

教育実践報告

再生可能エネルギー電源の主力化に向けた周辺技術に関する 学習プログラムの開発

嶋 崇志

改正 清広

(金沢市立工業高等学校) (静岡大学教育学部)

Development of a Learning Program on Peripheral technologies for the Main use of Renewable Energy Power Sources

Shima Takashi

Kaisei Kiyohiro

要旨

本研究では、気候変動や化石燃料の枯渇問題を解決する手段として注目されている再生可能エネルギー電源を主力化する際に必要となる周辺技術のひとつについて学習することができるプログラムを開発した。この教材を利用した授業実践により、単に「エネルギー問題は再生可能エネルギーでどうにかできる」という視点から、その先の「エネルギー問題を解決するためには、再生可能エネルギーが重要であるが、併せて周辺技術の発展や導入も必要である」という俯瞰的な視点を育成することを目的とした。授業実践の結果、実践の前と比較して、エネルギー問題は再生可能エネルギーの普及と併せてそれに係る周辺技術の発展や導入も必要であるという視点をもった生徒が増加することが認められた。

キーワード： エネルギー問題 再生可能エネルギー スマートグリッド IoT エネルギーハーベスティング

1. はじめに

現在、気候変動問題を背景に脱炭素化に向けた世界的潮流が起こっており、カーボンニュートラルにつながる技術開発への大規模投資や再生可能エネルギーの普及に向けた取り組みが加速している¹⁾。特に日本において再生可能エネルギーは、エネルギー自給率を改善する手段としても期待されており、2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」¹⁾を見ても重要なファクターであることが伺える。

このような持続可能な社会を目指す動きは、中学校技術・家庭科技術分野および高等学校工業教育においても重視されており、エネルギー問題や省エネルギーに対応した学習の充実が求められている^{2) 3)}。こうした背景もあり、再生可能エネルギーの学習を通してエネルギー問題を考える教材が数々提案されるようになった^{4) 6)}。それらを概観したところ、化石燃料の枯渇や気候変動問題を解決する手段として再生可能エネルギーを学習し、興味関心が高まるように構成された教材が多く見受けられた。これらは、持続可能な社会の構築に向けた視点の醸成や、最新技術に対する興味関心の喚起に貢献しており^{4) 6)}、大変意義深い取り組みである。

再生可能エネルギーは、エネルギー問題を解決するための重要なファクターになることは間違いないと思われる。しかしながら、自然を相手にした発電であるため、発電出力が安定しないという大きな課題を抱えている⁷⁾。再生可能エネルギー電源を主力化するため

の方法のひとつに、それに対応する新たな電力ネットワーク改革があり、その解が「スマートグリッド」といわれている⁸⁾。スマートグリッドとは、センサが獲得した電力データをもとに、必要なときに、必要どころへ、必要なだけ電力を伝送できる効率化された電力システムのことである⁸⁾。このスマートグリッドを構築するためには、センサが得た情報を集約する手段としてIoT(Internet of things = すべてのモノがインターネットにつながる)技術が必要になる。また、世の中の至るところに設置された無数のセンサへ電力を供給する手段として、エネルギーハーベスティング(環境発電)技術も必要になる⁹⁾。このように、再生可能エネルギー電源を主力化するためには、多くの周辺技術が進歩し、関わりあう必要がある。このため、単に「再生可能エネルギー = エネルギー問題を解決する手段」と考えるのは、浅慮であるといえよう。

このような背景から、再生可能エネルギー電源の主力化に貢献する周辺技術について系統的に学習できる教材を開発した。これにより、「再生可能エネルギーの導入に向けた課題や導入を支える周辺技術との関わりなども含め、俯瞰的にエネルギー問題を捉える態度の育成を目指すこと」を本研究のねらいとして定めた。

2. 学習プログラムの概要

2.1. 本研究の立ち位置

先行研究で開発された教材は、図1(赤破線部)で示すように、火力・原子力発電に代わる未来の主力電源

として再生可能エネルギーを学習できるよう構成されたものが多く見受けられた。今回の取り組みもそれらと大枠は同じであるが、視野をさらに広げるため、再生可能エネルギーを導入するために必要な周辺技術についても系統的に学習する。このため、先行研究と比べて研究範囲が広がる点で異なる。

再生可能エネルギー電源を主力化するための方法は、スマートグリッド以外にも、洋上風力や地熱資源、水素、蓄電池の技術革新や導入によって解決する手法等も盛んに議論されている^{10~12)}。現実的に考えればそちらが優位かもしれない。しかし、再生可能エネルギー電源を主力化するためには「それに係る周辺技術の普及・活用も必要である」という視点を育てることが本研究の目的であるため、テーマはスマートグリッドでも問題はない。今回は、授業実践校のカリキュラムなどを総合的に判断し、スマートグリッドというテーマで構成するに至った。

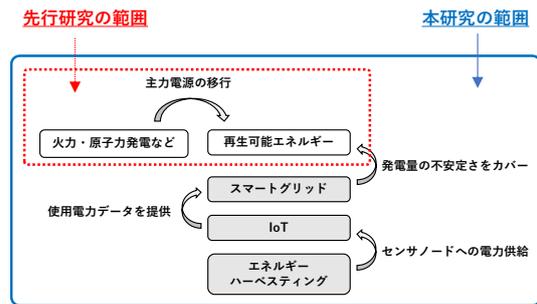


図1 本研究の位置付け

2.2. 開発した学習プログラムの流れ

学習プログラムは、系統性を重視しながら、全6部で構成される。グループワークなどを取り入れながら進めることで、合計100分(50分×2単位時間)に収まるようにした。

プログラムの流れを表1に示す。また、その中で使

表1 学習プログラムの流れ

部	内容 (○: 題名, →: 学習内容の詳細)	授業形態
1	○ 再生可能エネルギーが求められるようになった背景について →講義で取り上げられた気候変動問題, 化石燃料の枯渇, 原子力発電が抱える問題から再生可能エネルギーが主力電源として注目されるようになった背景を学習する。	講義
2	○ 再生可能エネルギーの主力化に向けた課題について →発電出力が安定しない再生可能エネルギーのメリット・デメリットを生徒同士で話し合い, 主力化を達成する上での課題を学習する。	グループワーク
3	○ 発電出力の不安定さを克服するスマートグリッドの可能性について →発電出力の不安定さを克服するために必要な電力データの監視技術や電力の分配技術について学習する。特に, 発電量に応じて消費(可能)量を調整するというスマートグリッドならではの見方・考え方を把握する。その手段として電力データや環境データが活用でき, 具体的には, 照度, 室温などを測定しておくことで, 無駄な電力消費を抑える活用例を紹介する。	講義
4	○ スマートグリッド社会の構築に向けたIoTの必要性について →スマートグリッドを実現するためには, あらゆる地点に取り付けられたセンサによる電力データや環境データの無線通信での取得が必要であることを学習する。	講義
5	○ IoTの社会実装に向けたエネルギーハーベスティングの必要性について →IoT機器への電力の供給方法やその実現可能性を生徒同士で話し合い, IoTの社会実装を達成する上での方法を学習する。特に, IoT社会を構築するためには, 無線センサーノードへの電力供給が必要になることを把握する。電力供給の手段としては交換が必要な電池では不十分であり ⁹⁾ , その他の手段, ここではエネルギーハーベスティングが有望視されていることを紹介する。	グループワーク
6	○ エネルギーハーベスティングとIoTに関する体験 →蛍光灯の回りに発生する電界エネルギーを獲得し, その電力によって無線モジュールを駆動し, 温度・湿度データを無線通信で収集する体験をする。	演習

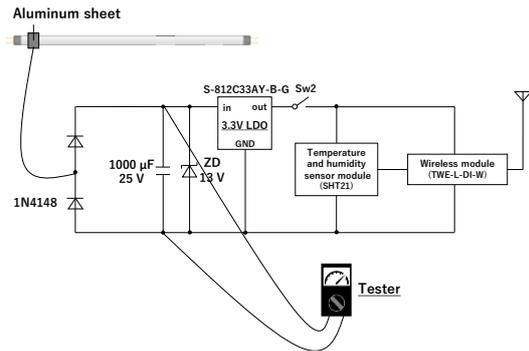


図2 無線通信教材の回路図

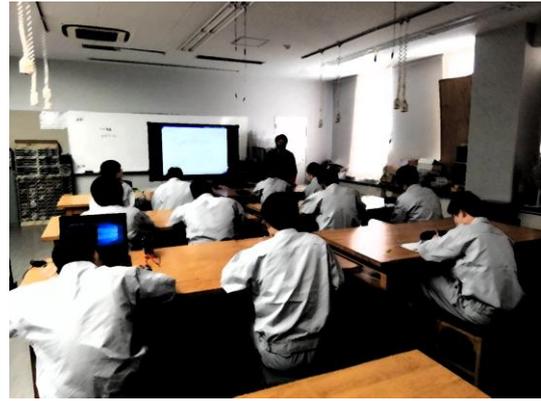


図4 実践の様子

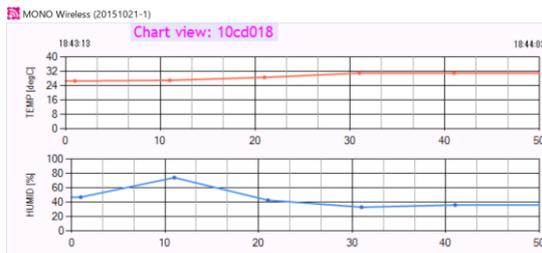


図3 温湿度データがグラフ表示されたPC画面

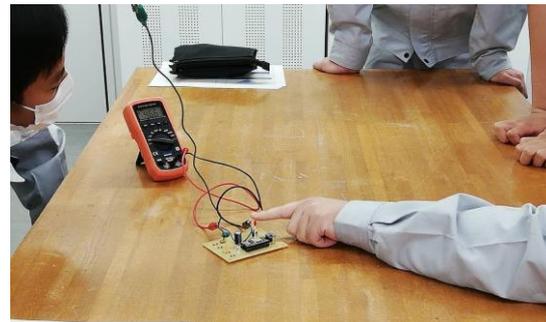


図5 無線通信体験の様子

用した無線通信教材の回路図を図2に示す。図2に示したものは、蛍光灯周辺に発生する電界エネルギーをアルミホイルで獲得し、その電力のみで無線通信を行うことができる回路である。回路に接続されたデジタルテスタでコンデンサの電圧を監視し、約3.5V以上のときにSW2を押すことで、モノワイヤレス社の無線データ通信モジュール(TWE-L-DI-W)に電力が供給される。電力を供給されたモジュールは、温湿度センサ(SHT21)により測定したデータをPCと接続された親機に向けて送信する。PC側では、図3に示すように、温湿度データをグラフで視覚的に確認することができる。アルミホイルで電界エネルギーを獲得する原理については、参考文献13)を参照されたい。

3. 授業実践について

I 県の工業高校生を対象に授業実践を行い、活動の様子やアンケート分析によって、学習プログラムの前後における生徒の変容を明らかにする。

3.1. 実践の概要

実践の概要を表2に示す。

4つのワークショップで実施される科目「実習(計測実習)」において、著者が担当する計測実習にて実践を行った。表1で示した学習プログラムに対応する授業スライドを用いて、講義や対話的な活動、演習を取り入れながら活動が進められた。実践の様子を図4, 5に示す。

3.2. 評価方法

事前・事後の生徒の変容および学習効果について、表3に示すアンケートにより分析を行った。表3では質問項目と分析方法を示す。項目1では、学習前の状態で「再生可能エネルギーによってエネルギー問題を解決することができる」と考えている生徒の人数を調査することを狙いとした。項目2~4は、生徒の学習プログラムに対する受け止めや教育効果を調査するために設定した。

3.3. 事前アンケートの結果

学習前の状態で「再生可能エネルギーによってエネルギー問題を解決することができる」と考えている生徒の人数を調査した結果を図6に示す。図6に示すように、エネルギー問題を解決する手段として、「再生可能エネルギーを導入すればよい」とだけ回答する1類の生徒が全体の半数に上っていることがわかる。2

表2 実践の概要

項目	内容
日時	① 2022年5月09日 1~3限目(9名) ② 2022年5月30日 1~3限目(8名) ③ 2022年6月27日 1~3限目(8名)
授業者	第1著者
対象	K市立工業高校電子情報科2年生 25名
科目	実習(計測実習)

表3 アンケート

項目	内容 (○：質問項目, →：分析方法)	事前	事後
1	○ エネルギー問題は、どのようにすれば解決することができるだろうか？ (事前と事後に実施) →質問に対する回答を3類に分類し、事前と事後の人数の変化を調査した。本実践では、3類に属する生徒が多くなるほど、研究目的が達成されたものといえる。 【1類】「再エネを導入する」という解決方法のみ記述されている。 【2類】再エネとは異なる視点からの解決方法が記述されている。 【3類】再エネを導入するための周辺技術を交えた解決方法が記述されている。	○	○
2	○ 学習内容に関して教えてください。 4：とても面白い 3：少し面白い 2：あまり面白くない 1：全く面白くない →各項目の人数を調査する。		○
3	○ 無線通信体験に関して教えてください。 4：とても面白い 3：少し面白い 2：あまり面白くない 1：全く面白くない →各項目の人数を調査する。		○
4	○ 授業を通して分かったことや感想を自由に記述してください。 →株式会社ユーザーローカルにより提供される「AI テキストマイニング」を用いたワードクラウドと階層的クラスタリング分析を行い、再生可能エネルギーに関わる単語と出現傾向が近い単語を分析する。		○

類の回答には、「節電」や「省エネ製品の普及」、「新たな資源の発見」などといった回答が多く見られた。そして、本研究が目指す3類の生徒は、事前段階では見られなかった。聞き取りをしたところ、高校入学以前にエネルギー問題と再生可能エネルギーとの関わりについて調査し、メリット・デメリットまで調査した経験はあると回答した。中にはそれを踏まえてどの再生可能エネルギーが適しているかまで考えた生徒も見られた。しかし、その先の「では、どのようにすれば主力化できるのか」というところまで深めた経験はない生徒が多いことが明らかとなった。

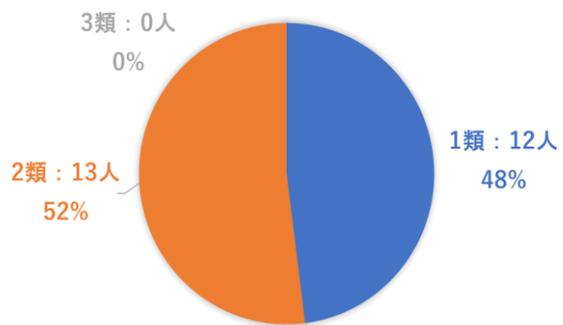


図6 項目1の事前アンケート結果

3.4. 事後アンケートの結果

項目1~4までの分析結果を各項に示す。

3.4.1. 項目1 エネルギー問題を解決する手段について

事後アンケートの結果を図7に示す。図7に示すように、実践の事後には、70%を超える生徒が3類、つまり「エネルギー問題を解決するためには、再生可能エネルギーが重要であるが、併せて周辺技術の発達や導入も必要である」という旨の記述をした。これにより、事前と比較して、エネルギー問題に対して広い視野をもって考える態度が育成できていることがわかる。

事前と事後で、同じ生徒の記述がどのように変容したか示したものを表4に示す。図6, 7および表4中

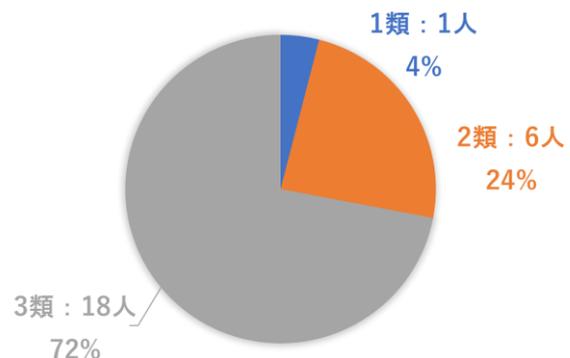


図7 項目1の事後アンケート結果

表 4 項目 1 の事前事後の記述の変化

生徒 事前→事後	事前	事後
A 1 類→2 類	再生可能エネルギーを使った発電をする。	再生可能エネルギーをうまく使用し、国民全員にも発電量とその消費量のことを説明し、理解してもらえば解決できる。
B 2 類→2 類	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーを使った発電をする。 新しい資源を作る 	再生可能エネルギーを使って発電し、一人ひとりが節電に協力することで解決できる。
C 2 類→3 類	<ul style="list-style-type: none"> 人を減らす。 新たなエネルギーを見つける。 再生可能エネルギーを増やす。 	<ul style="list-style-type: none"> 捨てられているエネルギーを電気に変換して使う。 再生可能エネルギーを導入する。 新たな発電方法を開発する。
D 1 類→3 類	再生可能エネルギーを使った発電をする。	エネルギーハーベスティング技術、IoT 技術、スマートグリッド技術が相互に支え合って、再生可能エネルギーを普及すれば解決に近づく。
E 1 類→3 類	再生可能エネルギーの導入。	スマートグリッド技術、IoT、エネルギーハーベスティングを普及させ、それぞれの弱点を克服し合うことによって、本格的に再生可能エネルギーを導入する。

(特に生徒 D, E) の記述内容から、付加された知識をただ断片的に取り入れているのではなく、系統性をもって獲得できていることがわかる。このため、本学習プログラムは、系統的に理解できるように構成された授業であったことが示された。

3.4.2. 項目 2 学習内容について

項目 2 は、プログラムに関する生徒の受け止めを調査するために設定した。結果を図 8 に示す。内容が「とても面白い」と回答した生徒が全体の 75% に上っており、「少し面白い」という回答と合わせれば、95% 以上の生徒が肯定的な意見をもつことが確認された。表 1 で示した学習内容からも分かる通り、内容がネットワーク系や通信系で構成されていることから、実践対象にした電子情報科の生徒にとっては馴染みやすく意欲的に学習に取り組めたものと思われる。

3.4.3. 項目 3 無線通信体験について

本実践では、エネルギーハーベスティングと IoT について生徒が実感を伴って理解することを目的に無線通信体験を取り入れた。本設問では、本体験に対する生徒の受け止めを調査した。結果を図 9 に示す。体験が「とても面白い」と回答した生徒は、全体の約 50%、「少し面白い」と回答した生徒は、全体の約 45% であ

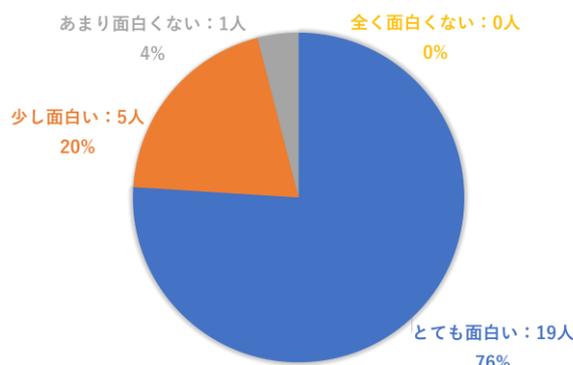


図 8 項目 2 の事後アンケート結果

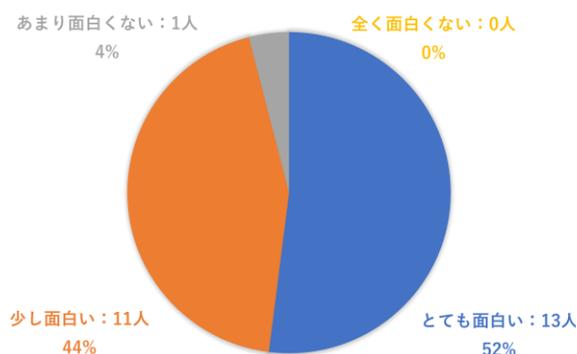


図 9 項目 3 の事後アンケート結果

り、肯定的に捉えられていることが明らかとなった。蛍光灯の付近にアルミホイルを近づけるだけでエネルギーが獲得され、電源不要で無線通信ができたときは歓声も聞かれた。しかし、目に見えないものであることに加えて、回路の全体像を理解しきれていない生徒が数名見られたことが、「少し面白い」という回答が半数近くに上った原因として考えられる。

3.4.4. 項目4 自由記述について

ここでは、斉藤・池田の文献(14)を参考に、生徒の振り返りの記述における単語の繋がりや使用頻度の高い単語を確認することで、振り返り全体の傾向を把握することを目的に2つの分析を行った。

1つ目は、AI テキストマイニングによって生徒の記述をワードクラウド表示することで、実践を通して生徒が印象に残った内容を明らかにする。ワードクラウドとは、文章中で出現頻度の高い単語を選び出し、そのスコアが高いものから大きく表示する手法である¹⁵⁾。ここで言うスコアとは、ワードの出現頻度だけでなく、そのワードの重要度も加味したものである。また、重要度とは「一般的な文書ではあまり出現せず、調査対象の文書だけによく出現する単語」を重視したものである¹⁵⁾。

2つ目は、階層的クラスタリングを行い、「再生可能エネルギー」と出現傾向の近い単語を調査することで、周辺技術と絡めて再生可能エネルギーを考察することができていたかを分析する。

はじめに、1つ目の結果について示す。生徒が自由記述した内容を、そのまま打ち込んで分析した結果を図10に示す。図10のワードクラウドから、最もスコ

アの高い単語は「再生可能エネルギー」であることがわかる。次いで「スマートグリッド」「ハーベスティング」になっており、周辺技術である「IoT」や「センサ」なども比較的高いスコアであることがわかる。このようになった理由を、生徒の実際の記述と照らし合わせて考察する。記述内容を表5に示す。表5中の生徒の記述から、「再生可能エネルギーを利用するためには、併せて周辺技術の導入も必要である」ことが印象に残ったものと思われる。また、生徒D、Eの記述からは、再生可能エネルギーだけでは完結せず、視野を広げられていることが伺える。特に、生徒Dに関しては、エネルギー問題に対して情報技術が活用できることに興味をもち、授業後も継続してエネルギー問題に向き合う意欲を有していることが読み取れた。また、生徒Eに関しては、スマートグリッド技術による弊害について疑問を抱くことができていた。これらの記述から、学習内容を踏まえて、自身で問題提起を行う生徒も現れることが明らかとなった。

続いて、「再生可能エネルギー」と出現傾向の近い単語を調査するために実施した階層的クラスタリングの結果について示す。階層的クラスタリングは、出現傾向が似た単語ほど近く(低い階層)で繋がれ、似ていないものほど遠く(高い階層)で繋がれる¹⁵⁾。このため、「再生可能エネルギー」と近くで繋がれる単語に注目する。

結果を図11に示す。図11中の横軸の数字は、出現傾向の類似度である。このため、横軸の数値が低いところでまとめられたものほど、出現傾向が似ていると言える。「再生可能エネルギー」というワードと低い階層で繋がれたものを破線で囲んで表示した(破線の

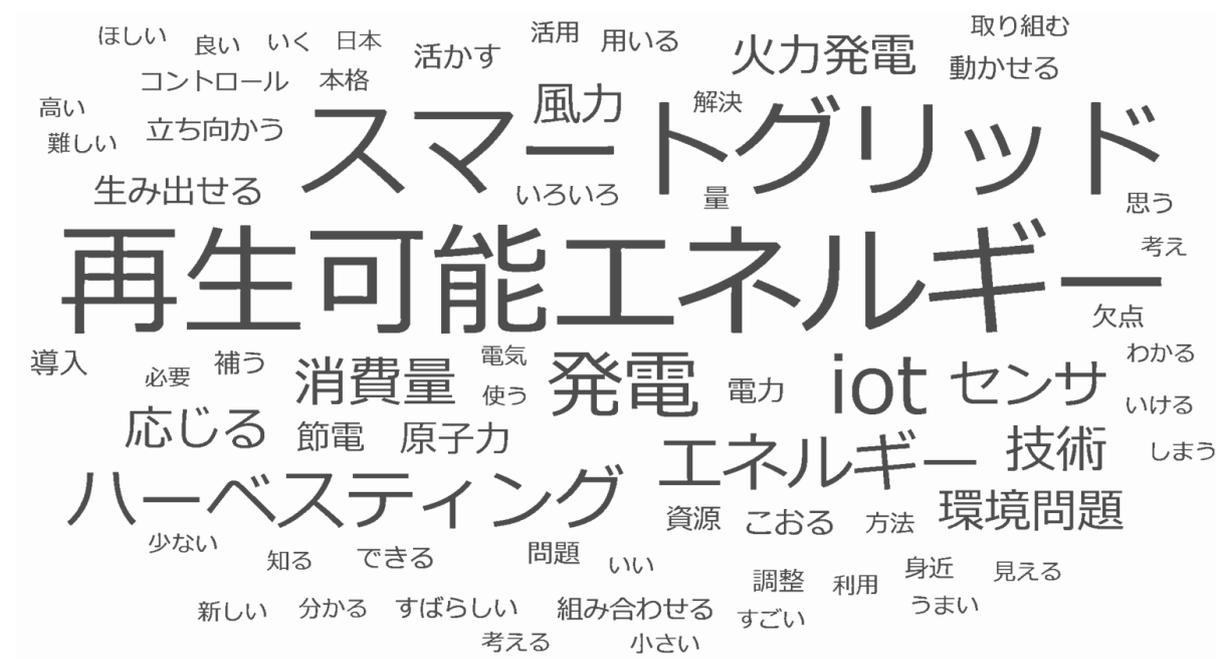


図10 ワードクラウド(ユーザーローカル テキストマイニングツール (<https://textmining.userlocal.jp/>) 「ワードクラウド」による分析)

表5 自由記述の内容

生徒	記述内容
A	発電量に応じて消費量を調整するという考えはなるほどと思った。スマートグリッド技術やIoT, エネルギーハーベスティングがあると, 再生可能エネルギーが本格導入できることを知って, いろいろな技術が必要なのだと思った。
B	再生可能エネルギーをだけでなく, それを支える技術にも目を向けなければならないことが分かった。
C	再生可能エネルギーを使うことにも問題があり, それを乗り越えるためにさまざまな技術が必要であることを知った。
D	エネルギー問題は小さなことからやっつけていかないといけない。エネルギー問題にも情報技術が活用されていることがわかって, エネルギー問題にも関心をもった。自分でもエネルギー問題に立ち向かうためにどうすべきか考えようと思った。
E	スマートグリッド技術によって電力系統のものをIoTで見える化すると, どこで何をしているかが分かってしまうので, プライバシーの管理がどのように行われるか疑問に思った。

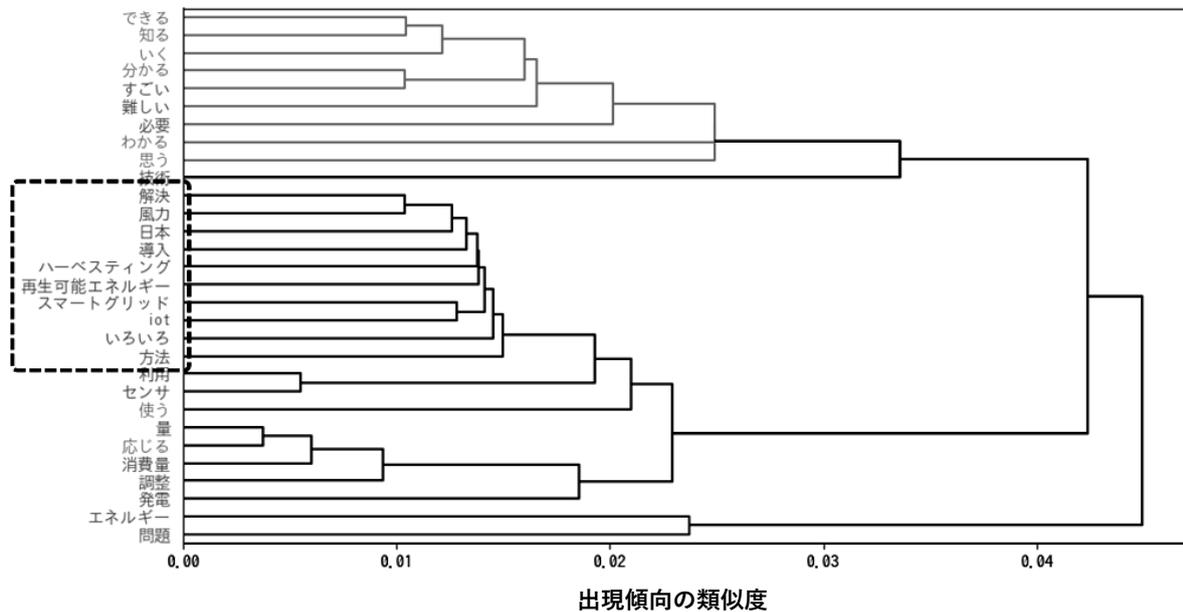


図11 階層的クラスタリング (ユーザーローカル テキストマイニングツール (<https://textmining.userlocal.jp/>) 「階層的クラスタリング」による分析)

黒枠は著者が追記した)部分を見たところ, 枠内には再生可能エネルギーの導入に向けた周辺技術の単語が多く出現していることがわかる。それら以外にも, 「解決」や「導入」, 「いろいろ」など, 周辺技術の導入によって, 再生可能エネルギーの課題を解決できることを彷彿とさせるような単語が出現している。これらの理由から, 周辺技術と絡めて再生可能エネルギーを考えることができているものと判断することができる。

4. おわりに

本研究では, 再生可能エネルギーを主力化する際に必要となる周辺技術について学習することができるプログラムを開発することによって, 単に「エネルギー問題は再生可能エネルギーで解決することができる」という視点から, その先の「エネルギー問題を解決するためには, 再生可能エネルギーが重要であるが, 併せて周辺技術の発展や導入も必要である」という俯瞰

的な視点を育成することを目的とした。

プログラムの内容は、再生可能エネルギーが求められるようになった背景から再生可能エネルギーの欠点と主力化に向けた課題を概観し、それを克服するための周辺技術について系統的に学習するものである。これを、高校2年生を対象に実践を行った。

その結果、実践の前では、世界のエネルギー問題は再生可能エネルギーを導入すれば解決することができるという旨の回答をした生徒が大多数だったものの、事後には、7割を超える生徒が、再生可能エネルギーを導入するためには、その周辺技術の発達や導入も併せて必要であるという回答をした。また、自由記述中では、再生可能エネルギーの周辺技術に関する単語の出現頻度が高く、また、周辺技術に関する単語は、再生可能エネルギーと出現傾向が似ることもわかった。このような態度の変容は、単に断片的な知識の詰め込みではなく、系統性をもって理解できるように構成された授業だったからこそ起こったものであると考えられる。また、これらの実践とそのプログラムの内容は、生徒が肯定的に捉えていたこともわかり、楽しみながら再生可能エネルギーと周辺技術を関係づけて考える視点が育成される教材であることが明らかとなった。

今回の実践では、生徒に思考させる場面を多く取り入れたが、周辺技術に関する既習知識が乏しい中で考えることに苦戦している様子が印象的であった。このため、次なる実践に向けて、思考する場面の再選定を行う必要があるものと思われる。内容に関して選定する必要は、他にもある。再生可能エネルギーを導入するための周辺技術で、スマートグリッドやIoTと言った、まだまだ生活に浸透していないネットワーク寄りの話が多くなった。これも、生徒の思考を難しくした要因であると思われる。このため、今後は、再生可能エネルギーを本格導入するための周辺技術として、蓄電池を用いた方法に変更することも視野に入れ、内容の再選定と精緻化を図りたい。

5. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費(奨励研究) 22H04052 による助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 経済産業省：第6次エネルギー基本計画，pp. 11-14 (最終アクセス日：2022年12月12日)
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示) 解説 技術・家庭編，p. 40 (2017)
- 3) 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成29年告示) 工業編，pp. 9-10 (2017)
- 4) 山本利一・森山潤・角和博：電磁誘導を利用した波力発電教具の開発と授業実践，日本産業技術教育学会誌，第54巻，第1号，pp. 21-28 (2012)

- 5) 山本利一・森山潤・角和博・池上康之：ペルチェ素子を用いた温度差発電学習教具の開発と授業実践，日本産業技術教育学会誌，第49巻，第4号，pp. 315-322 (2007)
- 6) 岡村修司・濱田朋起・岩切裕哉・藤原滋泰・岐美宗・遠入大二・馬場弘明：エネルギー・環境問題に関する教育プログラムについて—技術者教育の一環として—，広島商船高等学校紀要，第38号，pp. 21-26 (2006)
- 7) 橋川武郎：エネルギー・シフト 再生可能エネルギー主力電源化への道，白桃書房，pp. 16-19 (2020)
- 8) 横山明彦：新スマートグリッド 電力自由化時代とネットワークビジョン，一般社団法人日本電気協会新聞社，pp. 10-21 (2015)
- 9) 竹内敬治・篠原真毅：エネルギーハーベスティング 身の回りの微小エネルギーから電気を創る“環境発電”，日刊工業新聞社，pp. 10-28 (2014)
- 10) 前掲7)，pp. 21-22，40-42，117-141
- 11) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議：水素基本戦略(2017)
- 12) 経済産業省：蓄電池戦略，蓄電池戦略プロジェクトチーム(2012)
- 13) 嶋崇志・改正清広：電界エネルギーハーベスティングを効率化するパラメータの探索と教材開発，日本産業技術教育学会第37回近畿支部大会(京都)，pp. 25-26 (2020)
- 14) 斉藤想能美・池田誠喜：主体的・対話的で深い学びを目指した道徳科の実践，鳴門教育大学学校教育研究紀要，第32巻，pp. 61-69 (2018)
- 15) ユーザーローカル AI テキストマイニング，https://textmining.userlocal.jp/questions#data_q2 (最終アクセス日：2022年12月13日)