

洪水・積雪・雪崩・鳥獣被害等の野外観察が可能な 遠隔観測操作装置の長期動作可能遠隔地電源システムの開発

富山高等専門学校 機械システム工学科 石黒 農

I. 研究の経緯

近年、地方の後期高齢者地域が拡大している。富山県の中山間地の 1,300 の限界集落を対象としたアンケートにおいて、身近で困っている新規社会課題の 1 位が後継者の育成・確保、2 位が獣害・病虫害の発生、3 位が除雪活動の負担の増加、...、などとなっている^[1]。申請者は、地域課題 3 位の除雪活動の負担軽減について検討を行っており、その研究過程で、洪水・積雪・雪崩・鳥獣被害等の野外観察遠隔装置を開発してきた^[2]。

研究成果に対して近隣の高齢作業従事者から、研究室で開発した技術を用いて、「早朝の駐車場の融雪装置の起動停止制御、融雪溝の開閉制御、ビニルハウス積雪の除雪制御に利用できないか。」との少数の問い合わせがあった。農林水産省のウェブサイトに記載されている様に、世界的な気候変動に伴い、短時間豪雪による農業ビニルハウスの倒壊で、農家を廃業しなければならない高齢者および合同企業が発生している^[3]。また、ビニルハウスの積雪倒壊によって、年間 100 億円程度の施設損壊の被害が続いており、ビニルハウス除雪問題は、解決の意味のある研究課題であることが分かってきた。

研究室で開発した多目的野外観察遠隔装置を用いれば、24 時間体制で農業ビニルハウスの降雪状況を把握し、自動制御または遠隔操作で融雪暖房や除雪機械の起動停止を行うことができ、農業ビニルハウスの倒壊を防ぐことができる。しかし、農業ビニルハウスは住宅地から離れた場所に設置されている場合が多く、提案する装置の電源を得ることができない屋外環境であることが多い。そこで、電源供給が難しい遠隔地でも冬期間独自に動作する電源の開発を目指し、遠隔地電源システムの開発を実施した。

II. 提案しているビニルハウスの自動除雪システム

申請研究が提案するビニルハウスの自動除雪装置を図 1 に示す^[4]。画像 AI を搭載した遠隔制御基地局を中心に自動制御および遠隔地から PC アクセスによる 2 通りの方法でビニルハウス積雪を自動除雪する装置を開発した。ビニルハウスの内側から屋根上の積雪をリニアアクチュエータで押すことで、ビニルハウス積雪を側面に自動除雪することが可能である。リニアアクチュエータは最大 150kgf 程度の雪を押し上げることができる。既存のビニルハウスに複数配置することで、人手無しにビニルハウス除雪が容易に行える。大量生産されている部品を利用

することで 1 棟あたり 50 万円程度の設備の追加でビニルハウスの自動除雪が実現可能であることを確認している。現在は技術課題の中核となる人工知能による積雪判定に関する検討が行われている。



(a)除雪前 (b)除雪後
図1 ビニルハウスの自動除雪装置^[4]

III. 提案している DTMF 通信遠隔制御システム

申請者は、後期高齢者限界・消滅可能性地域での除雪負担軽減に関する研究を実施しており、その研究過程で、多目的野外観察遠隔装置を開発してきた^[2]、画像および音声 AI を用いた指令通信方法や、広域ネットワークと Bluetooth 通信を兼用した手動打ち込みによる指令通信方法など色々な遠隔指令通信方法について検討を行ってきた。上記の方法は開発者が自由に通信設定を行えることが可能で自由度が高い特徴がある。その反面、技術修得に時間が掛かかり、開発時間が長くなる問題があった。そこで、堅固な技術として長く使われ、簡易化された DTMF 通信を用いた遠隔通信方法について検討を行った^[5]。

遠隔通信基地局として、通販サイトから容易に入手できる図 2 に示す最新のスマホを導入した(申請研究費用で資材を購入)。導入したモトローラ g13 は、5000 万画素のメインカメラと 800 万画素のインカメラ、5000mAh の大容量電池、6.5 インチ 90Hz ディスプレイ、Dolby Atmos ステレオスピーカー、4GB-RAM、128GB-ROM を片手に収まる容積に収めている。



図2 遠隔通信基地局 モトローラ g13

続いて、ランニングコストを下げたいとのユーザーからの要望があったため、通信網の変更を検

討した。通信網の変更では、LINEMO 社の番号付き SIM と、**図3**に示す Japan SIM 社のデータ SIM の両方での遠隔通信状況を調査した。このデータ SIM は、6 カ月間契約で、上限 10GB で、3,000 円程度で利用が可能である。結果として、モトローラ社のスマホを用いれば、両方の SIM で良好な通信状態を得ることができ、電話番号認証が無くとも良好な遠隔制御ができることを確認した。また、提携校があるシンガポールと日本国の通信実験を実施し、シンガポールから日本に設置した遠隔デバイスを制御できることを確認した。通信費の観点から現在では Japan SIM 社の Docomo MVNO (IIJ) 回線を使用して遠隔実験を実施している。月額 500 円程度で、国内および国外の両方から遠隔制御が可能であることを確認した。



図3 Japan SIM 社のデータ SIM

通信の安定化では、過去 70 年間使用実績のある DTMF 通信による遠隔ロボットの制御を検討した。汎用 DTMF デコーダマイコン MT8870 を搭載した **図4** の DTMF モジュールを使用した。価格は 1,000 円程度で、通販サイトから容易に入手できるが、生産中止の製品もあり、価格にバラツキがあった。生産中止に伴い、今後価格が上昇するものと思われる。このモジュールは、0 から F の 16 種に対応した音声信号を識別することができる。これら信号を複数個読み込むことで、無限数の制御信号を生成することができる。シンガポールとの遠隔制御実験において ESP32 および Arduino の汎用マイコンで制御信号を受け取り、条件分岐に対応した装置の遠隔制御が可能であることを確認した。



図4 MT8870 搭載の DTMF モジュール

簡易なありふれた技術を用い、良好な通信環境

を得ることを目的に DTMF モジュールを用いた遠隔通信制御を検討し以下の知見を得た。

- 1) 5000 万画素カメラを搭載するスマホを用いて遠隔観察制御システムを構築できた。
- 2) 安価なデータ通信 SIM を用いてシンガポールから観測装置の遠隔制御が可能であることを確認した。

IV. エンジン式発電機の遠隔制御システムの開発

申請研究では、①エンジン式発電機の遠隔制御システムの開発と、②発生した電気を蓄電・供給するシステムを開発した。まず、エンジン式発電機の遠隔制御システムについて報告する^[6]。

申請研究で用いたセル起動式ガソリンエンジン発電機は、**図5**に示す Yanmar 社の G2400 を利用した。実験には既設の機材を用いたが、10 万円以下のセル起動式のガソリンエンジン発電機が市場に多く出回っており、それらを流用しても良いと考えられる。このエンジンを動作させるには、「①3kgf の力でチョークを引き、②エンジンスタート位置までキーを右回転 90°の位置に回してエンジンを起動させ、③キー位置を右回転 45°に戻し、④続いてチョークを 3kgf の力で押し戻し、エンジンを安定回転させる必要がある。続いて、⑤一定の時間を充電後にキーを右回転 0°の位置に戻しエンジンを停止させる。」の一連の動作が必要となる。そこで、スマホ通信基地局とマイコンの Bluetooth 通信を用いて、遠隔制御によるセル起動式ガソリンエンジン発電機の起動・停止制御を試みた。



図5 セル起動式ガソリンエンジン発電機

図6に遠隔セル起動停止装置を取り付けた発電機を示す。発電機制御盤の前面部に 3D プリンターで製作した遠隔発電ユニットを搭載した(申請研究費用で資材を購入)。この発電機制御ユニットは、ステップモータユニットと Bluetooth 通信可能な汎用マイコンを組み込んでおり、前述のスマホ遠隔通信基地局と組み合わせ、広域ネットワークと Bluetooth 通信による世界ネットワークでの発電機の起動と停止を行うことができる。実際の動作実験によって問題な

く提案する方法で発電機の起動と停止が行えることを確認した。続いて、1回の給油で、どの程度の時間で発電が可能か調査した。使用したエンジン発電機の燃料消費量を計測したところ、1時間当たり0.88リットルのガソリンを消費することが分かった。標準タンクは11リットルのガソリンを貯めることができ、連続で約12.5時間の発電が可能であることを確認した。



図6 遠隔セル起動停止装置を取り付けた発電機

開発した通信遠隔制御ユニットを用いた発電機の遠隔制御を検討し以下の知見を得た。

- 1) 遠隔操作デバイスに汎用マイコンを組み合わせることでエンジン起動停止動作に関する複雑動作制御が可能であることを確認した。
- 2) 提案したシステムを用いて遠隔操作によって発電機の起動・停止を行えることを確認した。

V. 発電した電気の蓄電・供給システムの開発

続いて、発生した電気を蓄電・供給するシステムの開発について報告する^[6]。発電機で生成した電気を蓄電・供給するシステムとして、図7に示す既存の蓄電システムを用いた(申請研究費用で蓄電池をレンタルした)。使用した EcoFlow ポータブル電源 DELTA2Max ポータブル電源は、2,048Wh の容量を持ち、AC 出力 2,000W の能力を有している。



図7 使用した蓄電システム

この電源システムは放電および蓄電時の装置の温度や使用電流を常に計測しており、急な発熱および蓄電部の膨張などが発生しないような自己維持

装置を有している。申請研究では、レンタルの都合から高性能蓄電池を使用した。安価な他の蓄電池でも利用が可能と思われる。

蓄電システムの蓄電率と遠隔制御時間の関係を図8に示す。図中の白塗り記号は遠隔デバイスを1台接続した場合、黒塗り記号は遠隔デバイスを2台接続した場合を示す。遠隔観察操作装置を1台接続した場合に対して、2台接続した場合は安定した挙動を示している。この理由として、この検証実験では、新品の蓄電池を用いて、1台接続した場合の蓄電率の関係を3回求めた後に、2台接続した場合の蓄電率を3回求めた。初期の電池のバラツキ特性が複数回の電池消費と充電実験を繰り返したことで安定したと考えている。遠隔観察装置の接続台数が1台と2台で、消費電力量が大きく変わらない理由として、バッテリーの管理維持のための電気消費より、遠隔観察操作装置の消費電力が圧倒的に小さいことが考えられた。蓄電池特性が安定している場合、1回の充電を行うと、170hrs. = 約7日間動作できることを確認した。

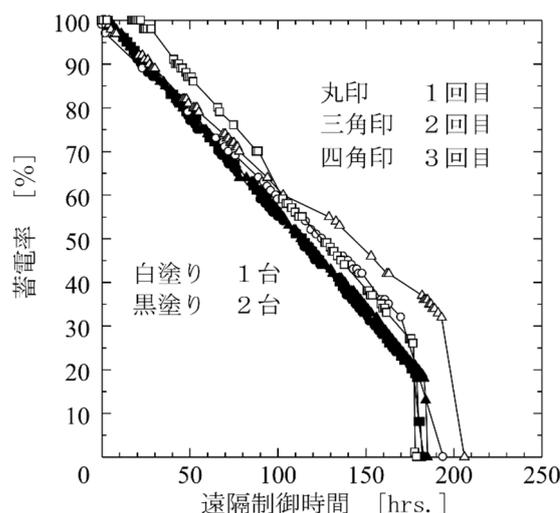


図8 蓄電率と遠隔制御時間の関係

続いて、図9に充電率と充電時間の関係を示す。蓄電池は発電機によって、1,400w で充電されていた。2台の遠隔制御デバイスを接続した充電特性と1台の遠隔制御デバイスを接続した状態での充電特性に変わりは見られなかった。蓄電池に常時接続されている遠隔制御デバイスの待機消費電力は7w程度であり、圧倒的に遠隔制御デバイスの消費電力より充電電力の方が大きかったためと考えられる。試験はそれぞれ、3回実施されたがほぼ同じ充電特性を示しており再現性が高い結果が得られた。使用した充電器は90min = 1.5hrs の充電で100%の蓄電が可能であることが分かった。

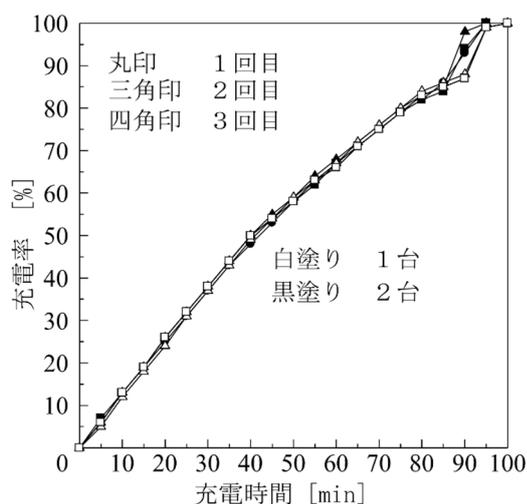


図9 充電率と充電時間の関係

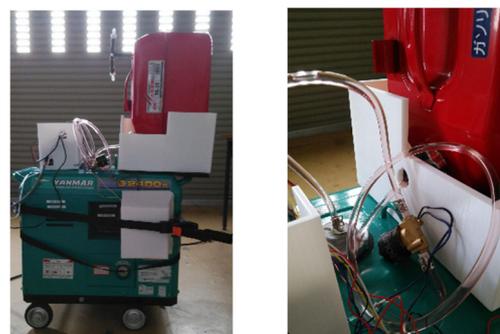
遠隔制御された発電機で生成された電気の蓄電を目的に、市販の蓄電池システムを評価して以下のことが分かった。

- 1) 安定化した蓄電池を用いて1回の充電で7日間の連続動作が行えることを確認した。
- 2) 蓄電率と遠隔制御時間特性を評価することで、使用する蓄電池が安定した特性を示しているかを評価できることが分かった。春夏秋冬で季節が変わる中で、蓄電池を長期間使用する前に、使用する蓄電池の特性を評価することが重要である。

VI. 長期動作に向けた遠隔給油システムの検討

提案する遠隔観測装置の長期動作について検証した。実験に用いた発電機は、11リットルのガソリンタンクを持っており、12.5hrs.の連続発電が可能である。また、使用した蓄電池は1.5hrs.でフル充電できる。標準タンクの容量では約8回の充電が可能である。1回の充電で7日間の遠隔制御が可能であり、1回の給油で約56日間の連続利用が可能であることが分かった。

更に遠隔制御の使用期間を延長するために、危険物取扱資格の必要が無い総量40リットル以下のサブタンクへの増設を検討した。予備実験から、実験に用いたガソリンエンジンは、噴射機構が制御化されており、キャブの吸気による負圧を利用したガソリンの引き込みが行えないことが分かった。そこで、**図10**に示すガソリンの自重を利用したサブタンクから、メインタンクへの遠隔給油制御システムを構築した(申請研究費用で部品を購入した)。サブタンクに取り付けられた電磁バルブの開閉動作を遠隔制御することができた。開時にガソリン自重によってサブタンクからメインタンクに給油できたことを確認した。提案したシステムで40リットルのガソリンを用いれば、約200日程度の遠隔観測操作装置の長期動作が可能である。



(a)増設されたサブタンク (b)遠隔開閉制御バルブ
図10 遠隔給油制御システム

まとめと展望

洪水・積雪・雪崩・鳥獣被害等の野外観察が可能な遠隔観測操作装置の長期動作可能遠隔地電源システムにおける長期間の隔観察操作装置の動作について検証し以下のことが分かった。

- 1) 提案装置でエンジン起動停止動作に関する複雑動作制御が可能であることを確認した。
- 2) 市販の標準部品を組み合わせた遠隔観測操作装置は56日程度の連続操作が可能であることを確認した。

今後の展望として、長期動作実証実験の実施、提案する簡易遠隔制御方法の地域社会課題への適用および技術普及の啓蒙活動を計画している。

引用文献

- [1]富山県: 富山県 WEB サイト, 「富山県の中山間地域における集落の生活状況等に関する実態調査の結果概要」, 2021年2月24日閲覧. <https://www.pref.toyama.jp/>
- [2] An Easy Snowpack Depth Evaluation Using Smartphone, Bluetooth Device, and Augmented Reality Marker of Open Computer Vision Package. Minoru Ishiguro, Yotsumi Yoshii, Toshimasa Chaki, Keigo Kasaya MDPI Sustainability 2023, Vol. 15, Issue 11, 8887 15(11) 1-20 2023年5月.
- [3]防災情報のページ, 内閣府 WEB サイト, 「今冬季の大雪による被害状況等について」, 2021年5月14日発行. [https:// www.bousai.go.jp](https://www.bousai.go.jp)
- [4]高井紅弥:「後期高齢者になる極限環境下で働く遠隔操作ロボットの繰り返し負荷耐久試験に関する基礎研究」, 富山高専機械システム工学科 令和5年度卒業研究講演論文要旨集, 2024, 2, 27-28, 富山高等専門学校.
- [5]堀川颯希:「洪水・積雪・雪崩・鳥獣被害などの野外観察が可能な遠隔ロボットの DTMF 通信を用いた自動制御に関する基礎研究」, 富山高専機械システム工学科 令和5年度卒業研究講演論文要旨集, 2024, 2, 27-28, 富山高等専門学校.
- [6] 太刀川僚「多目的野外観察遠隔観測操作装置の長期動作可能遠隔地電源システムの開発」, 富山高専機械システム工学科 令和5年度卒業研究講演論文要旨集, 2024, 2, 27-28, 富山高等専門学校.