-5

##### 6. 査読有

Yoshinori Matsuda, Teruo Nonomura, Koji Kakutani, Yoshihiro Takikawa, Junji Kimbara, Yoshihiro Kasaishi, Kazumi Osamura, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda

A newly devised electric field screen for avoidance and capture of cigarette beetles and vinegar flies

Crop Protection 30:155-162 (2011)  
doi:10.1016/j.cropro.2010.09.001

##### 6. 研究組織

###### (1) 研究代表者

松田 克礼 (MATSUDA YOSHINORI)

近畿大学・農学部・教授

研究者番号：30268453