関東森林研究 No. 61(2010)

直流，交流電圧によるナメクジ通過回避特性と捕虫シート試作

池田和弘(埼玉県農総研)

要旨：食用キノコ栽培のナメクジ食害回避を目的として，1.5V 乾電池電源から DC-AC インバーターで交流昇圧化（約 11V，40Hz）し，二本のアルミニウム箔テープに負荷したところ，通過は阻止できず生存率は 100%であった。ナメクジ捕殺には交流電圧は不向きであることが判明した。また，ナメクジを生体電池に利用して交流昇圧させ，自己発電による自己回避を試みたが電圧は発生しなかった。捕虫シートを作製したところ，AC アダプターにより直流 12V，１Ａにおいて通過阻止率，死亡率ともに 100%であったが，回避して逃げる可能性があるため，一瞬に張り付いて死亡させる電気的条件の把握と捕虫シートの構造が課題として残った。

キーワード：ナメクジ，ナメクジのキノコ食害防止，直流・交流電圧の刺激特性，ナメクジ捕虫シート

Ⅰ　はじめに

池田（*1*）はナメクジのキノコ子実体への食害回避効果について「Al 箔テープ２本を 5mm 間隔で貼り，9.39 Ｖの負荷をかけることで食餌を完全に回避できた」と報告した。一方で「1.5 Ｖの乾電池を交流昇圧化して回避する方法についても検討する」とした。

また，直流についても死亡率が 100%となる条件を求める必要がある。

今回直流と交流電圧によるナメクジの通過回避特性を調べ，捕虫シートを試作したので報告する。

Ⅱ　材料と方法

１.DC-AC インバーターによる回避効果の検証

交流によるナメクジの通過回避特性を調べるため DC-AC インバーターを作製し，単三乾電池直流電源 1.5V から交流電圧約 11V（40Hz）を発生させた。回路図を図-１に示す。

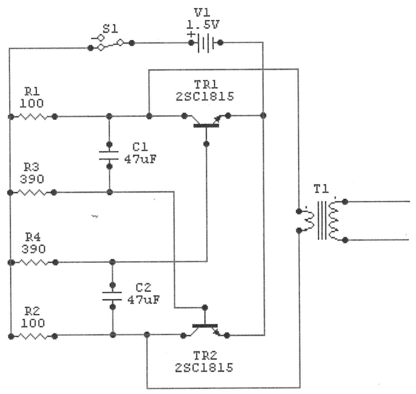

図-１．DC1.5V-AC11V インバーター回路図

実験は内寸で幅 52cm ×奥行き 37cm ×高さ 30.5cm の半透明ポリプロピレンケースの中で行った。ケース底面に幅 15mm のアルミニウム箔テープ（厚さ 0.05mm）を外側 450mm × 320mm，内側 416mm × 286mm，２本の間隔を２ mm で「□」型に貼り付けた。ここに DC-AC インバーターのトランス二次側を配線した。供試体としてコウラナメクジ科の１種（*Limax* sp.）を用いた。内側のテープの中にナメクジを５頭入れ，外側テープの周辺に餌となるキュウリを置いた。さらに隠れ場所としてプラスチックシャーレ（内径 54mm）に，水分を含ませた赤玉土を入れ，園芸用プラスチックポット（黒色，直径 56mm，高さ 35mm）を被せたものを設置した（図-２）。

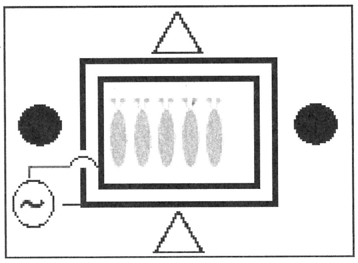

図-２．電圧負荷による通過阻止実験の概念図
※黒丸は隠れ場所，△はキュウリを表わす

乾電池は７日間連続して使用し，ナメクジは 24 時間ごとの調査後，全て新個体と交換した。調査項目は交流電圧，通過頭数，生存頭数の３項目とした。これを５反復行い合計 175 頭について全体の平均値を算出した。

２.直流電圧と交流電圧の経時変化の検証

１.で作製したケースを用い，ナメクジを入れずに

Kazuhiro IKEDA (Saitama Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, Sugahiro 784, Kumagaya, Saitama 360-0102) Difference of slug avoidance between alternate and direct current voltage and trial product of catcher sheet.

直流電圧と交流電圧の時系列変化を24時間ごとに計測し，９日間連続して行った。これを５反復行い全体の平均値を求め，その特性を調べた。なお，直流電源は９Ｖ乾電池 6FL22 を用い，交流電源はDC-ACインバーターを用いた。

電圧，周波数の計測は(株)カスタムのオシロスコープ CTO-2020D および三和電気計器(株)のデジタルマルチメータＣＤ 770，同 771 を使用した。

３.ナメクジ通過後の直流と交流電圧の回復に関する検証

ナメクジが２本のアルミニウム箔テープ間を通過すると粘液が残り，電流が流れるが，粘液の電気分解や乾燥等で電流量は時系列に減少することが示された（*1*）。電圧回復の時系列変化を観察することで，ナメクジの通過特性を予想できると考えられる。そこで粘液に加える電圧の時系列変化を観察する実験を行った。その概略を図-３に示す。縦５ cm ×横10cm のプラスティックシートに幅１ cm のアルミニウム箔テープを２本貼った。テープの間隔は２ mm とした。付着する粘液量ができるだけ一定となるように，アルミニウム箔テープに対して直角にマスキングテープを５ mm 間隔で貼った。これにより粘液は２ mm ×５ mm のプラスティックシートの上に残る。

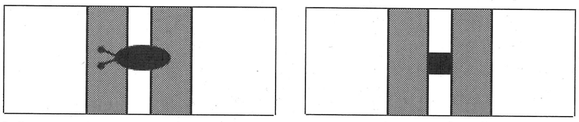

図-３．ナメクジ通過後の粘液に加わる電圧の変化を求める実験の概略図

※メッシュの部分がアルミニウム箔テープ（間隔２ mm），白色の部分がプラスティックシート。右の図で黒い部分は残った粘液をあらわし，$10mm^2$ の面積にある。

直流電源は９Ｖ乾電池 6FL22 を用い，交流電源はDC1.5V-AC11V インバーターを使用し，電極を２本のアルミニウム箔テープにつないだ。図-３では１頭通過を表すが，同様の工作を２列，３列行い，２頭通過，３頭通過についても実験を行った。ナメクジ通過前の電源の電圧をあらかじめ計測し，これを初期電圧とした。ナメクジ通過直後に回路のスイッチを入れ電圧の計測を開始した。また，乾電池は１回の実験終了ごとに新しいものと交換した。計測間隔は，直流では最初の 240 秒は 10 秒間隔，その後は 30 秒間隔とし，計 720 秒間計測した。交流では最初の160 秒は 10 秒間隔，その後は 30 秒間隔とし，計 1,750 秒間計測した。直流電圧については各通過頭数に対して５反復行いその平均値を算出した。交流電圧については各通過頭数に対して１反復行った。

４.自己発電による回避効果の検証

電極に亜鉛とステンレススチール（Ss）を採用すると平均 0.96V の起電力を持つ生体電池を作ることができたが，この自己発電によるナメクジの食害回避はできなかった（*1*）。そこで，図-１における乾電池を「ナメクジ生体電池」で代用し，DC-AC インバーターによる交流昇圧化を実験し，乾電池不要の，自己発電による回避の可能性について検討した。概念図を図-４に示す。

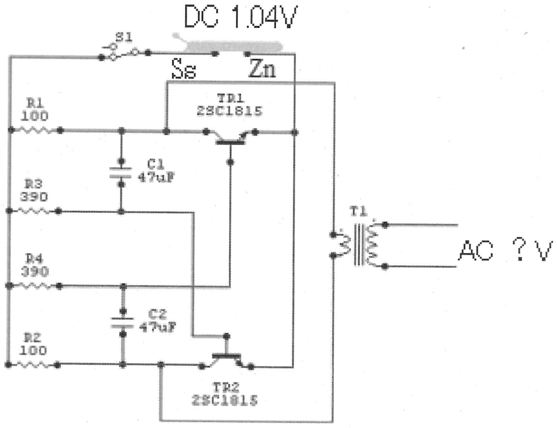

図-４．ナメクジ生体電池による自己回避実験

５.AC-DC コンバーター捕虫シートの試作

入力 AC100V（50-60Hz，0.5A）から出力 DC12V（1.0A）に変換する AC-DC コンバーター（以下 AC アダプター）を利用し，捕虫シートを試作した。30cm × 22cm のプラスチックシートに幅 20mm のステンレススチールテープを 2mm の間隔で「□」型に２重に貼り，AC アダプターの両極をつないだ。テープ外側は１.と同様の条件とし，内側にはナメクジを20 頭入れた。実験は１反復とし，20 時から８時の 12時間行い，ナメクジの状況を調査した。

Ⅲ　結果と考察

１.DC-AC インバーターによる回避効果の検証

実験の結果を図-５に示す。池田（*1*）は直流 9.39V以上でナメクジの通過阻止率が 100％となることを示したが，交流では 11V 以上でも通過する個体が見られた。また，死亡率は全ての電圧で０％であった。

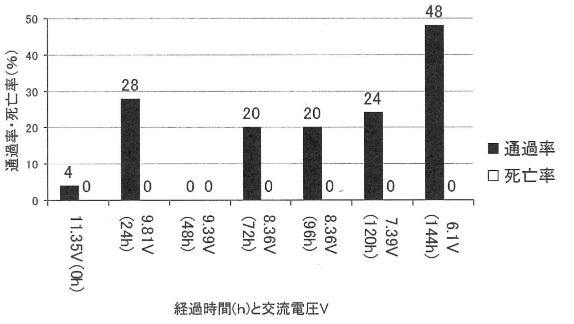

図-5．交流電圧の時系列変化とナメクジの通過率，死亡率

交流では粘液の電気分解が起こらず，アルミニウム箔テープに「張り付く」ことが無く，刺激を受けながらも通過を許したと考えられた。通常ナメクジが通過した跡には粘液の乾燥物を認めるが，２本のテープ間には粘液が乾燥せずに残っていた。また，多量の粘液を出しながら通過する様子が観察された。なお，通過後の個体は実験前に比べて小さくなり，動作が遅く，体表の明度が下がりより暗褐色に変化しいるのが観察された。アルミニウム箔テープは電気分解の際に溶出が起こり，腐食することが判明した。このためステンレススチールテープを用いるのがよいと考えられた。

２.直流電圧と交流電圧の経時変化の検証

実験の結果を図-６に示す。

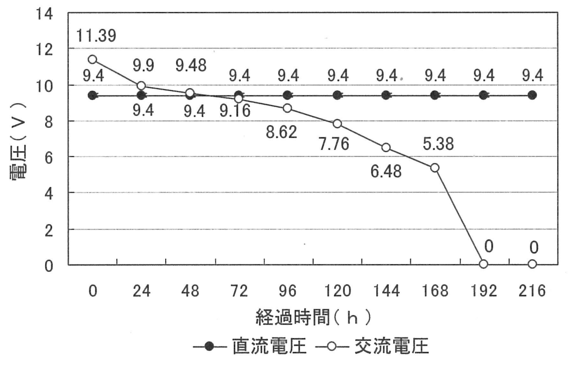

図-６．直流電圧と DC-AC インバーター交流電圧の時系列変化

直流電圧は電力損耗が生じないため９日（216 時間）経過後も初期電圧 9.4 V を維持していた。一方 DC-AC インバーターによる交流電圧は実験開始直後 11.39 V であったが３日後には 9.16 V となり直流 9.4 V を下回った。その後も急速に電圧が降下し，８日後には０Ｖとなった。これは DC-AC インバーターでは交流変圧器の１次側で常に式-１に相当する電力損失（仕事率）が生じているためである。

全損失W(J/s)＝無負荷損(ジュール熱損)＋負荷損(巻線抵抗損)　　　（式-1）

このため露地など電源がない場所で DC-AC インバーターを使用することは現実的でないと判断した。

３.ナメクジ通過後の直流と交流電圧の回復に関する検証

直流電圧と交流電圧実験の結果を図-７，図-８に示す。

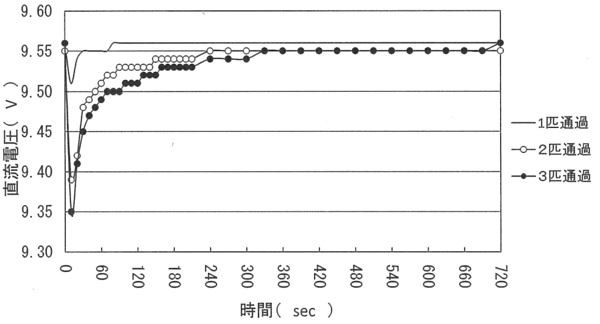

図-７．ナメクジ通過後の直流電圧の時系列変化

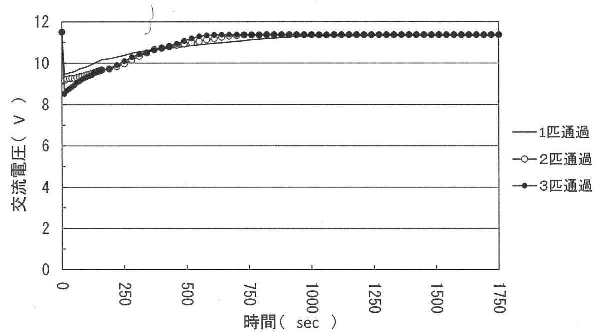

図-８．ナメクジ通過後の交流電圧の時系列変化

直流ではいずれの頭数でも実験開始 10 秒後で最小値を示し，１頭通過では 9.51V（初期電圧 9.56V），２頭通過では 9.39V（初期電圧 9.55V），３頭通過では 9.35V（初期電圧 9.56V）であった。その後急速に回復し，１頭通過では 80 秒後，２頭通過では 240 秒後，３頭通過では 720 秒後に初期電圧に回復した。通過頭数が多くなるほど電圧降下が大きく，また初期電圧回復に要する時間も長くなった。直流での通過阻止率 100 %を達成できる電圧は 9.39V 以上であるが，この電圧に回復するまでの時間は１頭通過では０秒，２頭通過では 10 秒，３頭通過では 20 秒で

あった。現実には同時に２頭以上のナメクジがテープに接触することは起こりづらいと考えられるので電圧回復の早い直流電圧は有効であると考えられた。

交流ではいずれの頭数でも実験開始後10秒間で最小値を示し，１頭通過では9.49V（初期電圧 11.50V），２頭通過では9.17V（初期電圧 11.50V），３頭通過では 8.52V（初期電圧 11.50V）であった。その後直流に比べて緩慢に回復したが，いずれの頭数においても 1,750 秒後に初期電圧に戻ることはなかった。通過頭数が多くなるほど電圧降下が大きくなったが，その後の経過時間と電圧回復傾向および頭数の間には曲線が交差するなど一定の傾向は見られなかった。粘液量が異なること，実験回数が１反復であることが理由として考えられた。電圧回復が終了するまでに要する時間は，１頭通過で1,270秒，２頭通過で820秒，３頭通過で 670 秒であった。直流と比べて長い時間を要し，また粘液の電気分解が生じないためこの間にナメクジの進入をさらに許すと考えられた。

１.と２.および３.の結果からナメクジの捕虫，捕殺には交流電圧は適さず，直流を用いることが有効であると判断した。

４.自己発電による回避効果の検証

オシロスコープおよびデジタルマルチメータによる計測の結果，トランス２次側で交流電圧は発生しなかった。生体電池であるナメクジの粘液の電気抵抗値が大き過ぎて電流が流れにくいことが理由として考えられた。DC-ACインバーターを用いた自己発電による自己回避は不可能であることが示された。

なお，直流による自己回避も不可能であることが既に示されている（*1*）。

５.AC-DCコンバーター捕虫シートの試作

実験により，通過率０％，死亡率 100 ％が確認できた（図-９）。

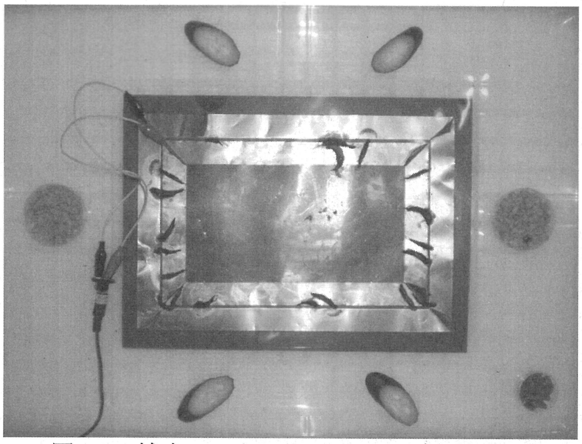

図-９．捕虫シートによるナメクジの捕殺

また，ナメクジは一瞬のうちにテープに貼り付くのではなく，何度も通過を試みているうちに感電死するのが確認された。死亡した個体はいずれも粘液や体液が電気分解し，縮小しているのが観察された。AC100V が供給できる環境であればきわめて有効な方法であることが確認できた。

Ⅳ　おわりに

ナメクジによる食害を減らすには年間を通して生息密度を低くすることが必要である。この成果は電気的刺激によるナメクジ捕虫器の開発に応用できると考えられる。

今回は「口」型に貼った２本のアルミニウム箔テープの内側にナメクジを置いた閉鎖系での実験である。ナメクジは負の走光性に従い，朝明るくなるとテープの外側に出ようとし，何度も脱出を試みた結果，100 ％の死亡率となったと考えられた。本来はテープの内側にナメクジではなく，嗜好性の高い餌を置き，外側，つまりキノコ発生舎の床面や露地キノコ栽培地周辺の林床からナメクジを誘引し，テープの外側から感電させる開放系の捕殺が目的である。また，テープの構造に関しても改良が必要であり，感電後に回避すると再度テープに接触して，何度も電気的刺激を受けるようなデザインを考案し，捕殺の確度を高めたい。

電気的特性の他にもナメクジが出現する気象条件や誘引性，嗜好性の強い餌の解明を行い，キノコの有無にかかわらず年間を通してナメクジが捕殺できるようにしたい。

本研究は平成21年度新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業委託事業「関東・中部の中山間地域を活性化する特用林産物の生産技術の開発」（課題番号 18021）で得られた成果の一部である。

引用文献

（１）池田和弘（2009）電圧を負荷したアルミニウム箔テープによるナメクジ食害回避. 関東森林研究 (60)：277 ～ 280.