

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06299

研究課題名(和文) 静電場を利用した雑草繁殖抑制システムの開発と静電ハービフェンスへの応用

研究課題名(英文) Development of weed control systems using electrostatic fields and applied to electrostatic herbicidal fence

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本申請では、静電場で誘発されるアーク放電を利用した蔓性雑草の伸長抑制システムを開発した。蔓性雑草のモデルとして葛を使用し、その成長点にアーク放電によりダメージを与える条件を検討した。得られた結果をもとに、樹脂フレーム内に帯電させた導体電極とアースに接地された電極を5～10センチ間隔で平行に配列させ、静電雑草抑制ネットを作製した。葛には導体特性があり、ネットに這い上り電極間に侵入した成長点はアーク放電を受け、伸長が抑制された。本システムの電源は市販されているパルス式の電気牧柵器をそのまま使用しており、ヒトや動物に対する安全性、および、火災の発生を起こさないことは保障されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クズは秋の七草のひとつとされているが、農地や植林に侵入すると、作物や樹木に巻き付いて覆いかぶさり、被害を及ぼす有害雑草である。日本の農業において、その被害額は数十億円と推定されており、さらに、公共緑地を含むと二百億円以上になると考えられている。被害を受けている公共緑地としては、道路や線路わき、用水路や側溝、電柱や高圧鉄塔などがあり、メガソーラー施設にも被害が出ている。また、電柱を登って電線に巻き付き、その重さで電線を切断する被害なども報告されている。その対策としては、除草剤の開発が中心であり、本申請では、静電気を利用した新規の除草システムを確立した。

研究成果の概要(英文)：I developed a simple electrostatic method of suppressing the invasive growth of kudzu vines as an alternative to the use of herbicides for weed control. Exposure of the vine apex to a high-voltage arc discharge was the focal point of the study. To achieve this, I constructed a ladder-shaped apparatus by arranging several parallel copper rods at specific intervals in an insulating frame. The top rod was linked to a direct current voltage generator and pulse-charged at 10 kV, and the remaining rods were linked to a grounded line. Because of the conductive nature of the grounded vine body, the vine climbing along the grounded rods was subjected to a pulsed arc discharge from the charged rod when its apex entered the electric field produced around the charged rod. This destroyed the tip growing point and prevented vine elongation. A simplified weed control apparatus was developed that can be fabricated for practical use from inexpensive, ready-made materials.

研究分野：環境工学

キーワード：除草システム 蔓性雑草 葛 静電気 電気牧柵器 有機農業 無農薬

1. 研究開始当初の背景

空気中に帯電した絶縁体が存在すると、その周辺に静電場が形成される。静電場ではクーロン力が働き、プラス帯電している絶縁体にはマイナスに帯電した物体が、マイナス帯電している絶縁体にはプラスに帯電した物体が引き寄せられる。ここでのポイントは、絶縁体の帯電と逆の極性に帯電している物だけが引き寄せられることである。通常、空中を飛んでいる蚊やハエは、プラス、またはマイナスのどちらにも帯電しておらず、電気的に中性である。帯電した絶縁体に中性の昆虫を引き付けるためには、昆虫を絶縁体とは逆に帯電させる必要がある。そこで、申請者は、アースに接地された導体の利用を試みた。静電場に入った昆虫の自由電子は、マイナスに帯電した絶縁体から斥力(反発するクーロン力)を受け、接地された導体を通してアースに流れる(左上の図)。その結果、自由電子を無くした昆虫はプラスに帯電し、クーロン力を受けて、絶縁体に引き付けられることが明らかとなった。この原理を応用すれば、蔓性雑草の頂芽を引き付けることが可能である。雑草は電気を通す導体的特性をもち、かつ、地面に根を張ることにより常にアースに接地されている。そこで本申請では、蔓性の雑草の中でも、特にクズに焦点を合わせ、静電気を利用した新しい除草ネットの開発を試みることにした。

2. 研究の目的

クズの蔓は 10m 以上に伸長し、分枝を繰り返して周囲に覆い被さる様に成長する。根は長さ 1.5m、太さ 20 cm 以上の塊根となり、デンプンを蓄えることができる。冬に葉が枯れてもそのデンプンを利用して越冬し、春になると旺盛に繁殖する有害雑草である。除草剤を散布して葉や茎を枯らすことはできるが、根の位置を特定することが難しく、効果的に根を枯らせないのが現状である。現在では、人手による草刈り機を用いた定期的な除草作業が慣行となっている。そこで、本申請では、静電気力を利用してクズの頂芽を引き付け、そこにプラズマを照射して成長点にダメージを与える静電除草装置を提案する。

農薬が植物に吸着する効率を改善するため、静電気を利用した農薬散布法は開発されている。しかしながら、静電気を利用して除草する技術は実用化されていない。本研究の独自性は、申請者らが考案して開発した病害虫防除装置「静電場スクリーン」を発展させ、新たな雑草防除装置の開発に取り組むことである。この防除システムは 2 つの技術で構築されている。ひとつは伸長してくるクズの頂芽を引き付けることである。アースに接地した導体を利用することにより、帯電した絶縁体に標的が引き付ける原理は、アースに接地された物体が引き付けられることにも適用できる。本申請の防除対象のクズは地面に根を張ることにより、自然にアースされており、帯電した絶縁体に頂芽を引き付けることができる。もうひとつは、頂芽にダメージを与えて成長点を破壊し、伸長を阻止することである。空気中に静電場が存在すると、空気は電離した状態になる。空気が電離すると、そこにはプラスイオンとマイナスイオンが存在するプラズマ状態が生成され、ウイルスや細菌、病原菌を不活化できることが知られている。申請者は、帯電体をマイナスに帯電させるとマイナスイオンが、プラスに帯電させるとプラスイオンとともにオゾンが生成されることを確認している。また、可塑剤を添加した軟質性塩化ビニルなど、ある程度の電気伝導度をもつ絶縁体を帯電させると、より効果的に安定してプラズマ状態が生成できることを発見した。そこで本申請では、蔓性雑草であるクズの頂芽を引き付け、ピンポイントでプラズマを照射して成長点にダメージを与える新しいタイプの除草システムを開発することにした。

3. 研究の方法

本研究では、クズの頂芽を効率的に引き付けられる絶縁体の材質を明らかにし、次に、効率的にプラズマを生成できる材質の電気伝導性を明らかにする。その伝導性をもつ絶縁体を用いてネットを作製し、フェンスの下部に取り付け、クズに対する防除効果を検討する。また、ネットに柔軟性を与え、樹木の下部に巻き付けることにより、樹木に対する保護効果を検討する。最終的には、ネットの強度と構造を検討し、除草機能をもつフェンス「静電ハービフェンス」を作製する。

絶縁体に導体を通して高電圧を与えると、絶縁体は誘電分極して静電気帯電する。その近くにアースされた導体が存在すると、その空間に静電場が形成される。絶縁体の抵抗値が極度に高いと、静電場で生成された電離イオンが絶縁体に引き寄せられ、帯電した絶縁体表面で電荷の受け渡しが起こる。その結果、時間とともに帯電レベルは低下し、やがて静電場は消失する。一方、抵抗値が極度に低いと、帯電した絶縁体から導体に対してアーク放電が起こり、瞬時に静電場が消失する。再度絶縁体が帯電すると静電場が形成され、これが繰り返される。申請者が絶縁体の抵抗値を変化させて検討したところ、 10^9 に調整した場合にのみ、効果的に昆虫が捕捉され

た。また、抵抗値を 10^8 に調整すると、昆虫を引き寄せると同時に、電圧の大きさに対応して、コロナ放電やストリーマ放電を発生させることができた。コロナ放電やストリーマ放電が起こると空気が電離し、そこにプラズマが形成される。その結果、通常の帯電状態ではプラズマは生成されず、導体特性をもつ昆虫が侵入するとプラズマが生成されること、さらに、プラズマはピンポイントで生成され、昆虫が殺虫されることを確認した。そこで、大地に根を張ることによりアースされている蔓性雑草への適用を考えることとした。

除草剤の開発も進み、ほとんどの雑草に対しては有効な土壌散布剤が存在している。しかしながら、蔓性雑草のクズに対しては根の位置の特定が難しく、除草剤の散布より、ひとの手による除草作業が中心となっている。その除草作業の多くは、フェンスやネット、樹木に巻き付いて伸びている茎の切断と除去である。この点に着目し、既存のフェンスやネットに取り付け可能な静電除草ネットの開発を行うこととした。標的は、地面をはって伸長してくるクズの頂芽である。本申請課題は、頂芽を静電気力で引き付け、局所的にプラズマを照射して、成長点にダメージを与える新しい除草システムの提案である。

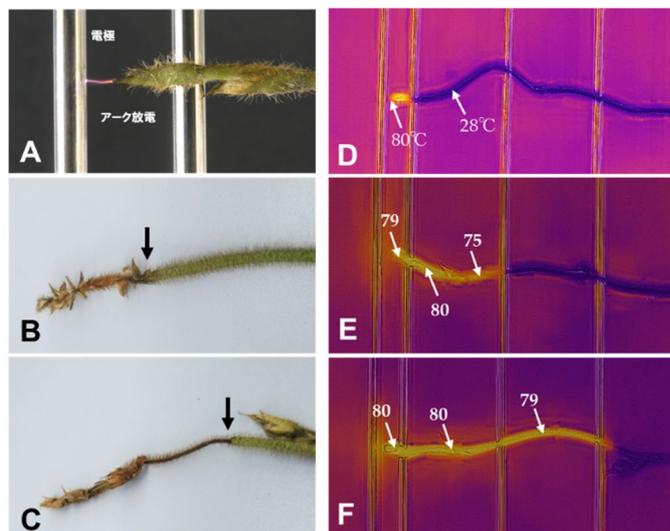
4. 研究成果

クズは秋の七草のひとつとされているが、農地や植林に侵入すると、作物や樹木に巻き付いて覆いかぶさり、被害を及ぼす有害雑草である。日本の農業において、その被害額は数十億円と推定されており、さらに、公共緑地を含むと二百億円以上になると考えられている。被害を受けている公共緑地としては、道路や線路わき、用水路や側溝、電柱や高圧鉄塔などがあり、近年では、メガソーラー施設にも被害が出ている。その旺盛な繁殖力が着目され、家畜の飼料、緑化や砂防を目的としてアメリカへ導入されたが、それらが野生化し、日本と同様に公共緑地に被害を及ぼしている。近年では、電柱を登って電線に巻き付き、その重さで電線を切断する被害も報告されている。アメリカにおける被害額は500億円以上と推定され、クズ防除の世界的市場は数千億円と考えられている。その対策として取り組まれている研究は、除草効果の高い農薬の開発が中心である。そこで本申請では、静電気を利用した‘頂芽の引き付けと頂芽へのピンポイントプラズマ照射’という新規の除草システムを提案し、実用化した。

令和1年度

雑草のクズを効果的に攻撃するため、クズの形態と生態を調査した。クズのつるの太さと節間（脇芽間）の長さ、および、クズのつるの成長速度を調査した。その結果、成長点近傍の先端は1～3mm、先端から10cm以上の位置では5～10mmに成長すること、また、6月から9月の3か月で10m以上伸長することが確認できた。成長点を効果的に破壊するため、放電条件について検討した。高圧電源とバッテリーは、実用化を考慮し、電気柵用のソーラー式パルス電源を使用した。パルス幅は1秒間に1回、放電電流は1mAの装置である。放電の条件として、まず、電極とクズの先端との距離を決定し、次に、その距離を固定してクズの先端とアースラインとの距離を調査した。その結果、電極と先端の距離は5mm以内、先端とアースラインの距離は10cm以内に設定することが必須の条件であると決定できた。

放電がクズの温度上昇に及ぼす影響を検討するため、サーモグラフィーカメラを購入し、放電回数および放電時間がクズの成長点近傍の温度上昇に及ぼす影響を調査した。電極とクズの先端との距離を固定し、クズの先端とアースラインの距離を5～60cmの間に設置し、サーモグラフィーを用いてクズの温度上昇をモニターした。なお、放電時間は1～5分間とした。その結果、5分間の放電処理によってクズの先端における温度上昇は、先端とアースラインの距離が5～10cmの間においてのみ誘起され、その上昇は、25度から35度前後であることが明らかとなった。放電時間を5分以上に設定した場合においても温度上昇は確認されず、最高温度は35度前後に落ち着くことを確認した。



令和2年度

野外に設置するハービフェンスの条件を調査し、試作器の作製と野外試験を実施した。パルス式高圧電源は、1回 / 秒および3回 / 秒の印加電源を使用した。その結果、1回 / 秒の電源で十分にクズに対する抑制効果を確認できた。次に、野外に設置する際に太陽光電池を利用するため、市販の電気柵器の適用を試みた。市販されている電気柵の消費電力は小さく、太陽電池からの入力でも長時間の抑制効果を確認できた。また、電気伝導度の異なる電極については、トワロン株式会社の素材が有効であり、その作製と提供を依頼した。現在、得られた抑制効果に対して、その耐久性や安全性を検討している。高電圧を利用するとイオンだけでなく、有害なオゾンも生成される。そこで、電離イオンおよびオゾン濃度を測定した。その結果、プラスイオン、マイナスイオンともに検出されず、問題と考えていたオゾンも検知されなかった。その要因としては、高電圧は利用しているが、パルス式であるため検出限界以下になると判断した。オゾンの生成がないことから雑草以外の植物に対して影響を与える心配がなく、野外への設置が可能となった。



令和3年度

近畿大学農学部(奈良県奈良市)の敷地内において葛が発生してフェンスに覆い被さる場所を選定し、そのフェンスに静電雑草防除ネットを設置した。また、近畿大学湯浅農場(和歌山県湯浅町)の敷地を取り囲むフェンスのクズが覆い被さる場所にも静電ネットを設置し、実用化に向けて防除効果を検討した。パルス式高圧電源は、1回 / 秒の電圧を印加する市販されているアポロ社製の電源を適用した。電源は太陽光電池を利用するため、その充電能力と出力に及ぼす影響も同時に調査した。市販されている電気柵電源の消費電力は小さく、太陽電池からの出力でも長時間の抑制効果を確認でき、電源としての問題は無かった。また、電極材料として利用したトワロン株式会社の素材は有効であり、その耐久性と安全性も通年を通して確認できた。

1年の試験期間で発見できた問題点として、蔓性以外の雑草の繁殖があげられる。本申請の雑草防除ネットはフェンスに立てかける様にセットするため、フェンスに這いあがり、巻き付く雑草には効果的であり、葛以外のつる性雑草に対しても効果的であった。しかしながら、フェンスに巻き付かない、這いあがらない雑草に対しては効果が示せず、フェンスを保護することに対する目的は達成できたが、フェンスの土台部分には多くの雑草が繁殖し、背が高く伸長した雑草の中にはフェンスにもたれ掛かる場合も見受けられた。今後はこれらの雑草に対する対応も考えて研究を進めたい。



学術論文

1)

Use of Pulsed Arc Discharge Exposure to Impede Expansion of the Invasive Vine *Pueraria montana*
Yoshinori Matsuda; Yoshihiro Takikawa; Koji Kakutani; Teruo Nonomura; Kiyotsugu Okada; Shin-ichi
Kusakari; Hideyoshi Toyoda
Agriculture, 2020. 6001-6012.

2)

Use of Electric Discharge for Simultaneous Control of Weeds and Houseflies Emerging from Soil
Yoshinori Matsuda; Kunihiro Shimizu; Takahiro Sonoda; Yoshihiro Takikawa
Insects, 2020. 8611-8615.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Matsuda Yoshinori, Nonomura Teruo, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Physical Methods for Electrical Trap-and-Kill Fly Traps Using Electrified Insulated Conductors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 253 ~ 253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects13030253	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 Takikawa Yoshihiro, Nonomura Teruo, Sonoda Takahiro, Matsuda Yoshinori	4. 巻 12
2. 論文標題 Developing a Phototactic Electrostatic Insect Trap Targeting Whiteflies, Leafminers, and Thrips in Greenhouses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 960 ~ 960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects12110960	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 Matsuda Yoshinori, Nonomura Teruo, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Turkestan Cockroaches Avoid Entering a Static Electric Field upon Perceiving an Attractive Force Applied to Antennae Inserted into the Field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 621 ~ 621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects12070621	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 Kakutani Koji, Takikawa Yoshihiro, Matsuda Yoshinori	4. 巻 12
2. 論文標題 Selective Arcing Electrostatically Eradicates Rice Weevils in Rice Grains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 522 ~ 522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects12060522	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 Kakutani Koji, Matsuda Yoshinori, Nonomura Teruo, Takikawa Yoshihiro, Takami Takeshi, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 18
2. 論文標題 A Simple Electrostatic Precipitator for Trapping Virus Particles Spread via Droplet Transmission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 4934 ~ 4934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph18094934	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 Matsuda Yoshinori, Nonomura Teruo, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Physical Methods for Electrical Trap-and-Kill Fly Traps Using Electrified Insulated Conductors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 253 ~ 253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects13030253	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 Kakutani Koji, Matsuda Yoshinori, Nonomura Teruo, Takikawa Yoshihiro, Osamura Kazumi, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Remote-Controlled Monitoring of Flying Pests with an Electrostatic Insect Capturing Apparatus Carried by an Unmanned Aerial Vehicle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 176 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture11020176	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 Yoshinori Matsuda, Yoshihiro Takikawa, Koji Kakutani, Teruo Nonomura, Kiyotsugu Okada, Shin-ichi Kusakari, Hideyoshi Toyoda	4. 巻 10
2. 論文標題 Use of Pulsed Arc Discharge Exposure to Impede Expansion of the Invasive Vine <i>Pueraria montana</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 600 ~ 600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture10120600	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 Matsuda Yoshinori, Shimizu Kunihiko, Sonoda Takahiro, Takikawa Yoshihiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Use of Electric Discharge for Simultaneous Control of Weeds and Houseflies Emerging from Soil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 861 ~ 861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects11120861	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 Matsuda Yoshinori, Takikawa Yoshihiro, Kakutani Koji, Nonomura Teruo, Toyoda Hideyoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Analysis of Pole-Ascending Descending Action by Insects Subjected to High Voltage Electric Fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 187 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects11030187	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 Yoshihiro Takikawa, Yoshinori Matsuda, Teruo Nonomura, Koji Kakutani, Shin-ichi Kusakari and Hideyoshi Toyoda	4. 巻 12
2. 論文標題 Exclusion of Flying Insect Pests From a Plastic Hoop Greenhouse by a Bamboo Blind-Type Electric Field Screen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Science	6. 最初と最後の頁 50-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/jas.v12n2p50	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 Yoshihiro Takikawa, Koji Kakutani, Yoshinori Matsuda, Teruo Nonomura, Shin-ichi Kusakari and Hideyoshi Toyoda	4. 巻 11
2. 論文標題 A Promising Physical Pest-Control System Demonstrated in a Greenhouse Equipped With Simple Electrostatic Devices That Excluded All Insect Pests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Science	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/jas.v11n18p1	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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 空気処理装置及びその処理方法	発明者 角谷晃司、松田克 礼、野々村照雄、瀧 川義浩	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-195456	出願年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------