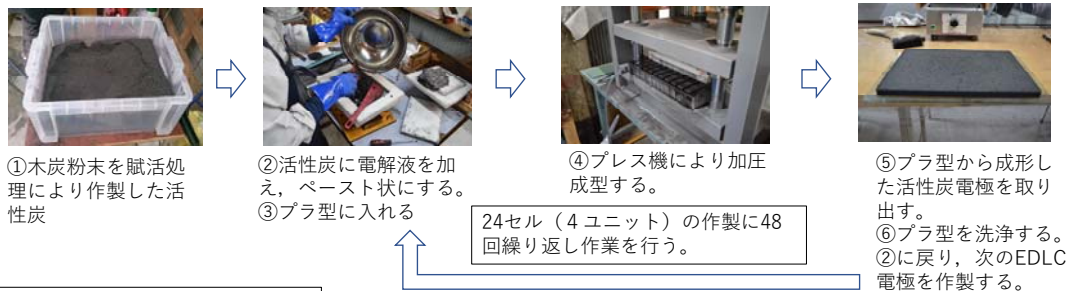


研究成果報告書

研 究 題 目		木炭蓄電器の低コスト化と太陽電池を利用したオフグリッド電源の試作	実 施 年 度
			2022 年度
代 表 研 究 者	所 属	松江工業高等専門学校 電気情報工学科	
	氏 名	福間 眞澄 印	
1. 研究の目的・背景 地球温暖化の対策として、CO₂ 削減や再生可能エネルギーの利用が望まれている。申請者らは、その一例として森林資源を材料にした木炭蓄電器の開発を行っており、木炭蓄電器が、太陽電池と組み合わせ屋外で使用される LED 照明や獣害対策で利用される電気柵などの小電力機器の電源（蓄電装置）に利用できることを検証してきた。木炭蓄電器は、リチウムイオン電池と比較するとエネルギー密度は極めて小さいが、急速充放電が可能であること、使用温度範囲が広い、充放電による劣化が小さい、廃棄する場合でも低環境負荷であるなどの長所もある。木炭蓄電器は、木炭（活性炭）、紙、鉄板、水酸化カリウム水溶液、容器から構成される。これら使用する材料は、比較的安価で国内で入手可能な材料である。木炭蓄電器をより安価に製作するには、より簡単（短時間、安価な設備）に加工する技術が必要になる。ここでは、木炭蓄電器の EDLC 電極（活性炭粉末の板）の加工工程の低コスト化を試みる。 大容量かつ安価な蓄電装置を実現するには、過電圧防止回路を設け木炭 EDLC を高電圧化し、かつ大容量の充電回路が必要となる。これまでは、自作の充電回路を用いていたが、市販の安価な DC-DC コンバーターでも太陽電池（200W クラス PV）から木炭 EDLC を充電することが可能であることがわかってきた。近年のパワーエレクトロニクスの技術進歩により、太陽電池、LED 照明、DC-DC コンバーターなど、高性能で安価なものが入手可能になってきており、今後、木炭蓄電器がより安価になれば、木炭蓄電器の利用が広がると考えられた。 本研究の目的を達成するためには、安価で特性の均一な木炭蓄電器を実現する必要がある。木炭蓄電器の材料は、比較的安価であることから、加工コスト（加工時間、設備）の削減が重要となる。 2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む） 木炭蓄電器の製造工程は、木炭粉末を活性炭に加工する賦活工程と活性炭から木炭蓄電器を加工する組み立て工程に分けられる。本研究では、木炭蓄電器の低コスト化の研究として EDLC 電極（活性炭の板：B5 版厚さ 10 mm）の製造工程について改善のための実験を行う〔目標設定：現状の EDLC 電極の加工時間（20 分）を 1/10 にする〕。また、その方法で製造した EDLC 電極を用いた木炭蓄電器を用いて小容量（200Wh）のオフグリッド電源を試作し、検証を行う。 2. 1 EDLC 電極の加工時間の短縮（計画） 組み立て工程において、加工に時間が掛かるのが EDLC 電極の成形である。図 1 上段に示すように、従来の EDLC 電極は以下の工程			

で成形される。活性炭に水または電解液を混練し活性炭ペーストを作成する→プラスチックの型（プラ型）に流し込み→プレス機により加圧成型する→プラ型から取り出す。EDLC 電極はこれら一連の工程で加工される。現状，EDLC 電極 1 枚当たりの加工に数十分を要している。この工程を機械により自動化する方法も考えられるが，プラ型を多数用意し，プラ型に活性炭ペーストを所定量入れ，バイブレータにより振動を与え，重りによる圧力により EDLC 電極を成形する方法も考えられた。これにより，多量の EDLC 電極を一度に成形する。プラ型からの取り出しは，プラ型の構造の工夫により可能とする。ここでは，新しい方式のプラ型を準備し，プレス機を使用せず EDLC 電極の加工を行い，加工時間の短縮を図る。

従来のEDLC電極の作製方法



新しいEDLC電極の作製方法

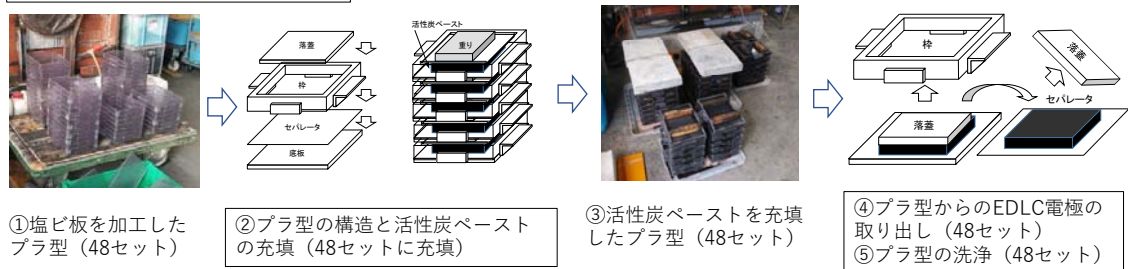


図 1 活性炭電極の製作工程（現状と新規）

本研究で実施した新しい EDLC 電極の具体的な製造方法を，図 1（下段）に示す。従来のようにプレス機により加圧成型しないで，作製する EDLC 電極の枚数分（今回 48 枚）のプラ型を準備し，各プラ型に活性炭に水を混練したペーストを計量し充填する[下段②]。その後，自作のバイブレータにより振動を与え，ペーストをプラ型内で平らにする。続いて，上部から加重を与える[下段③]。一定期間，加重をかけ，水を抜き（放置乾燥），これによりペーストを板状に加工する[下段④]。

今回，新しい方法での EDLC 電極の密度と従来の方法で作成した EDLC 電極の密度を比較した。密度の測定は，両 EDLC 電極を恒温乾燥機に入れ，同一条件で十分に乾燥させ，その EDLC 電極の重さと体積から行った。今回の新しい方法でも従来方法と同等の密度の EDLC 電極となっていることがわかった。従来のプレス機 [上段④] が不要となり，EDLC 電極を組み立てる設備が軽減された。新しい方法では，乾燥時間[下段③]が，およそ 1 日必要となるが，乾燥時間を作業時間外とすれば，電極の組み立て作業時間の短縮は，計画した目標値（20 分→2 分/EDLC 電極）を達成している。

2. 2 小容量のオフグリッド電源の試作 (計画) 上記の新しい方法で組み立てた EDLC 電極を用いて木炭蓄電器を製作し、これまでの方法で製造した木炭蓄電器と特性を比較し、その後、製作した木炭蓄電器を利用して、監視カメラ用オフグリッド電源を試作する。3 日雨天が続いても 4W のカメラを動作させるためには、200Wh 程度の蓄電容量が必要である。試作したオフグリッド電源を、学内もしくは学外に設置し、動作を確認する。

(実績) 本研究で試作した木炭蓄電器を利用したオフグリッド電源の構成を図 2 に示す。試作したオフグリッド電源は学内プール南側の実験場に設置し実験を行った。試作した木炭蓄電器は、活性炭粉末を B5 版 (260mm×180mm)、厚さ 10 mm の板状に加工したものを分極性電極とした。電解液には、水酸化カリウム (KOH) 水溶液を利用し、セパレータと集電極には、それぞれ、紙 (日本高度紙 VL-100) と鉄板 (SPCC, 厚さ 0.3 mm) を使用している。容器は、アルミガスバリア (A4 サイズ) である [図(a)-(c)]。図(d)は 6 セルを並列接続し梱包したユニット (箱) を示す。1 ユニットのセルはすべて並列に接続し、過電圧が印加されないように保護回路を各ユニットに 1 個ずつ接続している。12 箱のユニットを直列にして、EDLC を構成した [図(e)]。構成は、充電のための 100W の PV [図(f)], スマカメ (Solid Camera, Viewla, IPC-16LTE, 12V, 6W) [図(g)] とそれらを制御するための自作の制御回路 [図(h)] からなる。図 (h) に示した制御回路には、市販の DC-DC コンバーター 3 台と PIC マイコンを用いた電子回路を組み込んだ。実験の結果、全体の EDLC の蓄電容量は 158Wh (12V) であった。計画では 200Wh 程度の蓄電容量を得る予定であったが、計画値に達しなかった。蓄電容量については、活性炭の賦活条件の他、一次炭化の温度等の条件にも大きく依存する。現状、賦活については、特性のばらつきの原因が特定できていない。

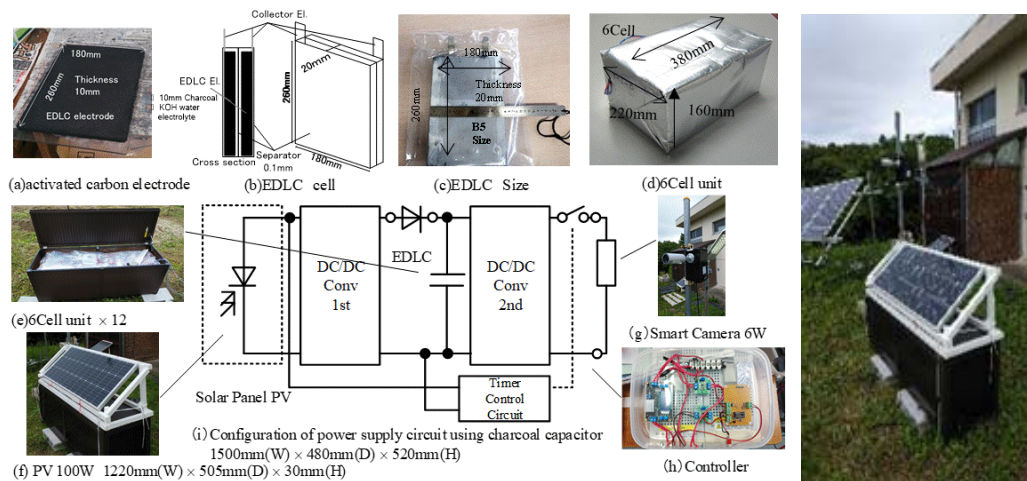


図 2 木炭蓄電器と PV を利用した屋外カメラ用電源の構成

カメラ (スマカメ) は、12V で動作し、消費電力は、待機時 3W、動作時 6W である。図 3 は、製作した電源を屋外に設置し、カメラを 24 時間動作させた結果である (令和 4 年 7 月 4 日と 5 日)。図中の黒■は、PV の出力を示している。赤■は、EDLC の電圧を示し、

緑■はカメラへの供給電圧 (12V) を示している。①の日の出とともに、EDLC 充電が開始されている。EDLC の電圧が 11.4V に達すると一定値を維持している。昼間は、PV が発電した電力がカメラに供給されており、EDLC の電圧は低下していない (②)。EDLC の電圧は日没 (③) から翌日の明け方 (①) 朝まで低下し、8.6V となっている。カメラにはこの間 12V を供給し続けている。

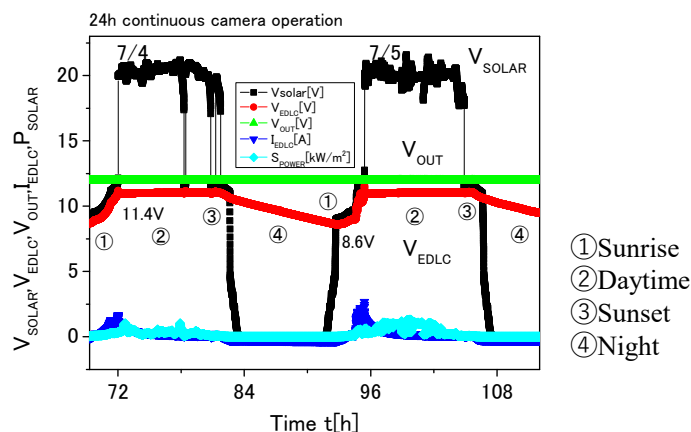


図3 スマカメ連続動作 (30 分毎画像転送) 時の電源の動作 (2022.07.04.-2022.07.05)



図4 カメラ用電源と電子メールで送られる画像の例 (2022.06.26.一部)

図4は、カメラから LTE 回線 (スマートフォンや携帯電話用の通信規格) を介して電子メールにて 30 分毎に送信した画像の内の 8 枚を示している (1 枚の画像の容量は、jpg, 214kB)。図4の(h)は、カメラの赤外線ライトが点灯し撮影された画像である。カメラ用電源の実験は、2022 年 5 月から開始後、現在も継続しており、この間雨天時も動作し続けている。

この結果から、開発した木炭蓄電器は、体積当たりの蓄電容量が小さいなどの欠点はあるが、PV と簡単な制御回路を組み合わせ、屋外カメラ等の小電力機器のオフグリッド電源が実現できることを確認できた。監視カメラ用に試作したオフグリッド電源は申請時に計画した動作を達成していると判断している。

2. 3 申請時の計画の達成状況 本研究では、EDLC 電極の組み立て時間 (作業時間) の時間短縮では、計画した作業時間の短縮は達成できた。木炭蓄電器ユニット 12 箱で、200Wh 程度のオフグリッド電源を作製する目標であったが、製作した EDLC のエネルギー密度が低く目標の約 80% (158Wh) しか達成できなかった。蓄電容量 (エネルギー密度) の向上には、賦活条件の他、木炭粉末の粒形 (表面積) や電気抵抗も関係しており、木炭粉末もしくは活性炭粉末の細粒化と低抵抗化に改善の方向が考えられた。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

本申請では、木炭蓄電器の組み立て工程の作業時間の短縮による低コスト化と 200Wh 級のオフグリッド電源の試作（監視カメラ用）に関連する予算を申請した。

○木炭蓄電器の組み立て工程の作業時間の短縮

木炭蓄電器の試作に関連して、木炭蓄電器材料（セパレータ、圧延鋼板）と EDLC 電極組み立て治具（木炭 EDLC 用プラ型製作費等）の経費を申請した。申請した木炭蓄電器材料、組み立て工程の治具製作等に関連する消耗品を購入した。購入した消耗品中には、申請時に計画にない消耗品も含まれる。これは活性炭を製造する賦活炉の修繕に必要となった消耗品である（賦活炉断熱材、賦活炉（配管）、賦活炉（水蒸気配管）、賦活炉水蒸気発生装置用部品）。

○200Wh 級のオフグリッド電源の試作（監視カメラ用）

オフグリッド電源とそれに組み込む監視カメラに関連する電子部品の他、木炭蓄電器等を屋外で収納するケース等を予算として申請した。電子部品（DC・DC コンバーター、ダイオード、PIC マイコン他）、太陽電池（100W）、スマカメ用通信カード（SIM、1 年）、屋外用ケース製作、コンクリートブロックは、申請した通り購入した。なお、カメラ本体の購入は、他の研究費でおこなった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

現在、少子高齢化がすすむ島根県内の中山間地域〔雲南市吉田町民谷（宇山地区）〕の農家の倉庫（約 70m²）をお借りして、木炭蓄電器の実用化に関する研究を行っている。

現在、木炭蓄電器を利用した機器（将来的には商品）として、右下写真のような LED 照明と獣害対策用の電気柵用電源を試作し、中山間地域での実証実験を行っている。これらは太陽電池で発電した電力を木炭蓄電器に蓄え利用する装置である。試作した木炭蓄電器の特性評価と商品の制御回路の開発については、松江高専の研究室等で行っている。これら機器には、木炭蓄電器の他、太陽光パネル、LED、電気柵、制御回路、木炭蓄電器等の容器や架台なども用途に応じて必要となる。現在、制御回路の開発と改良の他、実証実験で明らかになった問題点の改善、および木炭蓄電器の低コスト化を進めている。

これら機器を農家の人たちが製造・販売するには、保守などを含めて困難な課題が多数あることがわかった。このため、現在、実用化を農家の方と協力し、地産地消[※]の形で進めつつある（※地産地消：この地域でつくられた木炭蓄電器はこの地域で利用する）。



木炭蓄電器を利用した LED 照明



木炭蓄電器を利用した電気柵用電源

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

○福間眞澄*¹, 福島志斗*², 飯塚育生*³, 高橋信雄*³, “木炭蓄電器と太陽電池を利用した屋外カメラ用電源の試作”, R22-03-06, 2022 年度（第 73 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会, (2022.10.22) 会場, オンライン (Zoom), *¹ 電気情報工学科, *² 実践教育支援センター, *³ 名誉教授

○福間眞澄*¹, 福島志斗*², 飯塚育生*³, 高橋信雄*³, “木炭蓄電器と太陽電池を利用したオフグリッド電源の試作”, 第 28 回高専シンポジウム in Yonago (2023.1.28, 米子), 講演予稿集, 5-27, *¹ 電気情報工学科, *² 実践教育支援センター, *³ 名誉教授

○J. Park*¹, H. Nagai*², T. Tsutsui*², E. Oikawa*³, M. Fukuma*⁴, “**Practicing Self-sustainable Renewable Energy System by Using Natural Energy Sources**”, The 1st KOSEN RESEARCH INTERNATIONAL SYMPOSIUM, (2023.3.1-2, Hitotsubashi Hall, Tokyo, Japan), *¹ 大島商船高専, *² 弓削高専, *³ 呉高専, *⁴ 電気情報工学科

○福間眞澄*¹, 福島志斗*², “[招待講演]中山間地域での木炭蓄電器の製作とその利用”, 電子情報通信学会 研究会, スマートインフォメディアシステム研究会 (SIS), 2023 年 6 月 15 日(木)-6 月 16 日(金) (発表予定), *¹ 電気情報工学科, *² 実践教育支援センター

○松江高専・学校だより (2023.3), “木炭蓄電器と太陽電池を利用した LED 照明をアフリカタンザニアで実証実験”, 松江高専では, これまで木炭を材料にした蓄電器 (木炭蓄電器) とその利用について研究開発を行ってきました。昨年, NPO 法人 Class for Everyone (神奈川県相模原市, <http://class4every1.jp>) 代表理事 高濱宏至氏から, アフリカにあるタンザニア連合共和国の無電化地域で木炭蓄電器を利用してみたいという提案をいただきました。今年 1 月, 本校との共同研究で試作した小型 LED 照明装置が NPO 法人の方によって現地まで運ばれ, 実証実験が行われました (写真)。台車には, 太陽電池, 木炭蓄電器, 制御回路が載っています。昼間, 台車を屋外に出して太陽電池により発電した電気を木炭蓄電器に充電します。夜間は, 屋内に入れて木炭蓄電器に充電された電気で LED を点灯させます。発電・蓄電・点灯すべて順調に機能することが確認でき, 実験は無事終了。協力してもらった家族には大変喜ばれたとのこと。照明装置はこの地域に寄贈されましたが, NPO の方の次回訪問まで順調に機能していることを祈っています。

タンザニアでは燃料用に木炭が作られ, 販売されているそうです。今後は, 現地の木炭を利用して, 現地で蓄電器が作れるようになると思います。木炭蓄電器は, 日頃, 実験に協力いただいている雲南市吉田町の農家の方に製作していただきました。その製造条件等は, 化学の鈴木純二先生にアドバイスいただいています。制御回路は, 実践教育支援センターの福島志斗さんによって製作されました。(電気情報工学科 福間眞澄)



2023.01.17