

安全面に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

1. はじめに

電気柵は、動物に電気ショックを与え、動物を追い払うシステムである。電気による痛みによって、動物はこの柵は危険であると認識し、近寄らなくなり、農作物を長期的に守ることができる。

しかし、2015年に日本国内で、電気柵による感電死亡事故が発生した。この事故では、2人が亡くなり、5人が重軽傷を負った。この事故は当時、マスコミに取り上げられ、素人による電気柵の製作の危険性が注目された。

この事故の事例から、電気柵の運用面において重大事故に繋がった、いくつかの原因を読み取ることができる。

(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) 出力電圧が制限される機能（パルス発振機能）が付いていなかった。

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、過去の事故の事例を元に、安全面に考慮した電気柵の製作（以下、「本システム」という。）の成果内容を報告する。

2. 構造

本システムでは、必要な電源として太陽光発電を利用した。太陽電池で発電された電気は、充電回路

を通して、バッテリーに充電される。

高電圧発生回路で発生された電気は、電気柵で利用される。図1にシステム概要を示す。

表1に太陽光パネル、表2にバッテリー、表3に充電コントローラの各仕様を示す。



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	5W
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 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

表3 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

本システムでは、市販されている太陽光パネルとバッテリー、充電コントローラを利用した。

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器で数千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秒以下とし、通電間隔が1秒以上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、電流が流れていない時間が1秒以上あるため心室細動を起こす恐れはない。

心室細動とは、心臓に30mAから50mAの電流が流れた場合、心臓の筋肉がけいれんを起こし、体全体へ血液を送れなくなる状態のことである。

3. 製作

3.1 電気柵の筐体の製作

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。

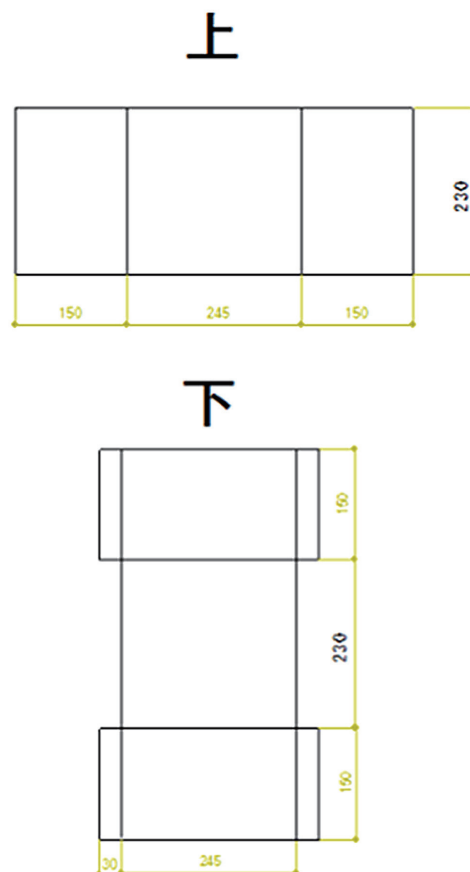


図2 電気柵筐体設計図



図3 電気柵筐体

3.2 電気柵の製作

電気柵に使用するボ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、電気柵の製作は、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。

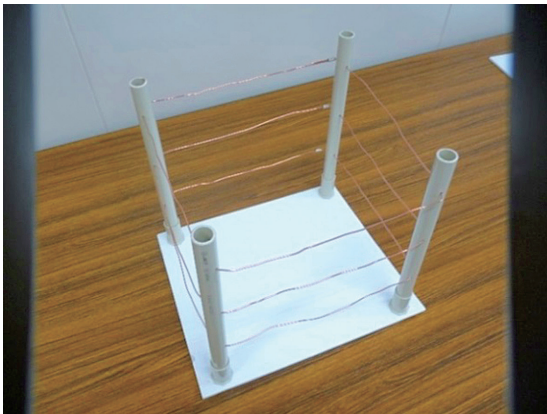


図4 電気柵本体

市場に実際に出回っている商品を数点調べた結果、電気柵に使用されている電線には、アルミ線の使用が多かった。本システムでは、アルミ線より電気抵抗値が低い銅線を採用した。これにより電気柵の末端まで、より多くの電気エネルギーを送ることが可能となる。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VE管を使用した。図4に今回作成した電気柵を示す。

3.3 回路の製作

3.3.1 試作機の製作

高電圧発生器の働きを理解するために、今回作成した回路を製作する前に、試作機の製作を行った。

市販されている高電圧発生器を使用して、1000V程度の電圧パルスが1秒おきに発生していることを確認した。図5に購入した高電圧発生器外観を、図6にオシロスコープで測定した電圧の波形を示す。



図5 購入した高電圧発生器

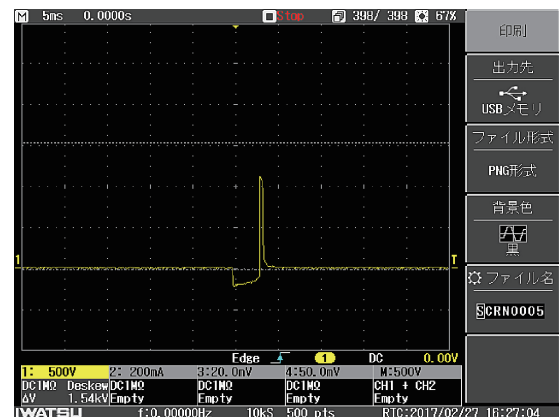


図6 購入した高電圧発生器の測定波形

3.3.2 昼夜判別機能

昼夜判別機能は、周囲の明るさによって、自動で動作の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。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、常に高電圧を発生することができる。

図7に昼夜判別機能の回路図を示す。

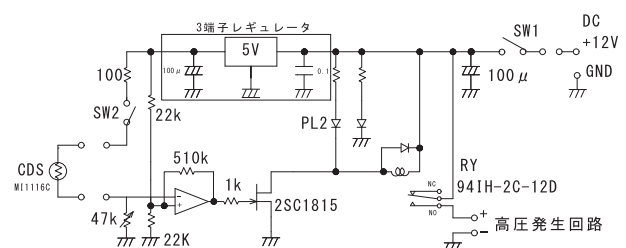


図7 昼夜判別機能の回路図

3.3.3 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、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にランプ点滅表示機能の回路図を示す。

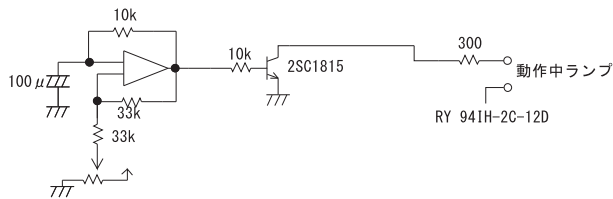


図8 ランプ点滅表示機能の回路図

3.3.4 高電圧発生器

高電圧発生器の機能は、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に昇圧する機能である。

図9に高電圧発生器の回路図を示す。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。市販されている220Vを12Vへと降圧する変圧器を使用した。

このことにより、数千Vの電圧を発生させることが可能となった。

図10に使用した変圧器外観を示す。

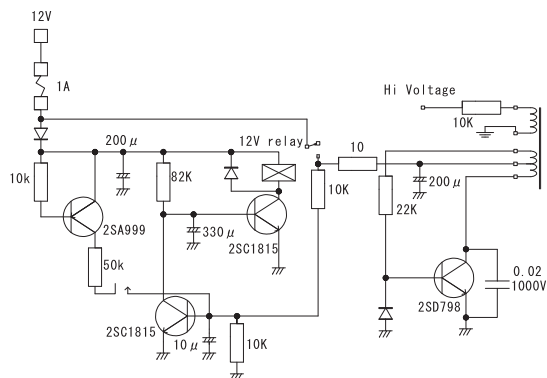


図9 高電圧発生器の回路図

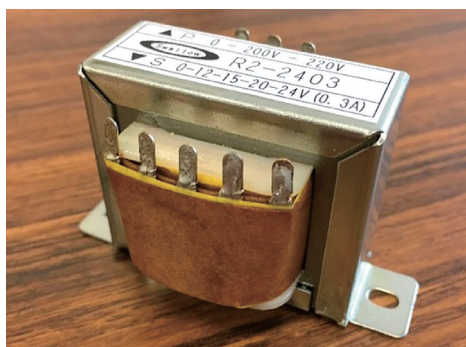


図10 使用した変圧器

4. 性能評価

製作した電気柵について以下の評価を行った。

4.1 昼夜判別回路

直流安定化電源を使用して直流12Vを印加した。CdSセル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、CdSセルに光が当たらない状態にしたところ、リレーがONとなり、電流が流れた。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。

図11に取り付けた昼夜判別センサーを示す。



図11 昼夜判別センサー

4.2 ランプ点滅回路

図8の回路を組み検証を行った結果、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る。

4.3 高電圧発生器

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は、高電圧発生器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。

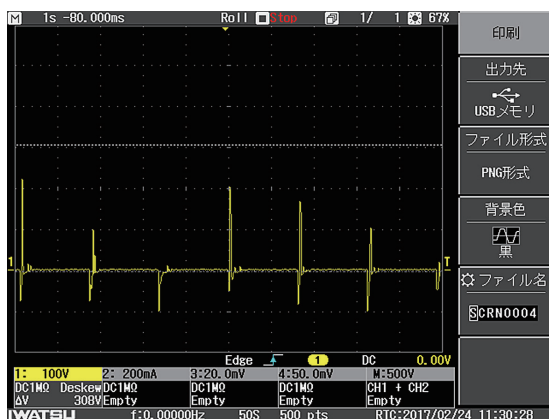


図12 測定したパルス波



図14 電気柵本器

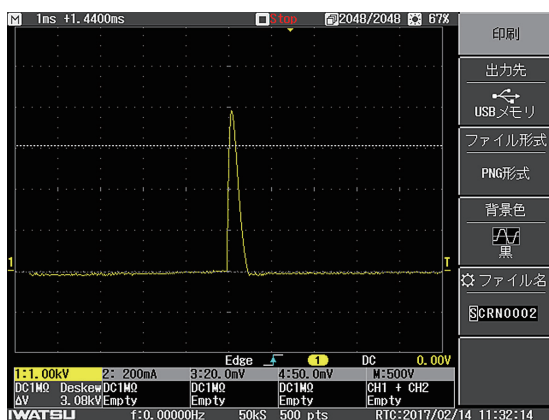


図13 図12のパルス波の拡大

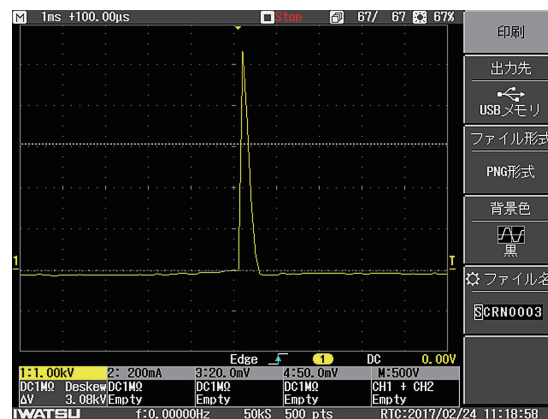


図15 バッテリー電源による出力

図13は、図12の測定したパルス波の拡大図である。この図では縦軸が1メモリあたり1000Vを示しており、出力が約4000Vであることがわかる。横軸は1メモリあたり0.001秒を表しており、通電時間が0.01秒以下であることがわかる。

この二つの測定結果により、安全面に考慮した電気柵のパルス発振機能を実現できたといえる。

4.4 完成後の実験

完成した回路に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に完成した電気柵本器を、図15に測定した波形を示す。

昼夜判別機能の実験では、センサー部分を明かりと遮断するため、覆いで包んだ。この状態（夜間の時間帯に見立てた時）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14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、通電間隔が1秒以上の電流の波形が実現した。

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の電圧を測定した。

5. 操作方法

図16に操作用スイッチの外観を示す。右のスイッチは、電源のON、OFFスイッチである。左のトグルスイッチは、常時動作と夜間のみの動作を切り替えるスイッチである。スイッチを上げた状態では、夜間時のみの動作、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。電気柵

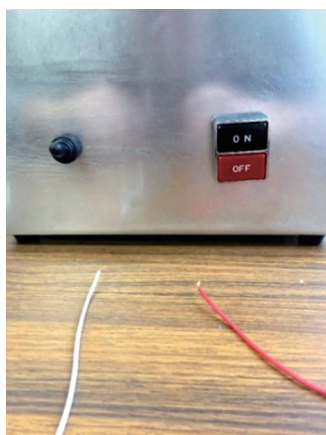
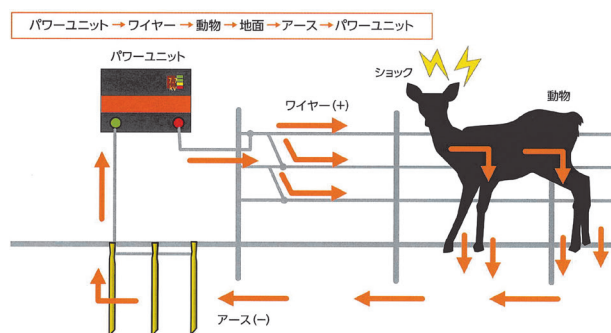


図16 操作スイッチと赤（右）と白（左）の2本の電線



(出典 サージミヤワキ 総合カタログ)

図17 電気ショック時の電気回路のイメージ図

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。動物が通電状態である電気柵のワイヤーに触れると、電流は、動物の体を通り、地面（大地）を経由して、白線に戻り電気回路として電流が流れる。

この状態の説明の資料として、図17に動物に電気ショックが加わる時の電気回路のイメージ図を示す。

図17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。

6. まとめ

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。

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) 電気設備技術基準の解釈
「電気さくの施設」 第192条 経済産業省
- (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」
日本電気さく協議会
- (3) ミツバチ用自作電気柵の構造
<http://totomo.net/031.htm>
http://www.getter.co.jp/electric_fence2.html
- (4) 獣害対策カタログ
サージミヤワキ株式会社
- (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>
- (6) 自作電気柵
<http://www.geocities.jp/knn373/dennki.htm>
- (7) 感電の基礎と過去30年間の死亡災害の統計
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所
- (8) 総合カタログ
サージミヤワキ株式会社