

アーク放電の誘発を利用した設置型自動草刈装置の開発

近畿大学農学部農業生産科学科 教授 松田克礼

1. 研究概要

電気柵の柵線に動物の濡れた鼻が近づくと、アーク放電（空中放電）が起こり、動物を通して電荷が大地に移動する。同様に、植物が伸長して柵線に近づくと、空中放電が誘起され、電荷は植物体を通して大地に移動する。この現象を利用すれば、成長して柵線に近づく雑草に空中放電によるダメージを与え、その伸長を抑制できる。そこで本申請では、空中放電の誘発を利用した雑草感知センサーへの応用と、センサーを適用した全自動の設置型草刈装置の開発を試みた。この装置を除草したい場所に設置し、太陽電池で稼動すれば、人手を介さず全自動での草刈が可能になる。また、道路脇や中央分離帯に設置することにより、従来の除草作業が軽減され、作業者の安全性を確保できるとともに、交通渋滞の回避も可能になる。

本申請の草刈装置は、設置式の全自動であることから、人手に頼らない次世代の雑草管理技術の提案になると期待できる。

2. 研究の背景

空中放電は、導体表面に存在する電荷が別の導体に移動する現象である。空中を移動できる距離は、導体間の電位差と移動先の電気伝導度に依存している。さらに、空中放電の誘起には、移動先の導体がアースに接地されていることが必須の条件となる。通常、植物は大地に根を張っており、アースに接地された状態である。一方、電気柵からの電荷は、回路を移動する通常の電流と異なり、導体の表面を移動する。電荷にとって水の表面は移動しやすい導体である。電荷は、水分子が存在すれば、抵抗を受けることなく、その表面を自由に移動できる。植物は多くの水分を含んでおり、電荷は、植物体表面をアースに接地されている導体として移動できると考えられる（図1）。本研究の新規性は、電気柵の柵線と植物の距離に対応して、誘発される空中放電を雑草感知センサーに応用することである。さらに、本研究では、雑草感知センサーと植物がもつ水分特性を組み合わせ、全自動の設置式草刈装置の開発を試みた。

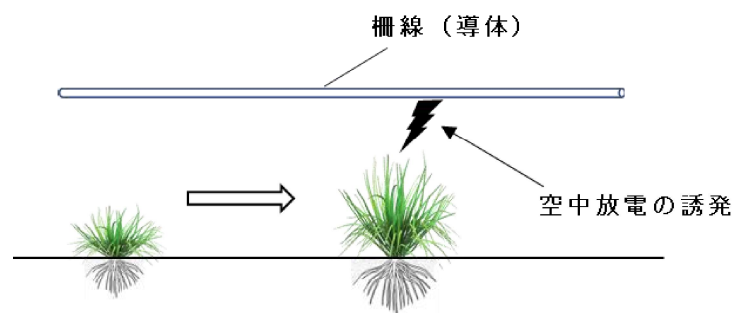


図1. 雑草による空中放電の誘発

3. 研究の目的

高速道路における植栽作業の9割以上が、のり面や道路脇、中央分離帯の除草作業である。傾斜の少ない道路脇や路肩の作業には、芝刈りロボットやトリマー式の自走草刈機を取り入れ、安全と景観保護のため定期的に除草を行っている。また、傾斜のあるのり面やその道路脇の除草には草刈機を取り付けた多目的作業用トラック（ユニモグ）なども利用されている。しかしながら、道路わきには街

路樹、中央分離帯には低木や草花が植え込まれており、現状の植栽作業は、草刈り機による熟練者の手作業が中心となっている。また、近年、設置面積が増加傾向にある大型の太陽光発電施設においても、雑草が下の架台からパネル面にまで伸長し、従来の手作業に代わる除草方法の開発が期待されている。そこで、本申請では、獣害対策として市販されている電気牧柵器を利用し、雑草の成長によって誘発される空中放電を感知センサーとして利用した‘設置式の全自動草刈装置’の開発を試みることにした。

現在、農薬を効率よく植物に吸着させるため、静電気の帯電を利用した農薬散布法が開発され、実用化されている。しかしながら、現在のところ、空中放電による除草技術は開発されていない。本研究の独自性は、申請者らが害虫防除システムとして取り組んできた空中放電技術を発展させ、人手に頼らない‘設置式全自動草刈装置’を開発することにある。この草刈装置は2つの特徴をもっている。ひとつは、伸長してくる雑草の頂芽または葉に狙いを定め、誘発された空中放電のダメージによって、雑草の伸長を全自動で抑制できることである。もうひとつは、いったん設置すれば、雑草感知センサーにより、雑草は全自動で一定の高さに伸長抑制され、人手によるメンテナンスを必要としないことである。雑草は大地に根を張っていることから常にアースに接地された導体であると考えられる。柵線から遠い位置（3～5 cm）の場合、雑草は感知されず、空中放電は誘発されない。雑草が伸長して柵線から1～2 cmまでに近づくと、1秒間に1回の空中放電を受けることになる。また、複数の雑草が同時に近づくと、柵線は、最も近い雑草を感知して放電を与え、その後、次の雑草への放電を開始する。空中放電は、柵線により全自動で認識され、雑草は常に一定の高さに管理されることになる。本システムで使用する電源は、一般に市販されている電気牧柵器である。この電源は、1秒間に1回の電圧を0.03秒間印加するパルス式を利用している。すなわち、ジュール熱の発生は無く、火災の発生や人体への影響を引き起こすことはない。設置式としては、柵線をエキスパンドメタルや金属格子などに置き換え、柵線で得られた結果をもとに、効率的に除草できる条件を検討することとした。

4. 研究の位置づけ

イノシシ対策の電気柵は、地上から20～30 cmの高さにアルミの柵線を張り、イノシシの湿った鼻が柵線に近づくと、鼻に向かって空中放電が起こる仕組みである。ただし、イノシシの脚が大地に接触し、アースとして接地していることが必須の条件である。イノシシの脚が石や草、木の上にあると、空中放電は発生せず、効果を発揮できない。空中放電の発生には、放電を受ける側がアースに接地していることが重要なポイントとなる。また、成長した植物が柵線にもたれかかったり、接触したりした場合でも、植物に対して放電は起こらない。事前の実験から、植物は不完全な導体で、植物体の長さが10～15 cm程度までなら電荷は移動できるが、それより長くなると表面抵抗が大きくなり電荷が移動できなくなることを確認している。さらに、植物体の長さとの抵抗の関係を調べたところ、比例関係にあることが分かった。そこで本研究では、柵線で得られた雑草の感知条件を参考に、雑草の抑制範囲を線から面に広げ、エキスパンドメタルや金属格子を利用して広範囲の雑草が感知され、空中放電が誘発される設置式の草刈装置の開発を試みることにした。

化学的な除草に関しては農薬の開発も進み、ラウンドアップのように、多くの雑草に対して有効な除草剤も存在している。しかしながら、長期的な使用による薬剤耐性をもつ雑草の出現が懸念され、また、環境保全の観点からも薬剤による除草は縮小傾向にある。さらに、除草剤により雑草を根こそぎ枯死させると、土壌が安定して保持されなくなり、豪雨による被害の増大が危惧される。代わりの手段として、防草シートが利用されているが、耐久性や産業廃棄物処理の問題から、現在では熟練者

の手による草刈作業が中心となっている。一方、草刈作業の機械化も進められ、平面を作業するラジコン式やハンドガイド方式の草刈作業車、ある程度の斜面に対応できる重機カッターを取り付けたクサカルゴンなどが利用されている。しかしながら、道路脇にはガードレールとその支柱、スノーポールや道路標識などが設置されており、機械作業できる範囲は限られている。国内外を問わず、草刈作業は薬剤散布から機械的草刈作業に移行しており、有効な草刈方法の開発が期待されている。また、再生可能エネルギーの利用を目的として、世界規模で大型のソーラー発電施設の設置が進んでいる。このソーラーパネルの架台周辺の雑草も問題となっており、足場が邪魔になって薬剤散布も難しく、ラジコン式だけでなく、手作業による草刈も困難な状況となっている。そこで本申請では、この課題に着目し、空中放電の誘発を利用した設置式の全自動草刈装置を提案することとした。本装置で誘発された空中放電による電流は、エキスパンドメタルや金属格子から植物体を通して大地へ流れるが、植物の根は大地の内部に存在しているため、静電遮蔽されて影響を受けない。すなわち、雑草が枯れるのは、先端部分から地面までの範囲に収まり、根は生存した状態で残ると考えられる。

5. 研究の方法

本研究では、単子葉類および双子葉類の雑草の導体特性を調査し、全ての雑草に適用できる金属導体と雑草の先端との距離の関係を明らかにする。また、それぞれの雑草の導体特性から金属導体と地面との距離関係を調査し、すべての雑草において空中放電が誘発される最適条件を決定する。次に、

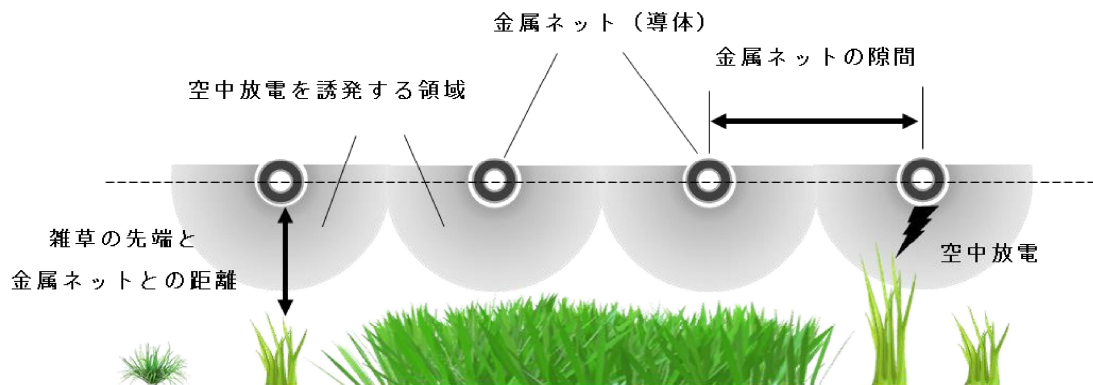


図2. 空中放電が誘発される大地からの金属ネットまでの距離と空中放電が誘発される領域

金属導体が雑草を感知できる領域を調べ、導体を配置する間隔や装置の基本構造を確定する（図2）。

決定した条件で、金属導体の構造をエキスパンドメタルやパンチングメタル、亀甲金網などに変更して全自動の設置式草刈装置を作製し、実験圃場の畦道や実験温室の周辺、路肩の歩道に設置して雑草の抑制効果を検討する。また、1年草や多年草、種子で増える雑草や地下茎で増える雑草など、異なる雑草に対する効果を調査する。さらに、天候や気温、湿度などの自然環境の変化に対してもその有効性と耐久性を検討する。次に、大学への進入路の道路脇や路肩、ガードレールの架台部分に本装置を取り付け、通常的环境下における有効性と問題点を調査する。確認された問題点には改良を加え、装置の改善を継続する。また、大学に設置されている太陽光発電施設の架台に装置を取り付け、蔓性雑草などの繁殖能力の大きい雑草に対する効果についても検討する。

6. 研究の結果

【導体電極の材質と除草装置の基本的構造および雑草に及ぼす効果について】

本研究では、単子葉類および双子葉類の雑草の導体特性を調査し、全ての雑草に適用できる導体電極の材質と雑草の先端との距離関係を検討した。また、それぞれの雑草の電気的特性から導体電極と地面との距離関係を調査し、すべての雑草において空中放電が誘発される最適条件を決定した。

導体電極の材質について：ステンレス線、アルミ線、銅線、鉄線において差はなく、導電性のある金属であれば使用可能であることが明らかとなった。

除草可能な雑草の種類について：調査した単子葉類および双子葉類のすべての雑草において空中放電が誘発され、雑草の生育が抑制された（表1）。

表1. アーク放電の誘発によって成長を抑制された雑草

双子葉植物		単子葉植物	
和名	学名	和名	学名
ハコベ	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	エノコログサ	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv
ヤハズエンドウ	<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>nigra</i> (L.) C.L. L.	メヒシバ	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel
ハツジオン	<i>Erigeron philadelphicus</i> L.	オヒシバ	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn
シロクローバー	<i>Trifolium repens</i> L.	スズメノカタビラ	<i>Poa annua</i> L.
コニシキソウ	<i>Euphorbia supina</i> Rafin.	スズメノテッポウ	<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.
ノコギリソウ	<i>Achillea alpina</i> L.	カラスムギ	<i>Avena fatua</i> L.
セイヨウタンポポ	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	チガヤ	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Beauv
オオイヌノフグリ	<i>Veronica persica</i> Poir.	ツククサ	<i>Commelina communis</i> L.
ホトケノザ	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	ヤマスカボ	<i>Agrostis clavata</i> Trin.
オウショウヨモギ	<i>Artemisia princeps</i> Pampanin	イタリアンライグラス	<i>Elymus tsukushiensis</i> Honda var. <i>transiens</i>
カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i> L.	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i> L.
チドメグサ	<i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> Lam.	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i> L.
オオバコ	<i>Plantago asiatica</i> L.	スズメノヒエ	<i>Paspalum dilatatum</i> Poir.
オオワダチソウ	<i>Solidago altissima</i> L.	シヨクヨウガヤツリ	<i>Cyperus esculentus</i> L.
アキノノゲシ	<i>Lactuca indica</i> L.	キタメヒシバ	<i>Digitaria ischaemum</i> (Schreb.) Muhlent.
ノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	アオスゲ	<i>Carex breviculmis</i> R. Brown
ヤエムグラ	<i>Galium aparine</i> L.		
オニタビラコ	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.		
ヒメジョオン	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.		
セイヨウニガナ	<i>Crepis capillaris</i> Wallr.		
コセンダングサ	<i>Bidens pilosa</i> L.		
シロザ	<i>Chenopodium album</i> L.		
スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i> L.		
ナガバギシギシ	<i>Rumex crispus</i> L.		
オッタチカタバミ	<i>Oxalis dillenii</i> Jacq.		
へらバヒメジョオン	<i>Erigeron strigosus</i> Muhl.		
クワクサ	<i>Fatoua villosa</i> (Thunb.) Nakai		
メマツヨイグサ	<i>Oenothera biennis</i> L.		
オオアレチノギク	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker		
オウショウヨモギ	<i>Artemisia vulgaris</i> L.		

【自然環境下における除草効果について】

次に、ひとつの導体電極が雑草を感知できる領域を調べ、導体を配置する間隔や装置の基本構造を確定し、導体の構造をエキスパンドメタルやパンチングメタル、亀甲金網などに変更して自動草刈装置を設置して雑草の抑制効果を検討した。また、1年草や多年草、種子で増える雑草や地下茎で増える雑草など、異なる雑草に対する効果を調査した。さらに、天候や気温、湿度などの自然環境の変化に対してもその有効性と耐久性を検討した。

除草装置の構造について：導電性をもつ電極の構造として、エキスパンドメタル、亀甲金網、平織金網、溶接金網、クランプ、パンチングメタルにおいて差はなく、目合いが30mm以下であれば使用可能であることが明らかとなった。

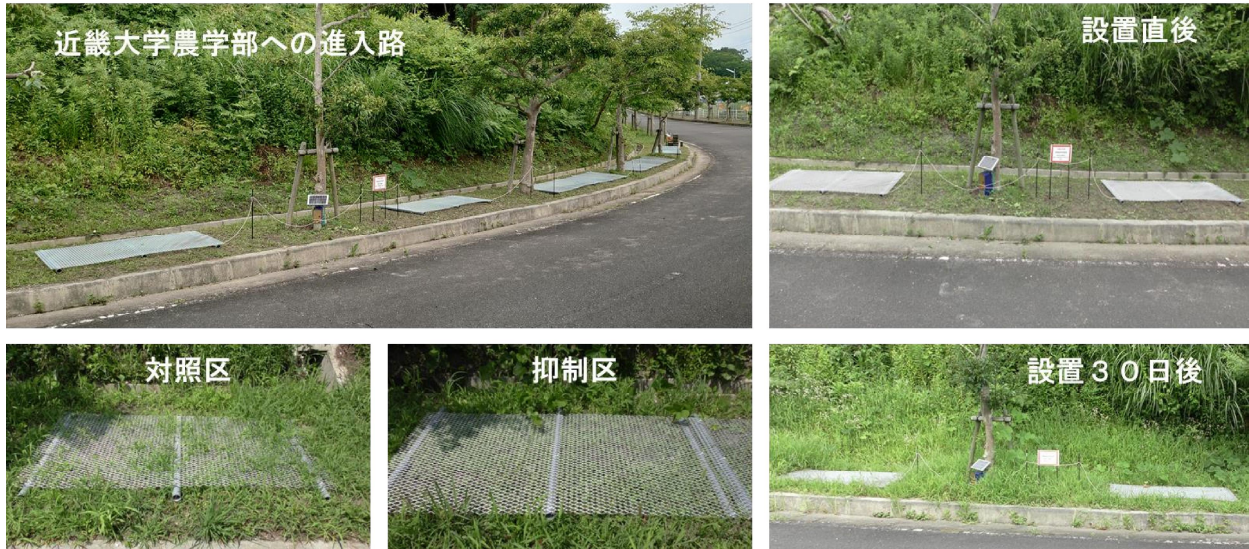
雑草の種類について：表1に示すように1年草、多年草、種子繁殖性、地下茎性など、調査したすべての雑草で抑制効果を確認できた。

【長期間の稼働による実用化試験について】

次に、大学への進入路の道路脇や路肩、ガードレールの架台部分に本装置を取り付け、通常的环境

下における有効性と問題点を調査した。また、大学に設置されている太陽光発電施設の架台に装置を取り付け、蔓性雑草などの繁殖能力の大きい雑草に対する効果についても調査した。その結果、すべての設置区において、有効な雑草抑制効果を確認できた。

【近畿大学農学部への進入路で実施した結果】



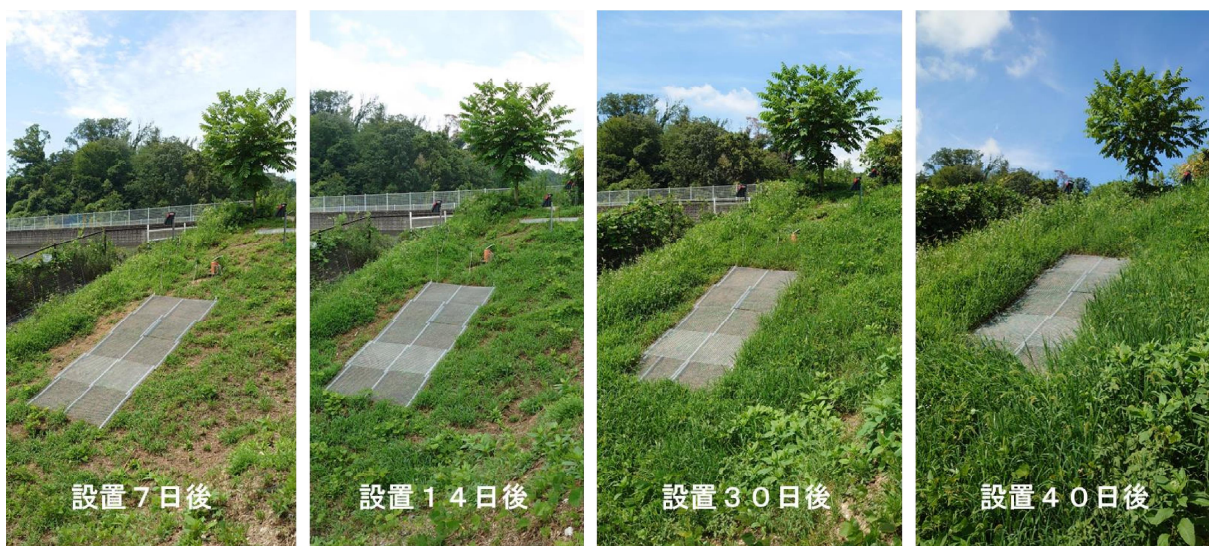
【実験圃場の温室脇で実施した結果】



【実験圃場の進入路の路肩で実施した結果】



【農学部構内の傾斜地で実施した結果】



7. 研究業績

論文発表：A Simple Electrostatic Apparatus for Controlling Weeds on Slopes without Causing Soil Erosion.

Yoshinori Matsuda, Koji Kakutani, Hideyoshi Toyoda.

American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2024, 12(1), 1-7.

DOI: 10.12691/ajcea-12-1-1

Pub. Date: January 04, 2024

知的財産権：雑草抑制装置

出願番号 特願 2024-29724

出願日 2024 年 2 月 29 日