

安全面を考慮した電気柵の製作

北海道職業能力開発大学校 木村 天津郎

Production of the Electric Fence Considered Safe

KIMURA Tetsuro

要約 2015年に日本国内で、素人による自作電気柵の運用により、感電死亡事故が発生した。市販されている動物に対する電気柵は、通電時間が0.01秒以内で、通電間隔が1秒以上のパルス波の電流（電圧）を使用しているため、死亡事故にはいたらない。平成28年度の総合制作実習では、2015年度に発生した電気柵による感電死亡事故を教訓とした、電気の安全な使用方法と市販されている電気柵の仕様を調査して、安全面を考慮した電気柵の製作をテーマとした。施設の地域ニーズである獣害対策に貢献できる実用性の高い製品を製作できると考えた。総合制作実習の効果として、学生が電気の安全な使用に必要な知識を身に着けることができる。また、本稿を通して、電気の専門知識のない一般の方に対して、電気の安全に貢献できれば、幸いである。

I はじめに

電気柵は、農作物を動物から守るために、電気ショックによりこれらを追い払うためのシステムである。電気ショックによる痛みによって、動物が、この柵は危険であると認識し、近寄らなくなり、農作物を守ることが可能となる。しかし、2015年に国内で、電気柵により感電死亡事故が発生した。この事故では、2人が死亡、5人が重軽傷を負った。また素人による電気柵の製作における危険性がマスコミに取り上げられ社会で注目された。電気柵は構造が単純であり、部品の入手が容易であるため素人にも製作できる環境であった。そのため、日曜大工、趣味の延長で専門的な知識・技能を持たない人により製作された場合に重大な事故につながるものが、マスコミなどの報道や取材により明らかになった。

この事故は①～④の原因により発生したことが文献[1]と[2]により明らかにされている⁽¹⁾⁽²⁾。

- ①漏電遮断器を付けていなかった。
- ②危険を知らせる表示がなかった。
- ③変圧器で100Vを400Vまで昇圧した電気を使用していた。

④出力電圧が時間制限される機能（パルス発振機能）が付いていなかった。

以上の内容を踏まえ、動物に電気ショックを与え、人体は安全に保てる電気柵の製作条件を電気の専門以外の方にも、伝えることは、電気に関する事故を減らす上で、大変重要な事であると考え、総合制作実習のテーマに採用した。本稿では、筆者が所属している北海道職業能力開発大学校、平成28年度専門課程、電気エネルギー制御科の総合制作実習で行った、安全面に考慮した電気柵の製作（以下、「本システム」という。）について報告する。

II 構造と動作

本システムは図1により構成されており、市販されている太陽光パネル（太陽電池）、バッテリー、充電コントローラを利用している。電源には太陽光発電を利用している。

表1に図1の太陽電池が含まれる太陽光パネル、表2に充電コントローラ、表3にバッテリーの各仕様を示している。

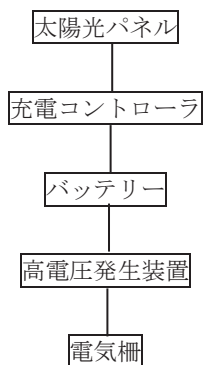


図1 システム概要

表1 太陽光パネルの仕様

項目	仕様
型名	SY-M5W-12
最大出力電圧	5V
開放電圧	21.6V
短絡電流	0.34A
最大出力時電圧	17V
最大負荷時電流	0.28A
寸法	288×187×18mm

表2 充電コントローラの仕様

項目	仕様
型名	CM04-2.1
設定充電電圧	約 14V
取り扱い可能最大電流	4A
自己消費電流	4mA 以下
寸法	72.6×61×30.4mm
重量	68g

表3 バッテリーの仕様

項目	仕様
型名	WP5-12
定格容量	12V 5Ah
最大充電電流	1.5A
寸法	90×70×102mm
重量	1.9kg

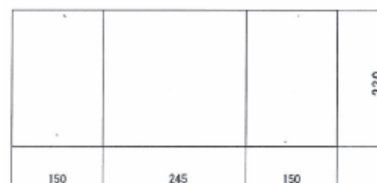
本システムの動作は、太陽電池で発電した電気をバッテリーに充電し、12V の電圧を高電圧発生装置で数千V に昇圧する。充電回路として、充電コントローラを用いてバッテリーへの過充電を防ぐ。数千V の電圧をそのまま電気柵に印加するのではなく、通電時間を

0.01 秒以下にするためのパルス発振機能を実装する。パルス発振機能により、数千V の電圧を印加しても、動物が電気柵に触れた場合、ある程度の電気ショックを受けるが、生命には特に別状はない。また、人が誤って電気柵に触れた場合でも、通電時間が 0.01 秒以下であるので、心室細動を起こす恐れはない⁽³⁾。心臓に多量の電流が流れると、心臓は正常な規則正しい動きから、けいれんをおこした微細な動きとなり、心臓の血液循環機能が失われ、体全体へ血液を送れなくなる。この状態を心室細動という。またこのような電流を心室細動電流という。通電時間が 0.5 秒で心室細動電流は 100mA、1 秒で 50mA、3 秒以上の場合 40mA 程度である⁽⁴⁾。

III 製作

1 電気柵の筐体の製作

図2 に電気柵筐体の設計図を、図3 に加工した電気柵筐体の写真を示す。



(a) カーバ



(b) ベース

図2 電気柵筐体設計図

市販されている金属ケースの構造を参考にして、電気柵の筐体の製作を行った。材料には、加工しやすいアルミ板を採用した。最初に筐体の図面を作成した。図面の作成においては、授業で学習済みの CAD ソフトを使用した。

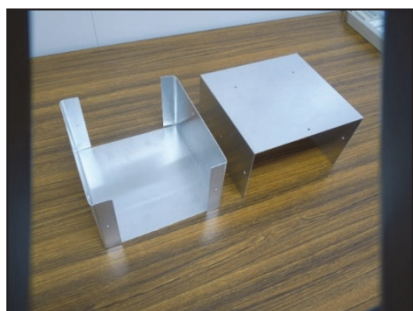


図3 電気柵筐体

2 電気柵の製作

電気柵に使用するポールの高さやワイヤーの長さ等は、対象動物の種類や農地の広さや環境によって、様々な組み合わせが考えられる。今回の電気柵の製作では、動物や人が接触した場合の安全性の確保を目的とした。そのため、システム全体の仕組みを説明するために模擬的なものとした。市場に実際に出ている電気柵を調査した結果、使用されている電線には、使用用途により材料が違うことが確認できた。

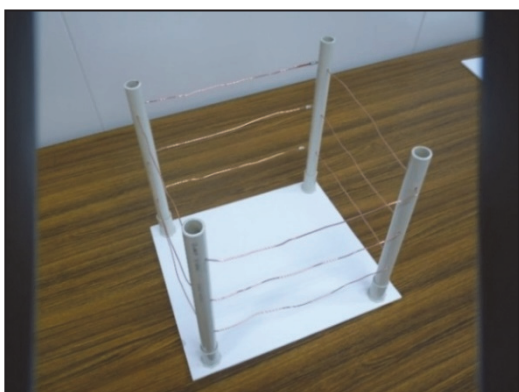


図4 電気柵

電気柵には、主に恒久電気柵と簡易電気柵がある。恒久電気柵には、細い銅線をより合わせた丈夫な電線が用いられていた。一方、簡易電気柵では、極太ステンレスに、抵抗率が低い極太特殊銅線が追加された電線が用いられていた。本システムでは、恒久電気柵を採用することとした。また、電気柵には、加工がしやすく、電気抵抗が低い銅線を採用した。

実際の運用を考慮すると、市販されている特殊加工されたワイヤーを使用することが、耐久面を考えるうえで、有効と考えられる。また、市販されている電線を張り巡らしているポールには、木材や金属（スチール）、樹脂製が使用されている。本システムでは、市販されている材料と同程度の絶縁能力のある合成樹脂管を使用した。図4に製作した電気柵を示す。

3 回路の製作

3-1 高電圧発生装置の動作確認

回路を製作する前に、高電圧発生装置の動作を理解するために図5に示している市販品により実際の動作を確認した。図5の入力端子に電圧を加えると、出力端子から図6のような約1000Vの電圧パルスが1秒おきに発生していることが確認できた。

図6の左下の黄色のハイライトは、点線の正方形の一边が500Vであることを示している。



図5 市販されている高電圧発生装置

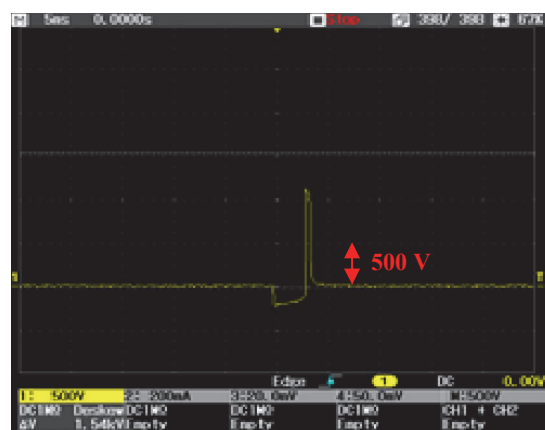


図6 市販されている高電圧発生装置の測定波形

3-2 昼夜判別機能

昼夜判別機能は、周囲の明るさによって、自動で高電圧発生装置の動作をONとOFFを切り替える機能である。野生動物は夜行性のものが多い。また、日中は人が電気柵に触れる恐れがあるため、CdS（硫化カドミウム）セルを用いて、夜間のみ電流を流す昼夜判別機能を実装した。光センサーとしてCdSセルは、明るい場所では抵抗値が減少し、暗い場所では抵抗値が増加する性質がある。この性質を利用し、夜間だけ、高電圧を発生させる。また、昼夜判別機能の回路図にあるスイッチSW2をOFFにすることで、常に高電圧を発生させることができる。図7に昼夜判別機能の回路図を示す⁵⁾。

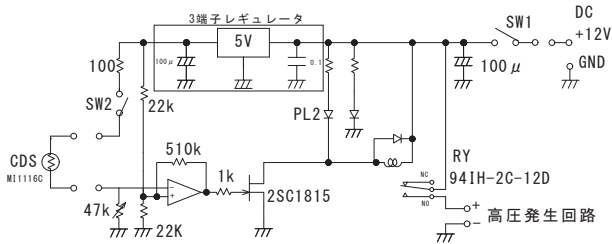


図7 昼夜判別機能の回路図

のこにより、数千Vの電圧を発生させることが可能となった。

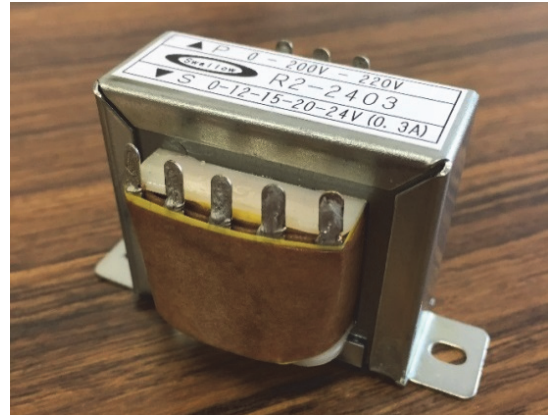


図10 使用した変圧器

3-3 ランプ点滅表示機能

ランプ点滅表示機能は、通電時にLEDライトを点滅させ、通電中であることを知らせる機能である。動作原理は、図8⁽⁵⁾に示しているランプ点滅表示機能の回路図によると昼夜判別機能によってリレーがONされている時のみ、コンデンサに充電と放電を繰り返し、ランプを点滅させる。

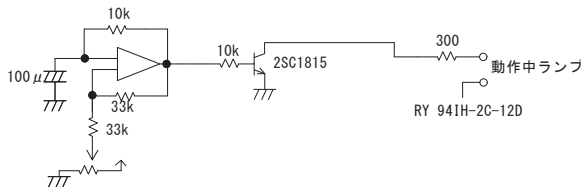


図8 ランプ点滅表示機能の回路図

IV 性能評価

本章では製作した電気柵の昼夜判別機能、ランプ点滅機能、高電圧発生装置について以下の評価を行った。

3-4 高電圧発生装置

高電圧発生装置は、電流を約0.01秒間、1秒以上の間隔をあけて流すパルス発振機能と、バッテリーからの12Vの電圧を数千Vに昇圧する機能を有している。図9に高電圧発生装置の回路図を示している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

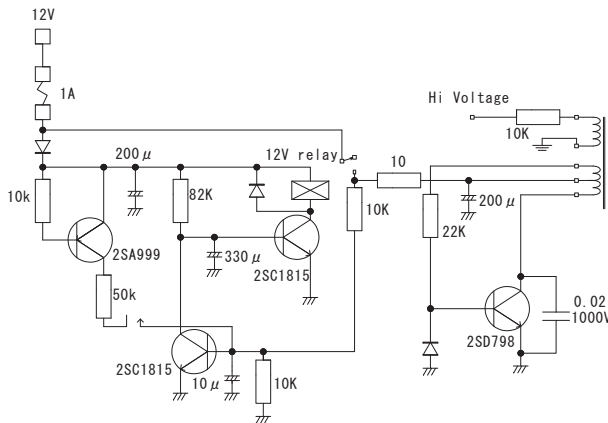


図9 高電圧発生装置の回路図

図9の回路図の中央にある10Ωの抵抗より左側がパルス発振回路である。コンデンサとトランジスタを組み合わせ、通電時間を0.01秒以下とし、その後の無電圧の状態が1秒以上続く働きを行う。右側は、パルス波を高電圧に昇圧させる回路である。図10に示している220Vを12Vへと降圧する変圧器を使用した。こ

1 昼夜判別機能の評価

図11に電気柵に取り付けている昼夜判別のセンサーを示す。



図11 昼夜判別センサー

昼夜判別機能へは、直流安定化電源を使用して直流12Vを印加した。光センサーの周囲が明るい状態ではリレーがOFFのままであった。次に、光センサーに光が当たらない状態にしたところ、リレーがONとなり、仕様どおりの動作が確認できた。図7上のSW2をOFFにすると、周囲が明るい状態でも、リレーがONとなった。このことにより、対象動物が夜行性の場合、夜の間だけ電気柵に電圧を印加することが可能となる。また、日中、人が誤って電気柵に触れた場合、人体への電気ショックを与えない効果も期待できる。

2 ランプ点滅表示機能の評価

図 8 の回路を組みランプ点滅表示機能の評価を行った。高電圧が発生している状態の時、LED ランプが点滅した。ランプ点滅回路と昼夜判別回路を組み合わせたところ、リレーが ON の状態の時だけ点滅が行われた。この機能の実装により電気柵を使用している利用者に対し電気柵本器のランプの点滅を確認することで、電気柵に高電圧が印加していることを知らせることが可能となった。

3 高電圧発生装置の評価

図 9 の回路を組み、パルス波の測定と、変圧器によって昇圧させた高電圧の通電時間の測定を行った。図 12 に測定したパルス波を示す。

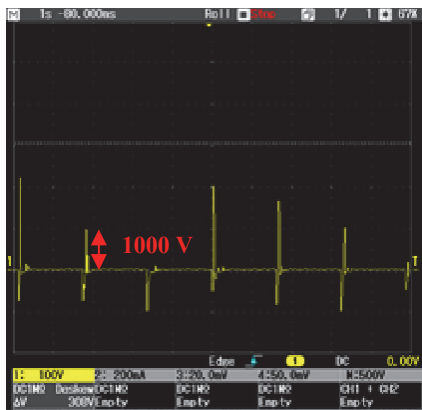


図 12 測定したパルス波

図 12 は、高電圧発生装置で発生した電圧をオシロスコープで、パルス波を測定したものである。横軸が 1 メモリあたり 1 秒間を示しており、電圧が印加されてから次の通電状態までの間隔が、1 秒以上あることが確認できる。このことにより、安全面に考慮した電気柵のパルス発振機能が実現できたといえる。図 12 左下の黄色のハイライトは、点線の正方形一辺が 1000V であることを示している。

V 動作確認

1 完成後の実験

図 13 に装置全体写真を示す。図 13 の上部に通電状態を示すランプと中央部には、太陽光パネル、下部には、電気柵本器である。太陽光パネルや充電コントローラ、バッテリーを接続し、動作確認を行った。図 14 に測定した波形を示す。



図 13 装置全体写真

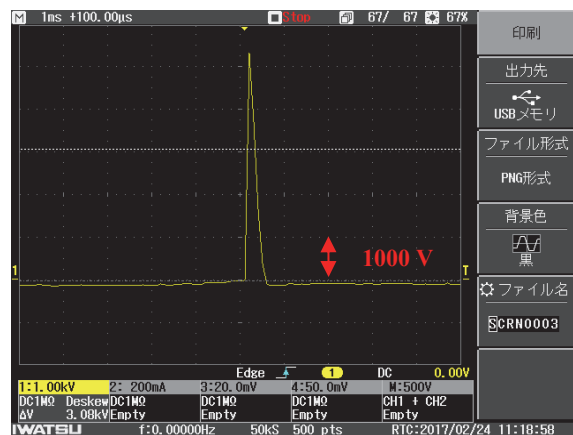


図 14 バッテリー電源による出力

昼夜判別機能の実験では、センサー部分への光を遮断するため、覆いで包んだ。この状態（夜間想定時）において、電流が確実に出力されることを確認した。また図 13 の左側のスイッチを切り替えることで、センサー部分の明るさに関係なく、電流が出力された。ランプ表示機能の検証では、電流が出力されている間（通電中）は、ランプ点滅が続くことが確認できた。パルス発振機能については、通電時間が 0.01 秒以下で、パルス波の通電間隔が 1 秒以上の電流の波形を実現した。出力電圧は直流安定化電源を使用した時よりも高電圧が出力された。具体的なデータとして、1000V 高い 5000V の電圧を測定することができた。通電間隔が約 1 秒間隔のため、人が電気柵に触れてしまった場合に危険回避が可能となる。本総合制作では、完成後の電気柵の実験を構内の教室で行った。より実用的な製品の完成を目指す場合は、電気柵を実際に使用する屋外の環境で行う必要があると考えられる。例えば、今回の実験では、電気柵本器からでている 2 本の電線の電圧をオシロスコープで観測したが、実際の電気柵の使用環境では、電圧が印加されている電気柵から動

物を通り地面へと電流が流れるので、本当に動物を追い払うことができる効果的な電気ショックが与えられているか等の実験があげられる。図 14 左下の黄色のハイライトは、点線の正方形一辺が 1000V であることを示している。

2 電気柵の動作

電気柵本器には、図 15 のように、2 本の電線を接続した。1 つは、電気柵に、もう片方の電線はアース（地面）につなぐ。図 15 の右側の電源ボタンをオンにすることにより、電気柵の回路に高電圧が印加される。

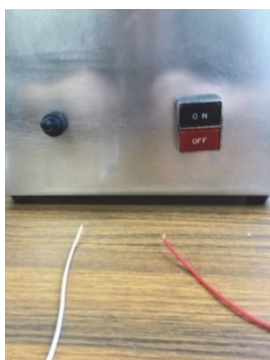
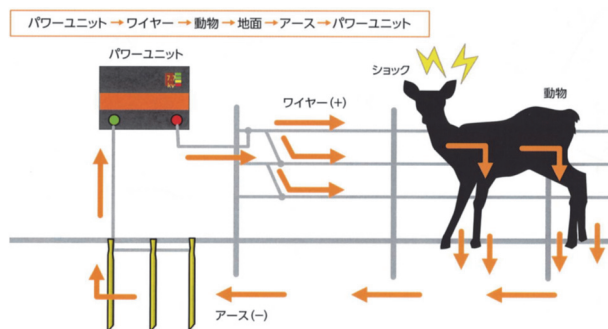


図 15 操作用スイッチと赤(右)と白(左)の 2 本の電線

図 16 のように、動物が電気柵に接触した場合、電流は、電気柵から動物を通り、動物の足から地面を通り、電気柵本器のアース接地の電線に戻る。このことにより、電気回路がなりたち、対象動物に電気ショックを与えることができる。



(出典 サージミヤワキ 総合カタログ⁽³⁾)

図 16 電気ショック時の電気回路のイメージ図

図 15 左側のトグルスイッチを使うことにより、2 種類のモードに切り替えることができる。トグルスイッチを上にした状態では、電気柵本器の印加は、夜間時のみの動作となる。また、トグルスイッチを下げた場合は、夜間時ばかりではなく、日中でも動作を行うことができる。図 15 の電気柵本器の横の左右の面からそれぞれ赤い電線と白い電線が出ています。赤い電線

を、電気柵のワイヤーの導体部分に接続する。白い電線はアース棒に接続する。図 16 において、電気柵本器は「パワーユニット」という名称で表現している。

VI おわりに

実際に使用されている電気柵の原理の理解から始め、過去の事故の事例分析、電気柵の設置に義務付けられている法令の確認、電子回路の作成、筐体の加工等の一連の工程を通して、動物や人体に対して、生命に別状のない電氣的に安全な電気柵の製作が完成した。機能面では、通電中の危険性を知らせるためのランプ点滅機能や夜間のみ動作させる昼夜判別機能、通電時間が 0.01 秒以下で通電間隔が 1 秒以上のパルス発振機能を実装することができた。今回製作した電気柵の応用として、屋外の使用に適した防水機能やバッテリーの残量表示機能、操作のリモート機能が考えられる。これらの機能を実装することにより、より実用的な電気柵の実装が可能になると考えられる。最後に、1 年間、本総合制作実習を積極的に取り組んでくれた平成 28 年度北海道職業能力開発大学の電気エネルギー制御科 2 年生田中裕也君、西山浩生君、渡邊翔太君に感謝いたします。本稿を通して、事故のない安全な電気柵の普及に貢献することができれば幸いです。

[参考文献]

- (1) 電気設備技術基準、経済産業省、
「電気柵の施設」
- (2) 日本電気さく協議会 自主規制
「電気さくの安全基準について」
- (3) 総合カタログ、サージミヤワキ株式会社
- (4) 高圧・特別高圧電気取扱者安全必修
特別教育用テキスト
中央労働災害防止協会
- (5) ソーラー発電防獣電気柵システム
[http:// sekaiwahirosugiru.cocolog-nifty.com/hitokoto/2013/06/post-1346.html](http://sekaiwahirosugiru.cocolog-nifty.com/hitokoto/2013/06/post-1346.html)
(2017.3.3)
- (6) ミツバチ用自作電気柵の構造
<http://totomo.net/031.htm> (2017.3.3)
[http:// www.getter.co.jp/electric_fence2.html](http://www.getter.co.jp/electric_fence2.html)
(2017.3.3)
- (7) 自作電気柵
[http:// www.geocities.jp/knn373/dennki.htm](http://www.geocities.jp/knn373/dennki.htm)
(2017.3.3)