

# 一般社団法人電気学会 電力・エネルギー部門 ニュースレター

## 目次

B部門大会の開催案内	1
高校生みらい創造コンテスト	2
研究グループ紹介	16
学界情報	17
海外駐在記事	26
調査研究委員会レポート	27
用語解説／論文誌目次	28
論文委員会からのお知らせ	29
編修委員会からのお礼	30
「研究・技術功労賞」 候補者推薦のお願い	31
学会カレンダー	32

## 令和5年電気学会 電力・エネルギー部門大会の開催案内と論文募集(第1報)

電力・エネルギー部門（B部門）は、会員および大会参加者の交流を深め活発な活動を図るため、下記の通り、令和5年B部門大会を開催し、講演論文を募集します。会員はもとより非会員の方の発表も歓迎します。

**会期** 令和5年9月4日（月）～9月6日（水）  
**会場** 愛知工業大学 八草キャンパス  
〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247  
<https://www.ait.ac.jp/access/yakusa/>

COVID-19の感染状況によりオンライン開催とさせて頂く可能性がございます  
以下の2種類があります。

**論文Ⅰ**：内容のまとまった密度の濃い発表ができる和文または英文の論文。論文は原則4ページ以上とし、6ページを超過する場合、著者には超過分の費用（5,000円/ページ）を負担頂きます。ページ数の上限は14ページです。発表形式は「口頭発表」のみです。なお、29歳以下の方で、論文Ⅰをポスター発表することも希望する場合は、申込時にその旨を申告して下さい。ただし、ポスター発表件数によっては、希望に沿えない場合があります。

**論文Ⅱ**：研究速報、新製品、トピックスなど速報性を重視し、迅速に発表や紹介をしたい和文または英文の2ページの論文。発表形式は、「口頭発表」と「ポスター発表」があります。申込時にどちらか一方を選択して下さい。ただし、希望に沿えない場合があります。

**論文Ⅰ、Ⅱ**で対象とする主な技術分野は以下です。  
(A) 電力系統の計画・運用・解析・制御  
(B) 電力自由化  
(C) 分散型電源・新電力供給システム  
(D) 電力用機器  
(E) 高電圧・絶縁  
(F) エネルギー変換・環境

### 発表方法

**論文Ⅰ**：30分程度（質疑応答を含む）の口頭発表。討議が十分できる時間を取っています。

**論文Ⅱ**：20分程度（質疑応答を含む）の口頭発表。ポスター発表はA0用紙1枚（縦）相当のポスターを指定した場所に掲示し、対応して頂きます。

### 表彰について

35歳以下の方が発表した論文Ⅰおよび論文Ⅱ（ポス

ター発表を含む）から、優秀論文発表賞を選定します。また、YPC（Young engineer Poster Competition）として、29歳以下の方による優れたポスター発表に対し、YPC優秀発表賞とYPC奨励賞を授与します。年齢は大会初日時点のものです。

オンライン開催の場合には、YPC各賞の代わりとして、29歳以下の方による優れた口頭発表に対して、YOC優秀発表賞とYOC奨励賞を授与する形式に変更する可能性があります。

・YOC：Young engineer Oral presentation Competition

### 申込方法

論文Ⅰ、Ⅱともに講演の申込をインターネットで行います。申込完了後に、論文原稿を提出して頂きます。

### 注意事項

申込み頂いた論文は全て発表可能ですが、発表は1人1論文に限ります。ただし、上述の通り、論文Ⅰ申込者のうち、29歳以下の方でYPCでの発表を希望する方のみ、論文Ⅰ（口頭発表）とポスター発表の2回の発表を認めます。また、論文ⅠをB部門大会特集号（令和6年2月号予定）として論文誌に掲載希望される場合は、B部門大会への投稿と同時に、別途、各自で電子投稿・査読システムよりB部門大会特集号へ投稿して頂く必要があります。B部門大会では、特別企画、座談会、懇親会および各講演会場において写真撮影し、ホームページ上などで公開することがあります。

### 講演申込/原稿提出期間（厳守）

	論文Ⅰ、論文Ⅱ	
受付開始日時	令和5年3月1日（水）	9時
講演申込締切日時	令和5年5月12日（金）	17時
原稿提出締切日時	令和5年5月12日（金）	17時

**主催** 電気学会 電力・エネルギー部門（B部門）  
**共催** 電気学会 東海支部  
**その他** 大会参加の申込方法、プログラムなどの詳細につきましては、B部門ニュースレターおよびB部門大会のホームページに今後掲載します。

**問合せ先** 〒102-0076 東京都千代田区五番町6-2 HOMAT HORIZONビル8F  
電気学会 事業サービス課 電力・エネルギー部門大会担当 E-mail: pes@iee.or.jp

# 令和4年度電気学会高校生みらい創造コンテストの実施報告

電力・エネルギー部門編修委員会委員長  
岩田 幹 正

高校生みらい創造コンテストは、高校生が電気エネルギー技術を身近なものと感じ、我が国の基盤を支える重要な技術であること、未来を拓く有望な技術であることを理解し、電気工学を学ぶ契機となることを期待して始めました。

電気・エネルギーおよび環境を対象とした実験、測定、計算、設計などを自らの発想で行った報告や高校生らしいユニークな発想の掘り起こしを求めています。

今回は、全国の高等学校、工業高等専門学校14校から19編の応募作品があり、厳正な審査の結果、論旨の展開、独創性、発展性、客観性、分析力、発想力など幅広い観点から評価し、最優秀賞1編、優秀賞2編、佳作4編を選考しました。また、今回1校で数多くの作品を応募していただきましたが、今一步のところで受賞を逃した高校を特別賞として表彰させていただいています。

今回も興味深い、楽しい、ユニークな内容の作品が多く見受けられました。具体的にはドローン、電気自動車、風力発電等に関する高度な実験・シミュレーション・考察を行なった作品がある一方で、身の回りの課題に焦点を当て、農業や林業にまで分野を拡大して、検証を行ったユニークな作品もありました。

評価の高い作品は、高校生らしい視点や考え方で課題を捉え、試行を経て積極的に自分の意見をまとめ良く述べておりました。一方で、アイデアは良いのですが、目的が不明瞭や考察不足、主張が少ない作品の評価は高くありませんでした。

今回の審査を通して、現代の高校生が電気エネルギーに関する技術や課題に対しどのように考えているのかを読み取るとともに、現代社会の誰もが関わる電気エネルギーについて、我々電気学会の会員が分かりやすく伝えていくことの重要性を再認識しました。また、コンテストに参加した高校生の中から、近い将来に、電力・エネルギー分野で活躍する研究者、技術者が現れることへの期待を強くしました。

今年6月には、次回コンテストへの参加募集を開始いたしますので、引き続き多くの高校生に参加願えるよう指導員の先生方および関係者のご協力をお願いいたします。

最後になりましたが、本コンテストの企画・推進にあたり、共催のパワーアカデミーより多大なご支援、ご協力をいただきましたことに対し厚く御礼申し上げます。

## 令和4年度電気学会高校生みらい創造コンテスト 審査結果

<b>最優秀賞</b>	聖光学院高等学校 「微小熱エネルギーを利用した土壌センサー用発電デバイスの性能評価」	川埜 雄 様 指導 大西 正人 先生
<b>優秀賞</b>	東京都立多摩科学技術高等学校 「ドローン搭載の無線ネットワークによる遭難者捜索」	松原 健太郎 様、他2名 指導 西野 洋介 先生
<b>優秀賞</b>	兵庫県立洲本実業高等学校 「マグナス効果を用いた新型風力発電機の考案 — 人と自然にやさしいエネルギー自立社会をめざして —」	影山 奎斗 様、他2名 指導 長尾 伸洋 先生
<b>佳作賞</b>	東京都市大学塩尻高等学校 「大型車の電動化の導入の検討 ～ガソリン車と電気自動車の燃料消費量・消費エネルギーの違い～」	水野 里佳子 様 指導 篠崎 英夫 先生
<b>佳作賞</b>	岩手県立釜石高等学校 「木質からのバイオエタノール生成」	佐野 誉尊 様、他3名 指導 丹代 陽 先生
<b>佳作賞</b>	広島県立西条農業高等学校 「農業機械の省力化に関する基礎研究」	齋藤 一護 様、他7名 指導 古舘 蔵夫 先生
<b>佳作賞</b>	北海道北見北斗高等学校 「森から電気を収穫しよう」	原田 大和 様 指導 名苗 顕治 先生
<b>特別賞</b>	石川工業高等専門学校	

Final Results of IEEJ Essay Writing Contest for High School Students,  
2022.  
By Mikimasa Iwata.

# 微小熱エネルギーを利用した土壌センサー用 発電デバイスの性能評価

聖光学院高等学校

川 埜 雄

## 1. はじめに

〈1・1〉 研究背景 スマート農業の一環として用いられるデバイスの1つとして、土壌の温度や含水率、電気伝導率などを計測するIoTセンサーの活用が期待されている。主に追肥のタイミングの決定指標などに用いられ、農業の効率化や、新規農業就業者に大きく貢献しうるのである。

しかし、農業の現場でのIoTセンサーは広大な面積での設置が必要であり、バッテリー交換の際の人的費用、測定の連続性など、電力供給に課題があるとされてきた。こうした経緯から、身の回りのエネルギーを用いて発電を行う環境発電が土壌センサーの稼働源として注目されている<sup>(1)~(3)</sup>。

〈1・2〉 熱電変換技術 スマート農業の一環として用いられる環境発電に用いられる技術の一つとして熱電変換技術がある。金属や半導体の棒状の試料の両端に温度差を与えると、温度差に比例した電圧が生じることが知られている。この現象はゼーベック効果と呼ばれ、ゼーベック効果を利用して熱と電気を変換する技術は熱電変換と呼ばれる。

また、実際に熱電変換により電力が取り出せるようにした図1下図のような構造を複数個つなげたものを熱電変換素子などと呼ぶ。

熱電変換によって発生する電圧は以下のように表すことができる。

$$V = -\alpha \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $V$ は起電圧、 $\Delta T$ は温度差であり、 $\alpha$ はゼーベック係数と呼ばれる物質に依存する値である。伝導キャリアが電子ならば $\alpha < 0$ 、ホールならば $\alpha > 0$ となる<sup>(4)</sup>。

〈1・3〉 研究目的 文献(3)において、地中と空気の間にも生まれる微小な温度差を、この熱電変換によって電力に変換する土壌センサー用の発電デバイスが考案されている。土壌物理学の解析によれば地中約30cm以深の温度が時間帯によらずほぼ一定であり<sup>(5)</sup>、比較的溫度が大きく変動する空気との間で温度差が生まれやすいという性質に基づいたものである。

この地中と空気の温度差を利用した土壌用センサーの発電デバイスは、植物の成長、泥の付着などで太陽光がない環境下でも発電可能であることが長所とされる。一方で、文献(3)のデータによれば、得られた電力では安定したセン

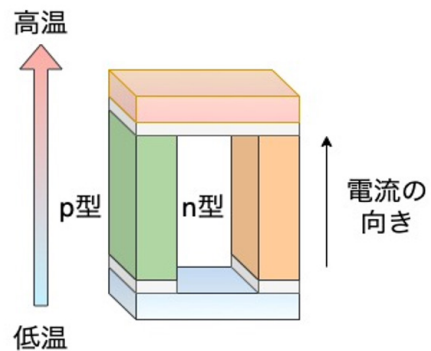
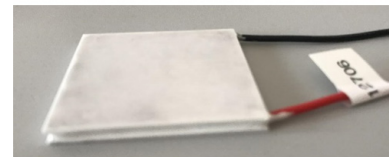


図1 熱電変換素子：TEC1-12706（上）とその基本的構造（下）

サーの稼働が困難な場合も見られ、実用的な運用に向けては実証実験と理論解析の両面からの発電効率向上が望まれる。

そこで、本研究では浅い地中と空気の温度差を利用して発電を行うデバイスを作製し性能評価を行うとともに、作製したデバイスの伝熱解析を行い、発電効率向上に向け議論をした。

## 2. 発電デバイスの性能評価

地中と空気の温度差を利用した土壌センサー用の発電デバイスの性能を確認するため、実際に作製して発電量の測定を行った。作製した発電デバイスは熱伝導体（アルミ棒）に熱電変換素子を取り付けたものである。地中に差し込んだ熱伝導体によって、熱電変換素子の片側に土の温度による影響を及ぼす。また、熱電変換素子のもう片側に空気の温度による影響を及ぼす。こうして土と空気の温度差によって生じた熱電変換素子の温度差を、電力に変換するという構造である（図2）。

熱伝導素材にはアルミニウム（A5083）を、熱電変換素子にはTEC-1 12706を使用し、空気と触れる面にフィンを取り

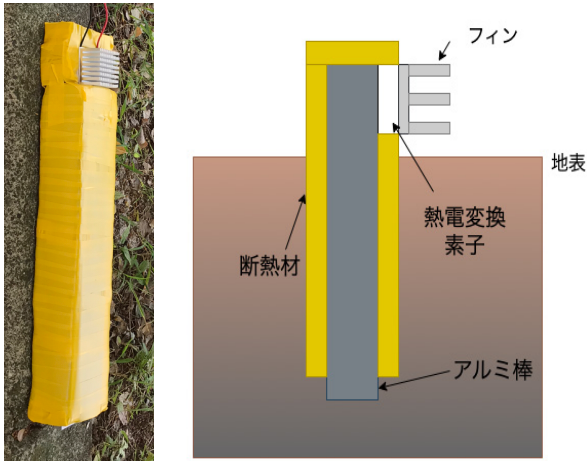


図2 作成した土壌センサー用発電デバイス (左) と地面に挿入した際の模式図 (右)

付けた。また、厚さ計 20 mm のポリエチレン板 (PE ライト) を断熱材として熱伝導素材の外側に取り付け、ビニールテープを巻くことで防水効果を施した。熱伝導素材とペルチェ素子の接着には放熱用接着シートを使用し、接触による熱抵抗を小さくすることを図った。

この土壌センサー用発電デバイスを深さ 30 cm 強の土に差し込んで、電圧を計測した。また、空気、地中の温度差との相関も調べるため、空気の温度および地中の温度も計測した。地中の温度の計測は深さ約 3, 10, 20, 30 cm の 4 点で行い、空気の温度の計測は、実験場所近辺に設置した実験箱内で行った。空気の温度の計測にあたって、実験箱内は一箇所直径 22 mm の穴を開けた (図 3)。

実験は 2022 年 10 月 4 日から 10 月 7 日の計 4 日間にわたって、東京大学工学部 9 号館前 (北緯 35.72 度, 東経 139.76 度) の地面で行い、計測には電圧に LS-200V, 温度に温度ロガー (SK-L400T) と SwitchBot 温湿度計を用いた。

図 4 は地中 30 cm の温度から気温を引いた値と測定電圧の関係を示したものである。ただし、測定電圧は前後 2 分間を含んだ移動平均であり、実験地に近い東京のアメダスのデータから、降水が見られた時間帯を灰色の長方形で示した<sup>(6)</sup>。

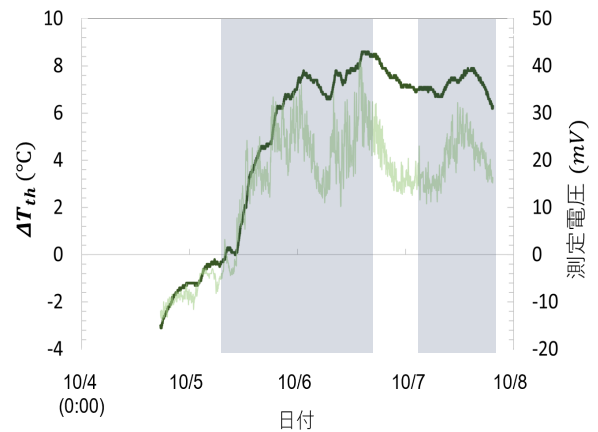
図 4 から、起電圧は昼に上がって夜に下がる傾向にあることがわかり、これは気温と地中の温度差の上下と一致している。このことから、実際に気温と地中の温度差により熱電変換素子の起電圧が発生していることが確認できた。

一方、実験地では 10 月 5 日午前 10 時頃から降水が見られることがわかり、図を見ると、降雨以降では降雨以前と比較して温度差に比較して電圧が発生しにくい傾向が見られる。熱電変換素子側面への降水が温度差を生じにくくさせたことが一因として考えられる。

なお、実験期間中に得られた平均電圧は 36 mV であり、これはセンサーの稼働に必要な目安とされる 20 mV を上回る形となった。



図3 実験の様子



濃線が温度差、薄線が測定電圧を示す。灰色の長方形は降雨が見られた時間帯を表す。

図4 測定電圧と温度差の関係

### 3. 有限要素法を用いた伝熱解析

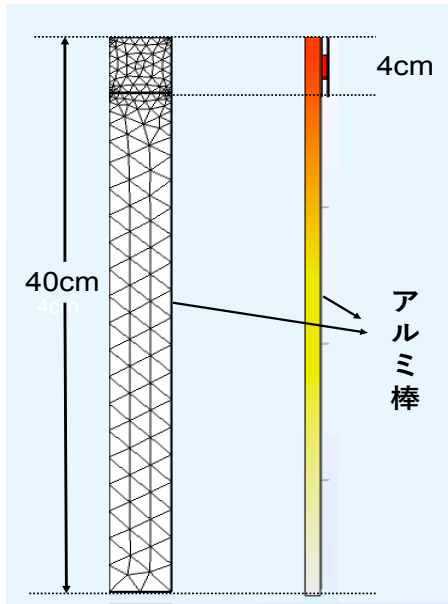
上記のフィールドワークにより、気温と地中の温度差を利用して土壌センサーを稼働する目処が得られた。一方、より高頻度のデータ送信や温度差の小さい環境下での稼働を実現するには、熱電変換素子における温度差を向上させることが望ましい。そこで、後述の(1)~(7)に基づき農業用センサーの構造を近似し、土・空気の温度と熱電変換素子に発生する温度差の関係を解析した。

以下、土の温度を  $T_{air}$ 、空気の温度を  $T_{soil}$  とし、熱電変換素子に発生する温度を  $\Delta T_{th}$  とする。 $T_{soil} = 20^\circ\text{C}$  で固定し、 $T_{air} = 10, 15, 25, 30^\circ\text{C}$  の 4 種類の条件で熱伝達率と熱電変換素子の温度差の関係を計算した。また、 $T_{air} = 30^\circ\text{C}$  のとき、熱伝導体に銅を用いた場合も解析した。

なお、解析には有限要素法を用いた。この手法は、計算領域を有限要素と呼ばれる有限個の小さい部分領域に分割した後、各有限要素内で熱伝導方程式がもっともよく成り立つように温度を定めるものである<sup>(7)(8)</sup>。本研究では熱電変換素子の部分をアルミ (A5083) に比べて細かい要素に

表 1 有限要素法による伝熱解析で用いた物性値

	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比熱 (J/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)
A5083	2660	900	117
アルミナ	3900	900	27
ビスマステルル	7770	154	1.5
銅	8960	385	400

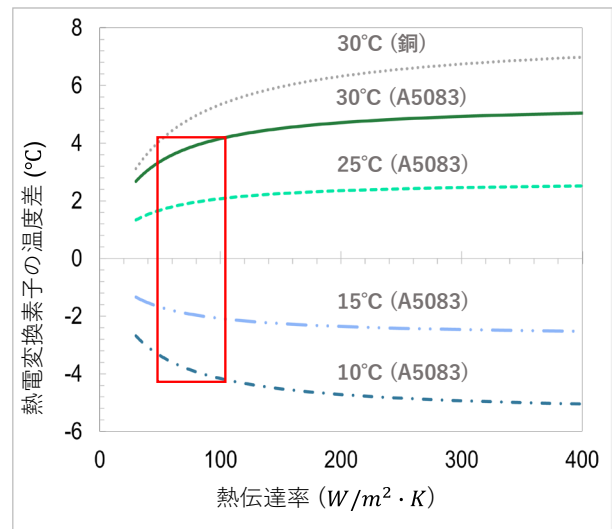


有限要素への分割 (左) と温度分布の一例 (右)。赤は低温, 白は高温を表す。

図 5 有限要素法による伝熱解析

分割して計算を行った (図 5)。また, 計算はソフトウェア COMSOL Multiphysics<sup>®</sup>により行い, 物性値として表 1 に示した値を利用した。

- (1) フーリエの法則とニュートンの冷却法則に基づいて解析を行う。
- (2) A5083 を実物に基づいて, 直方体 1 cm×4 cm×40 cm とする。
- (3) 熱電変換素子について, アルミナ 4 cm×4 cm×0.1 cm の直方体 2 つで, ビスマステルル 1.6 cm×1.6 cm×0.18 cm の直方体を挟んでいるとみなす。ΔT<sub>th</sub> はビスマステルルの両端の温度差とした。
- (4) アルミ棒の下端を土の温度で固定し, 棒の側面および熱電変換素子の側面を断熱とする (境界条件)。
- (5) 熱電変換素子の一面で空気との間で熱伝達が行われていると仮定する。熱伝達率はアルミナの断面積 1 m<sup>2</sup> あたりの熱の移動量から計算される値とし, フィンの効果などの補正を可能とした。
- (6) アルミ・熱電変換素子間やアルミナ・ビスマステルル間などの接触熱抵抗, 界面抵抗, 放射熱はいずれも考慮しない。
- (7) 温度分布はいずれも熱平衡状態を仮定する。



地中温度は 20 °C で固定し, 異なる気温と伝導体における結果を示した。囲いは現状の構造での目安値を表す。

図 6 熱伝達率と熱電変換素子の温度差の関係

現状の発電デバイスの場合, フィンが熱伝達率に影響を与えている。用いたフィンがアルミニウム製のもので, 4 cm×4 cm×0.3 cm の薄い基板に 0.3 cm×0.1 cm×2.2 cm の直方体状のものが 96 個取り付けられたものである。構造からフィンの表面積は約 220 cm<sup>2</sup> でアルミナの断面積の約 14 倍であるが, フィンの密な形状から, 熱の移動量が表面積による効果に比べて減少すると考えられる。その減少率を 25% と仮定し, 空気の熱伝達率の値として 5~10 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup> を利用すると, 現状の発電デバイスでは熱伝達率が約 50~100 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup> になるとみなせる。

このとき, 図 6 から, 現状の発電デバイスの場合, 土と空気の温度差の約 34~42% (T<sub>air</sub>=30°C のとき, ΔT<sub>th</sub>=3.4~4.2°C) が熱電変換素子の温度差としてつくことが分かる。また, A5083 の代わりに銅を熱伝導体として用いた場合, 土と空気の温度差のうち熱電変換素子の温度差としてついた割合は約 41~54% (T<sub>air</sub>=30°C のとき, ΔT<sub>th</sub>=4.1~5.4°C) となり, 熱伝導体の熱抵抗を小さくすることで, 一定の発電効率向上が見込まれることが分かる。

その他にも, フィンの表面積を大きくすることで熱電変換素子と空気間の熱移動を増やす, フィンを黒くすることで放射率を上げるなどによっても, 熱伝達率は大きくなるとみなせると考えられる。この場合でも, 図 6 から発電効率向上が見込まれると分かる。

#### 4. 結 論

本研究では、地中と空気の温度差を熱電変換によって電力へと変換する、土壌センサー用の発電デバイスの性能評価を実験と理論解析を用いて行った。実証実験では、測定期間内に平均 36 mV の電圧が記録され、本発電システムを利用して土壌センサを稼働する目処が得られた。また降雨が起電圧に影響を与えていた可能性があることを示した。理論解析からのアプローチでは、有限要素法を用いて作製した発電デバイスの伝熱解析を行い、土と空気の温度差の約 34~42% が熱電変換素子の温度差としてつくという結果を示した。また、その結果をもとに発電効率向上に向けた具体策を示した。

#### 謝 辞

本研究は、JST グローバルサイエンスキャンパスの一環として、東京大学グローバルサイエンスキャンパスで行われたものである。研究の実施にあたって、日頃より多くのご指導をいただいた、東京大学工学系研究科熱エネルギー

工学研究室の、塩見淳一郎先生、大西正人先生、鬼頭壮平様に心より感謝申し上げます。

#### 文 献

- (1) 三輪泰史：図解よくわかる スマート農業 デジタル化が実現する儲かる農業，日刊工業新聞社 (2020)
- (2) S. Zeadally, F. K. Shaikh, A. Talpur, and Q. Z. Sheng : "Design architectures for energy harvesting in the Internet of Things", *Renewable & Sustainable Energy Rev.*, Vol.128, 109901 (2020-8)
- (3) N. Ikeda, R. Shigeta, J. Shiomi, and Y. Kawahara : "Soil-Monitoring Sensor Powered by Temperature Difference between Air and Shallow Underground Soil", *Proc. of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol.4, Issue 1 (2020-3)
- (4) 寺崎一郎：熱電材料の物質科学，内田老鶴圃 (2017)
- (5) G. S. Campbell : *Soil Physics With Basic*, Elsevier Science (1985)
- (6) 気象庁 | アメダス <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2022年10月16日閲覧)
- (7) D・W・ベッカー，A・J・ベッカー共著 (横山正明訳)：有限要素法 1・2・3，開発社 (1966)
- (8) 庄司正弘：伝熱工学，東京大学出版会 (1995)

# ドローン搭載の無線ネットワークによる遭難者搜索

東京都立多摩科学技術高等学校

松原健太郎, 山田 爽太, 横山 瑞季

## Research on Rescue of Disaster Victims by Drones using Wireless Network

Kentaro Matsubara, Souta Yamada, Mizuki Yokoyama

山岳地帯などの遠隔地において、ドローンに無線 LAN のアクセスポイントを設け、遭難者の携帯電話と通信し、それをもとに搜索するシステムの構築。本研究では自律飛行型ドローンに小型コンピュータを搭載し、遭難者のスマートフォン等通信機器と無線 LAN による通信を行うことによって搜索する。

In remote areas such as mountainous regions, we are building a search system that uses a drone equipped with a wireless LAN access point to communicate with the cell phone of a person in distress. In this research, a small computer is mounted on an autonomous drone, which communicates with the distressed person's smartphone or other communication device via wireless LAN to search for the person.

キーワード：ドローン, 無線 LAN

Keywords : drone, wireless LAN

### 1. はじめに

近年、登山ブームにより登山者数が増加している。昨今のコロナ禍によって一時的に減少したものの、緊急事態宣言の解除や政府・地方自治体による Go To トラベル事業、屋外での“密”にならないアクティビティに対する需要の高まりを背景として令和三年度にはコロナ禍前の水準にまで回復している。文献(1)では、登山ブームの要因の一つとして旅行会社による「登山ツアー」を取り入れたことが上がっている。これによって登山のハードルが下がり、初めて登山をするというビギナー登山者が増加した。しかし、登山者の増加に伴って遭難者の人数も年々増加している(図1)。文献(2)の統計情報から、山岳遭難の原因において「道迷い」「滑落」「転倒」が過半数を占めており(図2)、多くの場合遭難者が現在地を確認できない、もしくは負傷しており自力下山ができない状態にある。

従来の遭難者搜索の方法としてまず、搜索範囲を人が徒歩により移動し目視により搜索することがあげられる。しかし搜索活動が想定される山岳の急峻な地形において広い範囲を徒歩で移動・搜索するのは時間がかかり遭難者の生存率に関わるという問題がある。またドローンやヘリコプター搭載の光学式カメラにより上空から搜索する手法がある。しかしこれも樹木などで視程が遮られると遭難者を見できず、国土の半分以上を森林が占める。日本において

は大きな問題となっている。これらの問題を解決できれば山岳遭難者の救助率の向上に繋がるであろう。

携帯電話等に広く搭載されている無線 LAN は透過性があり樹木などを通すことができる。そこで、本研究ではドローンに無線 LAN のアクセスポイントを設けて遭難者の携帯電話と通信することにより、この問題を解決する方法を考えた。

具体的には、ドローンに小型のコンピュータを載せて山岳上を飛行させる。そして飛行中に遭難者の携帯電話との無線 LAN 通信を試み、接続が確認できた場所を大まかな

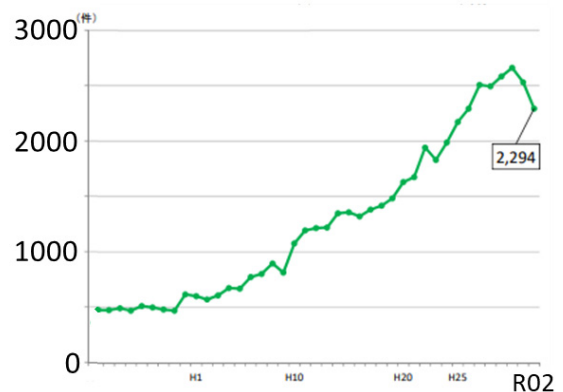


図1 山岳遭難発生件数の推移

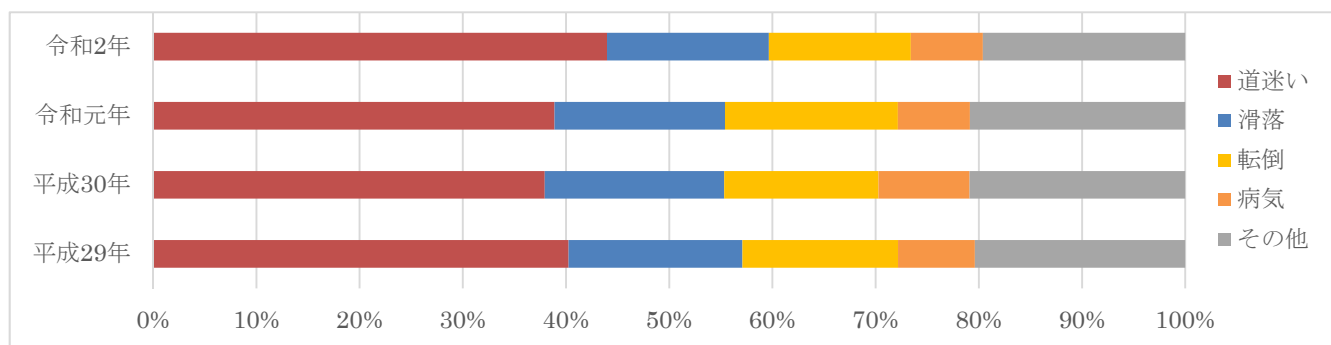
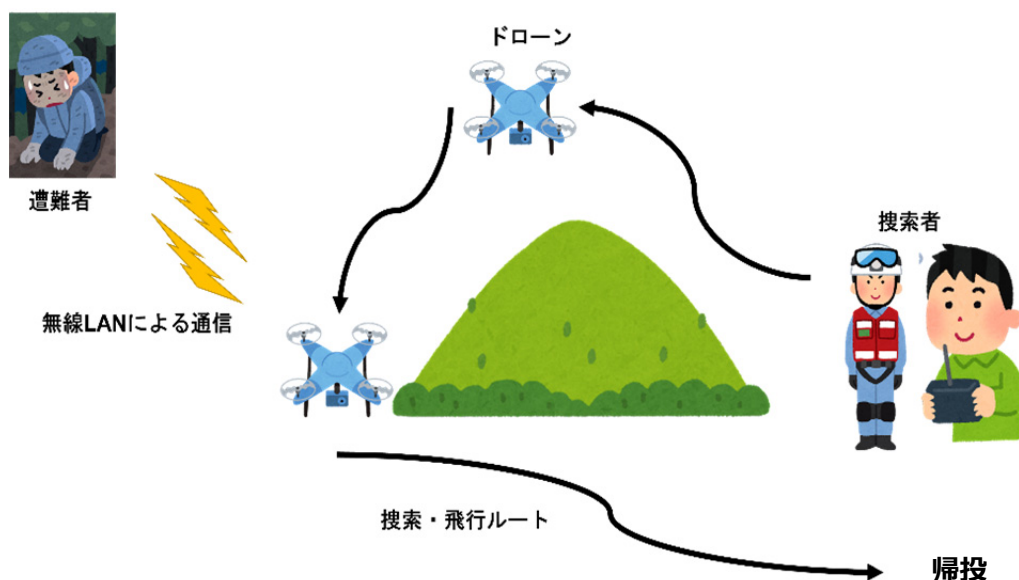
図2 様態別山岳遭難者<sup>(2)</sup>

図3 捜索の流れ

位置情報として記録する。これにより視覚を使わずに位置を定めることができると考える。

## 2. 関連研究

山岳地帯にて遭難者を発見・救助するための既存の研究・捜索方法では、大きく分けて2つの手法がある。その2つについて説明する。

### 〈2・1〉 ドローンにカメラを搭載した視覚による捜索

手動または自動操縦のドローンを用いて光学カメラ・赤外線カメラを搭載し、撮影した映像を目視で探し出すという手法である。光学カメラでは、遭難者が救難信号を出しているときに有効である。赤外線カメラでは、体温による周辺の温度差から生物を見つけるのに適しているため、昼夜問わず捜索が可能である<sup>(3)</sup>。しかし、それぞれの手法では視覚を用いて探さなければならない。加えて、映像の色の変化を注意深く確認しないとならないため時間がかかってしまう。本研究では、無線LANの電波を用いて捜索するので、迅速な救助が可能である。また遭難時の対処を知らない登山者や、行動不能に陥った遭難者も対象にしている。

〈2・2〉 ドローンを携帯電話基地局の中継器として携帯電話をインターネットに繋ぎ、位置情報を送信し救助要請

この手法ではドローンにモバイルデータ基地局の中継機を載せ、普段では電波の届かない場所に中継するように設計されたものである。複雑な仕組みを必要とせず、遭難者の位置を特定するのが容易となる<sup>(4)</sup>。またドローンの操縦も定位置で十分なため無人の状態でも使用できる。ただしこの手法は、移動通信事業者がもつ電波を利用するために、研究が企業中心となって進んでしまう。さらに、広い山岳地帯では複数のドローンが必要となるため、コストがかかる。本研究ではシステムの構築だけではなく、ドローンの機種に依存してしまいが、広い山岳地帯においても1台のみで運用可能である。そのため、この欠点を補完できると考える。

## 3. 研究内容

〈3・1〉 目的 以下の2つを目的とする。

(1) 遭難者-ドローン間で無線LANによる通信を用いて、山岳地帯などの遠隔地において遭難者の捜索を行うシステムを開発し、視覚に頼らずに発見できる遭難者の捜索方法を確立する。

(2) これまでの捜索用ドローンにおいてはドローン本体と光学式カメラ等の捜索用機器が一体となったものが多



い。これらは操縦と遭難者の視覚による捜索が同時に行える等の利点がある反面、ドローン本体のハードウェア構成によって捜索能力が制限されてしまう。また、常にドローンを捜索者の制御下に置かなければならない。そのため捜索可能な範囲が捜索者とドローンが通信可能な範囲に絞られる。

この欠点を解決するために、本システムでは捜索用機器をパッケージ化しドローンに搭載することにより、ドローンの操縦と捜索の作業を分別する。これにより様々なドローンが使用可能となり、航続距離が長いドローンを用いればより広い範囲で捜索できる。また捜索に人間が関与しないのでドローンを予め設定した飛行ルートで自律飛行させる。

**〈3・2〉 システム設計方針** 本システムでは捜索用機器をパッケージ化しドローンに搭載することにより、ドローンの操縦と捜索の作業を分別する。これにより様々なドローンが使用可能となり、航続距離が長いドローンを用いればより広い範囲で捜索できる。また捜索に人間が関与しないのでドローンを予め設定した飛行ルートで自律飛行させる。

自律飛行型のドローンに遭難者との無線 LAN の通信を行う本システムを搭載する。事前に捜索者が設定した捜索ルート上空を飛行することにより指定範囲を捜索する。無線 LAN 設定をオンにした携帯電話の上空を通過し、ドローン搭載機器側で接続が確認されたら搭載した GNSS 受信機により位置情報を取得、ログファイルに記録する。捜索者の元にドローンが帰投したのちログファイルを受け取り記録された位置情報から遭難者の位置を特定する。

#### 4. プロトタイプ

システム設計のプロトタイプとして、ハードウェア・ソフトウェアの構成を以下に示す。

**〈4・1〉 ハードウェア構成** 本装置は主に小型コンピュータ、無線 LAN モジュール、GNSS 受信機、バッテリー、ドローンから構成される（図 4）。

**〈4・1・1〉 小型コンピュータ（図 5）** 無線 LAN による通信の制御やログデータの記録などすべての処理を担う。本研究では Raspberry Pi 財団が製造しているシングルボードコンピュータ、Raspberry Pi を使用する。これはドローンに搭載するためには軽量であることが望ましいためである。また、Raspberry Pi には無線 LAN モジュールが内蔵されているため、他の無線 LAN モジュールなどを接続しなくてもよい。

**〈4・1・2〉 GNSS 受信機（図 6）** 全地球航法衛星システムより緯度・経度・高度・時刻などの各種情報をシリアル信号で出力する。今回使用したものは受信モジュール GYSFFMANC である。本機は日本の準天頂衛星システム (QZSS) 「みちびき」にも対応しており高精度で測位が可能となっている。Raspberry Pi には GPIO ピンによって接続される。



図 4 装置一式

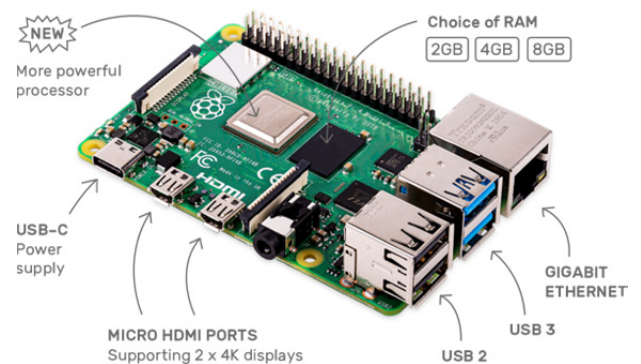


図 5 Raspberry Pi 4



図 6 GNSS 受信機

**〈4・1・3〉 モバイルバッテリー（図 7）** 装置の電源として使用した。Raspberry Pi は 5V-3A の給電性能を推奨しているため、これに対応したモバイルバッテリーが必要となる。しかし本研究では画面出力を必要とせず、推奨電圧以下でも問題なく機能する。そのため今回は、一般的なモバイルバッテリーの出力 5V-2.4A の給電性能をもつモバイルバッテリーを使用している。

**〈4・1・4〉 ドローン** ドローンについては、装置一式を十分に搭載できるペイロードをもつドローンが必要とな



図7 モバイルバッテリー

る。また、自律飛行によって山岳を飛行するため、ある程度の航続距離も必要となる。本研究では、DJI 社製のドローン「Phantom 4」を利用することを想定している。公式サイトより、運用限界高度が海拔 6000m かつ最大飛行時間が約 28 分であるから、捜索には十分な性能を持つ<sup>(5)</sup>。他のドローンでも装置一式を搭載できる機体で捜索可能である。

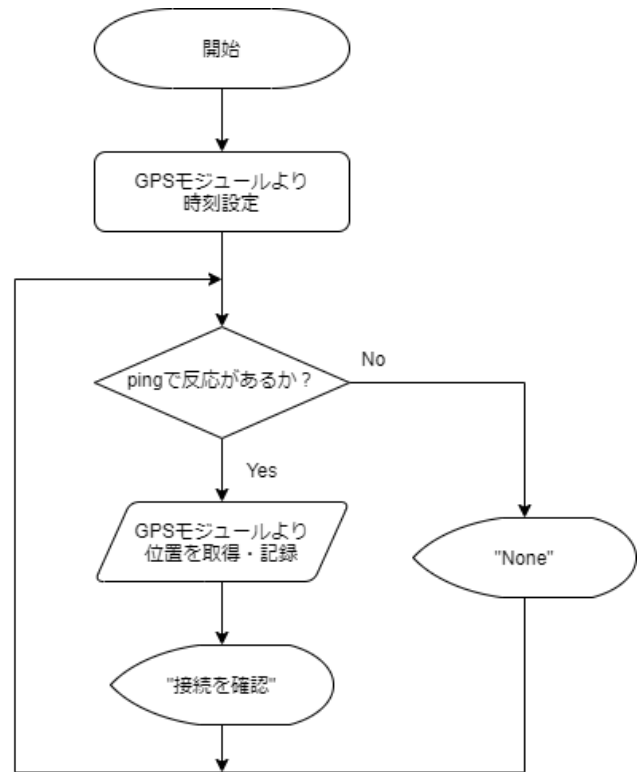
〈4・2〉 ソフトウェア構成 ソフトウェア処理はすべて Raspberry Pi 内で行う。OS は Raspberry Pi OS を使用する。Raspberry Pi OS は Linux 系 OS であり、機器の操作については主に Bash コマンドを使用する。

〈4・2・1〉 アクセスポイント化 Raspberry Pi を Hostapd によりアクセスポイント化する。また DHCP 構成を変更し、遭難者と接続する IP アドレスの範囲を設定する。Hostapd は Linux ソフトウェアであり、無線 LAN をワイヤレスアクセスポイントとして設定する時に用いる。DHCP はコンピュータがネットワークに接続する際に、自動的に IP アドレスを割り振るプロトコルである。本プロトタイプでは便宜上、IP アドレスを 192.168.3.151～192.168.3.154 の間に絞った。

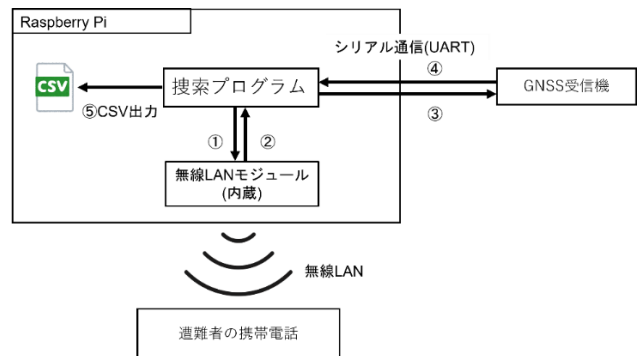
〈4・2・2〉 位置情報取得 GNSS 受信機によって取得したシリアル信号は、Python によるプログラムを用いて可読化する。本研究で用いたプログラムでは、時刻・緯度・経度・海拔の 4 つに表示するものである。

〈4・2・3〉 遭難者機器との通信 遭難者の携帯電話との通信には、Bash コマンドを用いた検索プログラムによって確認した（図 8）。検索プログラムにおいて遭難者との無線 LAN 接続には ping コマンドを使用した。ping コマンドでは、指定した IP アドレスに接続できるかを確認できる。これを利用して、上記 IP アドレス間に順番に ping コマンドを送信する。接続が確認できた際には、遭難者を確認できたとして位置情報を記録する。

〈4・3〉 実際の動作（図 8） 捜索を開始する際は、あらかじめ装置一式を電源につなぎ起動させておく。その後、操作用 PC を用意して SSH により Raspberry Pi と接続する。Raspberry Pi は起動時すぐにアクセスポイントとして機能するように設定されているため、操作用 PC は直接 Raspberry Pi へ接続される。その後、シェルスクリプトとして Raspberry Pi 内に保存されている検索プログラムを遠隔起動させる。また操作用 PC の接続が遭難者と誤認しないよう、操作用 PC



(a) 捜索プログラムの流れ図



(b) 内部処理

図 8

は上記アドレス範囲外の IP アドレス（今回は 192.168.3.155）を使用する。

- ① 検索プログラムによって定期的に ping を送信
- ② ping にレスポンスがあると接続を確認
- ③ GNSS 受信機より位置情報を取得
- ④ 取得した位置情報を CSV 形式で出力
- ⑤ CSV ファイルを内部ストレージに保存

なお、操作用 PC と Raspberry Pi の無線 LAN 接続が切断されても動作するが、接続されている範囲であれば遭難者の携帯電話からの ping レスポンスと、その地点の位置情報をコマンドプロンプト上で確認することができる。

## 5. 評価実験

上記のシステムが実用可能かを調べるため、以下の検証実験を行った。

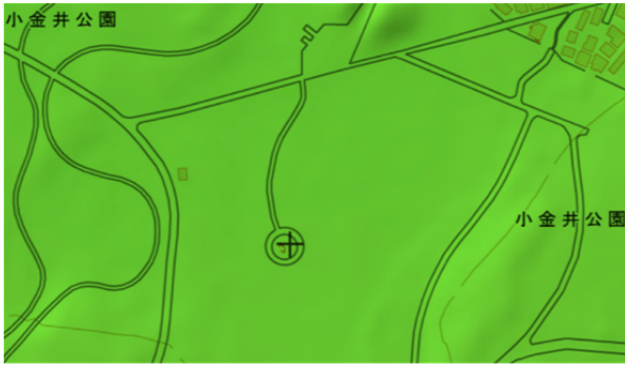


図 9 実験地の地形図及び色別標高図

(1) 装置をドローンに搭載し捜索ルートを飛行。ただし、現段階でドローンが用意できていないことに加え、法令上飛行させることが難しいため、今回は歩行による再現で行った。

(2) 遭難者役が携帯電話を起動し無線 LAN のアクセスポイントに接続できるようにする。

(3) 位置情報のログを確認し遭難者役の位置と比較する。また、記録されたログを地図表示する。

基礎実験として行うため、今回は木などの障害物のない広場で実験を行った。実験場所は東京都小金井市にある小金井公園で、図 9 より地形が平坦であること、標高に差異がないことが確認できる。

## 6. 結果、考察

〈6・1〉 結果 遭難者役の携帯電話と無線 LAN の接続が取れ、位置情報の取得時刻と緯度・経度を CSV ファイルとして記録することができた (図 10)。また、取得した位置情報を操作用 PC に取り込み、地図 (Google My Map) にプロットした (図 11)。

遭難者役の本来の位置と記録された座標を比較したところ、最も差がある距離は 63m であり、各座標の平均をとった推測地点は 7m だった (図 11)。各座標の平均値は、緯度経度それぞれの和をデータの個数で割ったものである。

〈6・2〉 考察 結果より、本装置の無線 LAN 接続最大距離は 63m 程度であり、各座標の重心をることにより誤差 7m の精度で遭難者の位置を推定できることが分かる (図 11)。また、ドローンと遭難者との高度の差による誤差は、地表面からの高度と直接距離から三平方の定理を用いて補正可能であると考えられる。

```
GNU nano 4.8
11:52:36.0,35.71625167,139.51682000,76.800000
11:52:37.0,35.71625167,139.51682000,76.800000
11:52:44.0,35.71625167,139.51682000,76.900000
11:52:45.0,35.71625167,139.51682000,76.900000
11:52:46.0,35.71625167,139.51682000,76.900000
11:52:55.0,35.71625167,139.51682000,76.900000
11:52:56.0,35.71625167,139.51682000,76.900000
```

図 10 CSV ファイルデータ [時刻, 緯度, 経度, 海拔]

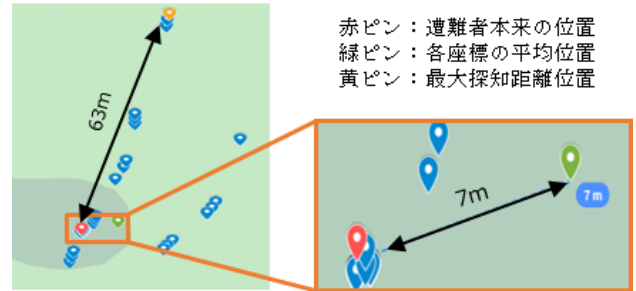


図 11 結果地図 (一部拡大)

## 7. まとめ

検証により、本システムが遭難者・ドローン間の無線 LAN による通信を用い、十分な精度の範囲で遭難者の捜索を行うことは可能である。これから光学カメラを用いずとも無線 LAN による通信を用いて、遭難者の捜索を行うシステムの構築という目的は達成できたと結論づけられる。今後の展望として複数ドローンを用いた位置推定精度の向上や、遭難者との通信・捜索方法の改良が挙げられる。

## 文 献

- (1) 山形俊之：「平成登山ブームに関する一考察」, 湘北紀行, No.34, pp.189-204 (2013)
- (2) 警察庁生活安全局生活安全企画課：令和 3 年における山岳遭難の概況, 警察庁, 警察庁 (オンライン), [https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/r03sangakusounan\\_gaikyou.pdf](https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/r03sangakusounan_gaikyou.pdf) (参照 2022 年 8 月 1 日)
- (3) 日本山岳救助機構合同会社：登山・山岳遭難対策制度 JJRO (ジロー), 日本山岳救助機構合同会社 (オンライン), <https://www.sangakujro.com/> (参照 2022 年 8 月 1 日)
- (4) ソフトバンクニュース：【解説】ドローン活用で、雪山の遭難者をいち早く見つける「遭難者位置特定システム」, ソフトバンクニュース (オンライン), [https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20200107\\_01](https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20200107_01) (参照 2022 年 8 月 1 日)
- (5) DJI : DJI Phantom4 製品ページ, DJI (オンライン) <https://www.dji.com/jp/phantom-4> (参照 2022 年 8 月 1 日)
- (6) Raspberry Pi Foundation: Raspberry Pi Documentation, Raspberry Pi (online), <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html> (accessed 2022-8-1)

# マグナス効果を用いた新型風力発電機の考案

— 人と自然にやさしいエネルギー自立社会をめざして —

兵庫県立洲本実業高等学校 電気科

影山 奎斗, 辻岡 凌玖, 畑崎 海翔

## 1. はじめに

新型コロナウイルス猛威による経済活動後退に加え、ウクライナ危機による石油などのエネルギー資源等の高騰などで人々の暮らしに深刻な影響を与えている。風力などの再エネは、政治的かつ経済的リスクに左右されず、コストも安いという特長、すなわち公益に資する有力な技術である。課題であった再エネによる余剰電力を貯蔵する新たな蓄熱技術も開発されている。

本校電気科では、これまで風力発電機の高性能化のために、原動機と発電機の統合化が総合効率を高めるという実験結果を報告した<sup>(1)</sup>。また、プロペラ風車の諸課題を解決するために、新たにマグニウス風力発電機を開発し、総合的なエネルギー回収率の向上をはかるという風車開発のあり方を提案した<sup>(2)</sup>。さらに、幅広い風速域にわたり有効利用できる縦軸風車構造を新たに開発してきた<sup>(3)(4)</sup>。プロペラ風車は日に日に大型化し、世界最大となる7MW級の洋上風車が福島県沖に設置されている。一方、風力発電機はソーラ発電と比較しても、エネルギー変換効率が高くメンテナンスもしやすい特長があるものの、カットイン風速が高いうえ、静粛性に欠けるという技術的課題が解消できずにいる。

そこで、このような課題を解決するために、微風でもスムーズに回転し、いかなる風環境においても静かに回転し発電する小型風力発電機の開発を行った。

本研究では、エネルギー自立社会の実現をめざして、我が国のエネルギー事情についてまとめた上で再エネの有望性を指摘し、横軸型風力発電機の性能改善をとおして、マグナス効果を用いた新型風力発電機開発について報告する。

## 2. 新型風力発電機開発

**(2-1) 我が国のエネルギー事情** 財務省貿易統計(2022年速報値)によると、我が国の原油の輸入価格は、令和4年7月期99,666円/kLで、令和3年7月期49,902円/kLと比べると、199.7%と2倍になっている。令和4年3月以降ウクライナ危機の影響で原油価格が高騰してきていることがわかる。財務省貿易統計8月期速報値によると、輸出額8兆619億円、輸入額10兆8,792億円、差引額2兆8,173億円と貿易収支が大幅に悪化してきている。これは、鉱物性燃料の再騰によるものである。我が国の原油海外依存度

(2020年)は、約99.7%と高くその輸入先は、約90%が中東であり、内訳はサウジアラビアが40.1%でトップ、順にアラブ首長国連邦31.5%、クエート9.0%、カタール8.3%、露国4.1%となっている。同様にLNGでは、オーストラリア31.9%と高く、順にマレーシア14.2%、カタール11.7%、露国8.2%、ブルネイ4.2%となっている。今日、中東だけではなく国際情勢には政治的リスクが常態化し、原油価格が安定しづらいことは周知のとおりである。

電気料金の国際比較(資源エネルギー庁2021年)によれば、産業用電気料金(米セント/kWh比較)は、イタリア(1位)、日本(2位)、英国(3位)で、日本は米国の2倍以上の料金となり世界で2番目の高さとなっている。また、家庭用電気料金についても、独国よりも安いものの、米国、韓国、カナダ、フランス、英国などと比べて高く米国の約2倍となっている。

世界のCO<sub>2</sub>排出量比較では、中国28.4%が最も多く、順に米国14.7%、EU28カ国9.4%、インド6.9%、露国4.7%、日本3.2%と続いており、注目すべきは先進国より途上国の排出総量が多くなっている点である。

米国は、風力発電のコスト低下に伴い、2030年までに洋上風力発電量をEU60GW、日本10GWに対し、30GWまで拡大すると発表している(2022年9月)。

以上、再エネのひとつである風力発電技術は、環境面も含め、経済合理性の観点からも、ますます有望な技術として位置づけられている。

**(2-2) 新型風力発電機開発** 従来型のプロペラ風車の問題点を改善することを目的として、マグナス効果を用いた新たな風車らを提案する。

図1に、本校が開発したスパイラルマグニウス風力発電機を示す。直径φ650[mm]、全高750[mm]、使用材料は、透明アクリル樹脂や白色MBS樹脂を用い軽量化を図り、発電機にはステッピングモータを採用した。マグニウス(Magnius)とは、サボニウス(Savonius)とマグナス(Magnus)との融合を意味する名称である。さらに、起動性を高めるためにサボニウス翼をスパイラル状にねじることで起動性を向上させている。

3Dプリンターの導入により、このような異形状の翼体成形も容易になったことで、さまざまな実験検証が可能となっている。ものづくりを通じた体験学習は、コストと時間



図1 スパイラルマグニウス風車（洲実開発品）



図2 新型マグリウス風力発電機（新開発）

の関係で敬遠されがちではあったが、これらの設備導入により課題研究がますます効果的に推進されよう。

図2に、本校が新しく開発したマグリウス風力発電機を示す。同じく、直径φ650[mm]、全高750[mm]、使用材料は、前述と同様のアクリル樹脂やMBS樹脂を用い、発電機には同仕様のステッピングモータを採用した。マグリウス(Magrieus)とは、ダリウス(Darrieus)とマグナス(Magnus)との融合を意味する名称である。これにより、回転トルクが向上し、トルク係数  $C_t$  と共にパワー係数  $C_p$  も向上できた。翼は、3DプリンターによりNACA0015翼を採用し、表面は加工痕を少し残すような仕上げとしている。また、翼の先端にいくほど回転半径が小さくなるように設計したことで、なめらかな回転となり、トルクが向上する結果となった。

この新型風力発電機の開発については、課題研究(3単位)を活用して実施した。「エネルギー諸問題」、「風力発電技術」、「新型風車開発」の3つで構成し取り組んだ研究概要について述べる。

「エネルギー諸問題」では、我が国の厳しいエネルギー事情や切実な地球環境問題について調査した。次に、エネルギー

表1 風車原動機の改善案

項目	課題	対策
①	・効率向上化構造 ・回転速度向上化	揚力型採用 ディフューザ採用
②	・テーパ翼 ・パラレル翼	角度最適化
③	・翼表面に渦流発生	翼表面のあらさ



図3 ディフューザ付マグリウス風車

ギー自立社会の実現のために、「風力発電技術」について調査・研究を行った。高校近辺の風速測定や、レイリー分布の結果を踏まえ、市街地でよく見られる風車に関する技術的課題を調査した結果、微風においても起動しやすく、強風時においても止まることが少ない、すなわち如何なる風環境においても発電可能な風車こそが理想であることがわかった。一般に、風車は抗力型と揚力型に大別できるが、今回は、スパイラルマグニウス風車の改善に加え、新型マグリウス風車に注目して開発を行った。風力発電機に関する知識を深めるために、空気力学の専門書や学会論文、特許・実用新案の調査をもとに、新規性の確認も行った。

### 〈2・3〉 新型風力発電機の性能改善

(1) 原動機サイドの性能改善 風車性能向上のために、マグナス効果を有効に活用する方法について、様々な意見を出し合いながら検討した。クッタ・ジューコフスキーの定理(Kutta-Joukowski Lift Theorem)による理想流体における回転体の揚力は、風速だけではなく、回転数、回転翼形状、空気密度などの影響を受けることが示される。①回転数を高めるための機構開発、②回転翼形状について、③回転翼表面性状などが改良ポイントとして指摘された。そこで、風車原動機的设计と加工方法に注目して、表1に示すような改善案を検討した。

図3に、今回開発したマグリウス風車の回転翼を示す。120度毎に3枚のNACA0015翼を備え、さらに、翼をテーパ状に固定する構造とした。この工夫により、回転数が向上し、特に2[m/sec]前後の微風域においても問題なく起動した。さらに、このマグリウス風車にディフューザを設置した。図の丸い金属製の輪が、吸入部よりも排出部を拡大させたディフューザである。これにより、流入空気が約32%

程度増速されたことで、風車出力が増加し、エネルギー変換効率を向上させることができた (図4にその結果を示す)。また、強風域の場合でも、安定した回転が得られ、風切り音や機械的な異音の発生はみられず、静粛性の高い風車機構となった。

以上、騒音が少なく、起動性が良好でエネルギー変換効率も向上できるディフューザを備えた風車構造が開発できた。

図4に、本開発風車と従来品との特性比較を示す。縦軸はパワー係数  $C_p$ 、横軸は周速比  $TSR$  で表し、(1)、(2)式より求めた。

$$C_p = T\omega / (\rho A V_m^3 / 2) \dots\dots\dots (1)$$

$$TSR = r\omega / V_m = 2\pi N r / (60 V_m) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $T$ はトルク [N・m]、 $\omega$ は角速度 [rad/sec]、 $\rho$ は標準状態の空気密度、 $A$ は受風面積 [m<sup>2</sup>]、 $V_m$ は平均風速 [m/sec]、 $r$ はロータ半径 [m]、 $N$ は回転数 [rpm]を示す。その結果、茶色で示される本開発マグナス風車は、パワー係数  $C_p$  0.21と従来品と比較して31%の向上し、さらに周速比が大きくなった。揚力型風車の傾向がみられる新型風車となっている。

以上、ディフューザを設置することで、カットイン風速も低くでき、エネルギー変換率が向上し、さらに、設備利用率が高まることで発電総量も多くなった。さらに、従来風車よりも静粛な風車が開発できた。

(2) 発電機サイドの性能改善 発電機には、MATYUSHITA 製 FMD00810BA ステッピングモータを採用した。定格は 12[V]、80[mA]、コイルの抵抗は 1相あたり 145[Ω]である。モータからは4本の線が出ており、2相駆動式である。内部構造は、回転子(ロータ)と固定子(ステータ)からなる。回転子には、主軸に固定されたN極とS極の永久磁石の周りにそれぞれ50個の小歯がついたケースがかぶさり、1/2ピッチ機械的にずれた状態で構成されている。結果、軸方向からは、100個の小歯が見えることから、1ピッチの角度が  $2\pi/100$ [rad]となっている。固定子には、8個のコイルと小歯のついた鉄心があり、A相とB相の2相で構成されている。これは、磁石に鉄心をかぶせるハイブリッド型ステッピングモータである。

図5に、発電機として使用したときの位相差  $\pi/2$ [rad]の2相正弦波交流出力波形を示す。

次に、ステッピングモータによる2相出力を1つの母線出力に効率よくまとめるための方法を検討した。並行運転時の同期化に関する課題と捉え、コンデンサーを用いた位相を調整させる同期化実験を行った。

図6に、オシロスコープによる同期化対策についての測定結果を示す。(a)図は、同期後のA相とB相および母線電圧の波形を示す。無負荷状態での位相差と母線電圧波形を確認した。位相差がなくなることで、母線電圧はひずみの少ない波形が得られ、同期前後の母線電圧を比較したとき、

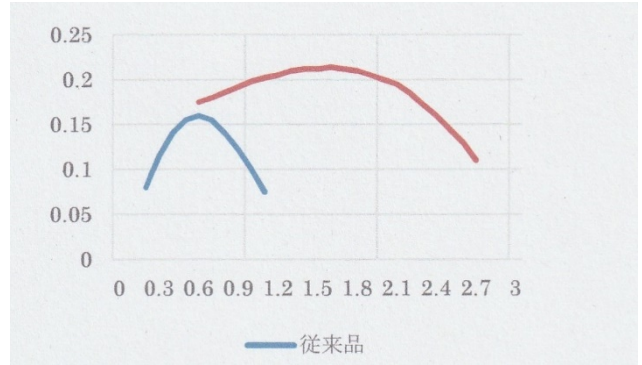


図4 本開発風車の特性比較

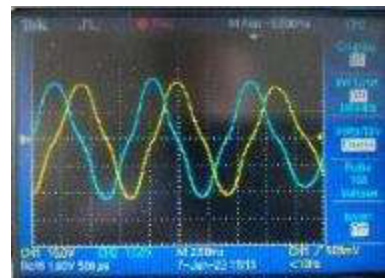


図5 出力波形 (ステッピングモータ)



(a) 同期後のA相とB相および母線電圧の波形



(b) 同期前のA相とB相および母線電圧の波形

図6 同期化対策についての測定実験

11% (5[Ω] 重負荷時)と向上がみられた。(b)図は、同期前のA相とB相および母線電圧の波形である。母線電圧においてはひずみの著しい波形が得られた。

以上、風車原動機の出力向上と共に発電機の出力向上も図ることができ、負荷特性実験から風力発電機として約61%もの性能向上ができた。

### 3. まとめ

従来開発品と比較した結果、広い風速域にわたりスムーズな回転が可能となり、エネルギー変換効率や設備利用率が向上した。すなわち、人と自然にやさしいエネルギー自立社会をめざす新たな風車が開発できた。

## 文 献

---

- (1) 植野裕介：「小型プロペラ型風力発電装置の開発」，平成 25 年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2013)
- (2) 岩脇陸斗・除補博之・除補順之・神代瑛介・皿袋雅大・吉田勇樹：「人と環境にやさしいマグネウス風力発電機の開発」，平成 27 年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2015)
- (3) 田村銀河・登森慎悟・水田海人・宮尾実里：「人と自然の豊かな関係をきづく社会実現に向けて」，平成 28 年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2016)
- (4) 長尾伸洋：「工業高校における風車を用いた機電融合学習の提案」，日本産業技術教育学誌，Vol.52, No.1, pp.33-38 (2010)
-

## 研究グループ紹介

# 大阪大学産業科学研究所 産業科学 AI センター トランスレーショナルデータビリティ研究分野（櫻井研究室）

田邊 昭博（大阪大学産業科学研究所）

### 1. はじめに

自動車分野のコネクティッドカー・サービス、製造業におけるデジタルツイン、デバイスや材料開発におけるマテリアルズインフォマティクスなど、産業や社会は大きく変化している。AI やビッグデータ解析は、この第4次産業革命を支える要素技術であり、ビッグデータを解析し、迅速かつ自動的な対処を可能とするAIソフトウェアが求められている。

トランスレーショナルデータビリティ研究分野では、櫻井保志教授、松原靖子准教授のもと計32名が所属しており（2022年11月時点）、リアルタイムAIを要素技術とし、将来のイベント予測や、行動最適化のための動的要因分析のための研究を行っている。また、産業貢献のための技術移転として、スマート工場における製造過程の高度化や運転支援、自動運転のための車両走行データ解析、発作などの突発性異常を予測する医療情報解析に取り組んでいる。

### 2. 研究紹介

近年、製造業においては製造工場のスマート化が推し進められている。大量のセンサを使用して生産ラインの稼働状況をつねに監視し、その様子を時系列データとして蓄積、分析することにより、機器の異常検知や品質管理等、あらゆる側面から生産性を向上する取り組みが行われている。これらに共通する重要な課題は、収集した大規模データからの効果的な知見（パターン抽出など）獲得と、それに基づく将来予測技術の開発である。深層学習に代表される分類/予測手法は、高精度なイベント予測結果を出力する一方、モデルパラメータからその予測結果の要因を推定することは困難である。実際に収集されたデータを活用する際、高い予測精度だけでなく、予測が得られた要因を探り、現実の社会活動に役立てるためのモデル解釈性が重要となる。そこで本稿では、特にリアルタイム要因分析技術と、大規模時系列データからのイベント予測技術について紹介する。

#### （1）リアルタイム要因分析技術：OrbitMap

自然現象や人々の社会活動、さらには様々な設備の動作状況等、様々な事象を表現するために大規模時系列イベントデータが用いられる。OrbitMapは、時系列イベントデータから時系列モデル間の前後関係（要因-結果関係）を捉え、それらの事象の連鎖を動的空間遷移ネットワークとしてモデル化する。本手法は要因分析と予測に基づいて様々な状況を引き起こす要因を検出することで、例えば、自動車走行における急ブレーキや急なハンドル操作、スマート工場における装置故障など、様々な事故やトラブルの兆候をビッグデータから高速かつ自動的に抽出するためのリアルタイム

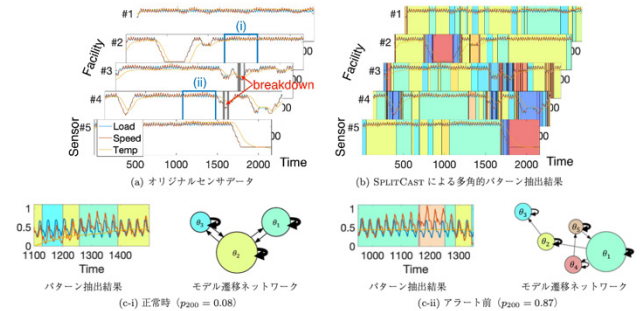


図1 スマート工場センサデータにおけるパターン検出と200ステップ先のアラート予測結果

要因分析を可能とする。

#### （2）大規模時系列データからのイベント予測技術：SplitCast

SplitCastは大規模時系列データのためのイベント予測技術であり、センサデータの潜在的な動的パターンを時系列モデルとして要約し、特徴量として抽出することで、イベントの要因分析を行いながら長期先のイベントを予測することが可能である。さらに時系列データの持つ潜在的なふるまいを確率モデルとして表現し、特徴量化することで、予測精度を向上させながら出力結果の要因分析を可能とする。図1は実際の工場設備で収集されたセンサデータからの異常アラート予測結果であり、図1(a)はオリジナルデータ、図1(b)は提案手法で得られた共通の時系列パターンを同色のセグメントで可視化したものである。図1(c-i)は正常稼働時のパターン抽出結果であり、図1(c-ii)に示される異常アラート発生前の時系列パターンは、正常時とは異なるパターンの種類と遷移を持つことが可視化されている。このように、出力結果から異常アラートの要因を分析し、工場稼働率の向上など実際の活動に役立てることが可能である。

### 3. おわりに

我々の研究室では、他にもWeb上の行動ログといった大規模オンライン活動データに対する特徴抽出や予測、エッジデバイスAIといったIoTビッグデータ解析などにも取り組んでいる。「真に実用的な技術は何か」を常に自らに問いかけながら、数理モデルやアルゴリズムに関する理論研究のみならず、様々な企業との産学連携により、革新的な技術を社会に向けて創出していきたい。研究室の詳細、研究テーマについてはウェブサイトに記載しているので、ご覧いただければ幸いである。

<https://www.dm.sanken.osaka-u.ac.jp>

(2022年11月21日受付)