

# 電力需給管理の疑似システムのプログラミング教材開発と実践<sup>†</sup> ～中学校技術科の事例～

秋山 政樹\*・花田 守\*\*

秋田県八郎潟町立八郎潟中学校\*・秋田大学教育文化学部附属中学校\*\*

菅家 久貴\*\*\*・本多 満正\*\*\*\*

秋田県男鹿市立男鹿東中学校\*\*\*・愛知教育大学\*\*\*\*

筆者らは、中学生が現実社会で活用されている自動化技術システムの仕組み等を、実感を伴って学ぶ授業づくりを課題としてきた。これまでの研究においては、スマートグリッド（ICTを活用することで再生可能エネルギーの積極利用を図る次世代電力網）を題材にして、電力需給管理システムに埋め込まれた自動処理を手作業化することで、主な仕組みの理解とともに自動化の意義を学ばせることができた。

今回、コンピュータネットワーク上で双方向に連関し合う電力需給管理のコンピュータプログラムそのものに着目し、そうした技術システムがエネルギー資源の相互の利用等に果たす社会的意義について学ぶためのプログラミング教材と指導法を開発した。本稿では、開発した教材ならびにそれを活用した授業の教育効果について実験授業を通して検証した。

**キーワード：**ネットワークプログラミング、スマートグリッド、Scratch、技術科教育

## 1. 研究の目的と方法

### 1.1 目的と背景

本研究の目的は、中学校 技術・家庭科 技術分野（以下、技術科）において、スマートグリッド（以下、SG）の核心部分であるプログラムによる電力需給を自動管理するシステムをモデルにして、実際のコ

ンピュータプログラミングを学ぶための教材と、それを活用した指導法を開発し、その教育効果について検証することである。

本研究が求められる背景には、以下の三つがある。一つには、我が国が未来投資戦略の一つとして、スマートエネルギーマネジメント等の最新の技術革新を取り入れることによって国際競争で戦える「強み」に変えることが可能になるとの見解を示していることである<sup>1)</sup>。今一つとしては、現実世界とサイバー空間とを相互連関させるCPS（Cyber Physical System）によるデータ駆動型社会（Data Driven Society）の実現が期待されているからである<sup>2)</sup>。さらに、このような展開に注目が集まる中で、平成29年度告示の中学校学習指導要領においては、技術科に双方向性のあるコンテンツのプログラミングの指導が盛り込まれることになったこと

2019年1月7日受理

<sup>†</sup>Masaki AKIYAMA\*, Mamoru HANADA\*\*, Hisataka KANKE\*\*\* and Mitsumasa HONDA\*\*\*\*, Development and practice of programming teaching materials of pseudo system of electricity supply and demand management: Cases of Junior High School Technology Subject

\*Hachirogata Junior High School

\*\*Junior High School attached to Faculty of Education and Human Studies, Akita University

\*\*\*Ogahigashi Junior High School

\*\*\*\*Aichi University of Education

である<sup>3)</sup>。

スマートエネルギーマネジメントの一つとして、SGが挙げられる。SGは、風力や太陽光等の再生可能エネルギー（以下、再エネ）による不安定な分散型電源を効率的に活用するために、従来の発電・送電システムにICTを活用することでエネルギー供給をコントロールする仕組みであり、この技術システムの活用によってエネルギー資源の消費量の低減が期待される。筆者らはこれまでに、こうしたICT活用による総合的システムについて、中学生が技術の担い手側の立場に立って捉えられるようにするために、SGを題材とした「スマートグリッドゲーム」（以下、「SGG」）と称するタブレット端末用ゲーム教材アプリと、それを活用した指導法を開発してきた。そして、その教育効果を検証し、中学生に対してSGの知的処理の概念的な仕組み理解と、このような技術システムの社会的意義理解を促すことに一定の効果があることを示してきた<sup>4)</sup>。さらに、「SGG」に改良を加えた「SGG2」を開発し、ゲーム上の仮想都市の電力需要の傾向と発電設備の特性等とを考慮した上で、仮想都市の発電設備を選定・検証する実験授業を実施した。その結果、学習者が自ら給電設計の課題を作り、その解決方法に対して技術的な根拠をもって評価する学習が実施可能であることを示した<sup>5)</sup>。

今回、上記「SGG」教材群を活用した学習の後に、電力需給を自動コントロールするコンピュータプログラムについて考える学習を加えれば、ブラックボックス化された自動化技術に対する具体的理解が進むと考えた。そして、SGによる電力需給の自動化を実現するプログラム処理を理解させるにあたっては、コンピュータネットワーク（以下、ネットワーク）を介した変数の取扱いや条件処理等に着目させてプログラミング実習が実施できるように単純化して、教材及び指導法の開発を試みた。

本研究では、プログラミング初学者向けのビジュアル言語であるScratch1.4（以下、Scratch）を利用して開発した「風力発電王ゲーム」（以下、「FHG」）と称するオンラインゲームのプログラミング教材を活用した実験授業を試行した。その結果、ネットワーク上のデータを双方向でやりとりするための基本的なプログラミングスキルの育成と、そうしたプログラム処理が果たす社会的・経済的な役割について理解を促す授業が実施可能であるとの知見を得た。

## 1.2 研究の方法

「FHG」を活用した実験授業は、中学2年次に「SGG」教材群を活用してSGについて学んだX県Y中学校の第3学年の生徒（2学級、計51名）を対象として、2018年10月中旬から総時数6時間で実施した。開発した教材及び指導法の学習効果の検証については、各授業時間に生徒が記述した振り返りシートの内容と、授業実施後の生徒に対する質問紙調査の回答内容を総合して検証した。

## 2. 教材の概要

### 2.1 プログラミング教材「FHG」

「FHG」は、変数を合理的に処理する等の従前のプログラミング学習と、複数のプログラムが同時並行的に複数の変数にアクセスするために必要なネットワークプログラミングの学習を通して、ネットワークを介したプログラム処理技術がエネルギー資源の有効的な活用等に果たす社会的・経済的役割について学ばせることを目的とした教材である。

具体的には、生徒4～5人程度のグループごとにScratchを用いて教室内でネットワークを構成し、与えられた未完成の「FHG」の完成を目指しながらプログラミングを学ぶ。「FHG」のゲームシナリオは、「風力発電王」と称するキャラクターが保有している「風力発電機」で得られる電力を使って「工場」を稼働させ、「ガーネ」と称するゲーム上の通貨を稼ぐものである。ただし、ゲーム中は、10秒毎に0～3の4段階でランダムに「風力」が変化する。こうした不安定な風力発電で過不足する電力をネットワーク上の「電力売買会社」とやりとりしながらゲームオーバーしないようにグループ内で「工場」の維持を競い合う。「FHG」の画面の様子とゲーム画面を構成する各部品の仕様をそれぞれ図1と表1に示す。

「FHG」の設計で留意した点の第一としては、SGの電力需給バランスの最適化を図るためのプログラム処理を焦点化し、その働きとしくみを中学生が楽しみながら学べるように単純化したゲームのシナリオ作りである。このために、ゲーム上の電源としては「風力発電機」、電力の需要家としては「工場」のみを設定し、必要に応じてグループ内でネットワーク上の「電力売買会社」を介して余剰電力を使い回す単純な設計にした。電源として「風力発電機」を設定した理由は、再エネ利用の発電方法の中でも、

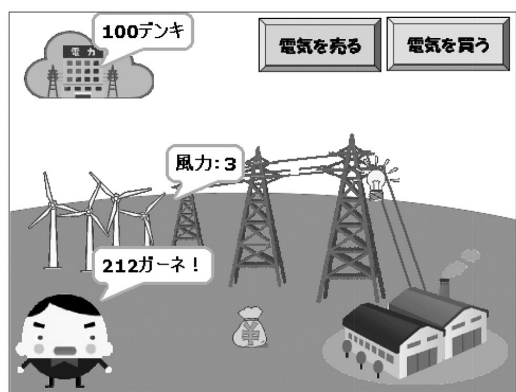


図1 「FHG」の画面の様子

表1 各部品の仕様

部品名	仕 様
電力売買会社	ネット取引で電気の売り買いを行っている。買い取り価格は1デンキにつき1ガーネ、販売価格は1デンキにつき2ガーネだが100デンキ単位でしか売らない。
ス テ ー ジ	このゲームの世界では「風力」が10秒ごとに0～3段階で変化する。
風力発電所	風が吹くと風車がクルクル回る。
風力発電王	風力発電所と工場の所有者。貯めた「ガーネ」を数えることが生きがいが、最初は200ガーネしか持っていない。
ガ ー ネ	このゲームの世界で使われている通貨。ゲーム中は、工場から風力発電王に移動していく。
工 場	風力発電所の電力で稼働している。稼いだ「ガーネ」を風力発電王に送っている。 風が止まって電気が来ないとピンチ！風力発電王の貯めたガーネで持ちこたえようとするが、すぐに倒産してしまう。
電 球	送電線から工場へ移動して、電気が送られていく様子をイメージしている。
電 気 を 売 る ボ タ ン	クリックする度にその時の「風力」に応じた電力を1デンキにつき1ガーネで電力売買会社に売ることができる。
電 気 を 買 う ボ タ ン	クリックするとネット取引で電力売買会社から電力を買って工場のピンチを救うことができる。ただし、電力売買会社は100デンキ単位でしか売ってくれないので、200ガーネ以上持っていないと買うことはできない。

太陽光発電や水力発電等と比べて短時間内の風力変化に伴う不安定な発電のイメージをもたせやすいと考えたからである。

第二には、プログラミング課題の難易度を次第に

上げながらスモールステップで学習させ、「FHG」のプログラム全体が完成していなくても、ステップ毎の学習成果を実感させやすくした。このため、生徒には未完成な「FHG」を与え、図1に示した「風力発電王」「風力発電機」「電気を売るボタン」「電気を買うボタン」を機能させるために必要なプログラミングについて、試行錯誤しながら学ばせるようにした。

第三には、ネットワークを介したプログラム処理によるメリットを享受することを実感させることと、そうしたプログラミングの基本を協同的に学ばせることを目的として、4～5人程度のグループ内で共有する変数を読み書きするプログラムによって初めてゲームが成立する仕様にした。これまで、プログラミング学習においては、個人内の学習に陥ってつまづくことを回避するために、相補的に学習を進めるペアプログラミングの手法が試みられてきている。平井らは、情報系の大学生を対象としてペアプログラミングを行わせた際に、学習が失敗する事例では、1) 一回の会話長が長い、2) 説明の繰り返しが多い、3) 一方的な会話が多い、の3点が見受けられることを報告している<sup>6)</sup>。ところが、筆者らがこれまでに行ってきた中学生に対するペアプログラミングの実践では、プログラミングに対する経験やアイデア及び語彙力の少ない生徒がほとんどであり、2人では会話が少なくなって、つまずきから抜け出せない状態が多く見受けられてきた。このことから、ペアより4～5人程度のグループの方が一定程度の会話が成立しやすく、協同的に学習に取り組めると考えた。

## 2.2 プリント教材

「FHG」は、スモールステップでプログラミングを学ぶ教材であるために、生徒には、単元の到達目標と毎時間の学習目標との関連を理解させながら学習させることが大切である。そのために、学習の導入にあたっては、ゲームの仕様及びそれらに対するプログラミング課題等を視覚的にわかりやすく表記した導入用プリント教材を与えて、学習の見通しをもたせやすくした(図2)。

また、生徒が、プログラミング課題の意味を具体的に理解した上でプログラミングに取り掛かることができるようにするために、プログラミング課題ごとの学習用ワークシートを作成して与えた。それぞれのワークシートには、課題解決に必要なアルゴリ

年 組 番 氏名

■ あなたが所属するゲームソフト会社のプロジェクトチームは、「風力発電王ゲーム」というオンラインゲームアプリを制作しました。ところが、何かのミスでプログラムの一部が消去されてしまいました。あなたのチームは、ゲームが正常に動くよう、5つのミッションをこなしてプログラムを作り直さなければいけません。

**ゲームのシナリオ**

【電力会社】  
ネット取引で電気の売り買いを行っている。買い取り価格は1デンキにつき1ガーネ。販売価格は1デンキにつき2ガーネだが100デンキ単位でしか売らない。

【電気を売るボタン】  
クリックする度にその時の「風力」に応じた電気を1デンキにつき1ガーネで電力会社に売ることができる。

【電気を買うボタン】  
クリックするとネット取引で電力会社から電力を買って工場のピンチを救うことができる。ただし、電力会社は100デンキ単位でしか売ってくれないので、200ガーネ以上持っていないと買うことはできない。

【ステージ】  
このゲームの世界では「風力」が10秒ごとに0～3段階で変化する。

【風力発電所】  
風が吹くと風車がクルクル回る。

【電球】  
送電線から工場へ移動して、電気が送られていく様子をイメージしている。

【風力発電王】  
風力発電所と工場の所有者。貯めた「ガーネ」を数えることが生きがいが、最初は200ガーネしか持っていない。

【ガーネ】  
このゲームの世界で使われている通貨。ゲーム中は、工場から風力発電王に移動していく。

【工場】  
風力発電所の電力で稼働している。稼いだ「ガーネ」を風力発電王に送っている。風が止まって電気が来ないとピンチ！風力発電王の貯めたガーネで持ちこたえようとするが、すぐに倒産してしまう。

※グレーの部分のプログラムを失ってしまったらしい。

**ミッション**

- 10秒ごとに0～3段階でランダムに風が吹き、風の強さに応じて風力発電所の風車を回転させるプログラムを作る。
- 「風力発電王」が「ガーネ」を貯金して、その額が表示されるプログラムを作る。
- 「電気を売るボタン」のプログラムを作る。(クリックする度にその時の風力分の電気を、その時の風力分の「ガーネ」で売る。風力3であれば、3デンキを3ガーネで売る。)
- 「電気を買うボタン」のプログラムを作る。(100デンキを200ガーネで買って工場のピンチを救う。ただし、電力会社が100デンキ以上もっていないと買えない。)
- 「電気を売る」「電気を買う」ボタンを自動化する。

図2 導入用プリント教材

ズムのヒントやScratchの具体的な操作手順を示して、生徒が、教員からの説明を細かく受けなくても、自ら試行錯誤し合いながらプログラミング課題を解決できるようにした。

### 3. 単元と授業実践

#### 3.1 教育目標と単元

筆者らは、「FHG」を活用した授業の教育目標として「ネットワークを介して変数を参照したり置換したりするプログラミングができること」、「コンピュータプログラムの工夫がエネルギー資源の有効

利用に寄与していることを実感的に理解できること」の二つを設定した。そして、これらの目標を達成させるために、6時間編制の単元を設定した。単元の各時間は、中学生の実態に合わせて、習得させるプログラミングスキルの難易度が段階的に高まるように配列した。単元計画表を表2に示す。

#### 3.2 反復処理による変数の読み書き

「FHG」のプログラミングでは、まず始めに、反復処理を用いて一定時間ごとに変数を置換させるプログラムについて学ばせる必要がある。その理由は、ゲームの進行上重要な「風力発電機」の発電量を決



表2 単元計画表（総時数6時間）

時	主な学習活動	指導上の留意点
1	・「FHG」の概要を知る。 ・リストを作って試す。	・学習の見通しをもたせ、Scratchの基本操作とリストの特徴を知らせる。
2	・10秒ごとに乱数を発生させ、変数に格納するプログラムを作る。 ・変数を利用して風力発電機の風車を回転させるプログラムを作る。	・反復処理で風車を回し続けられることを知らせる。 ・リストを使用する。
3	・変数を加算して表示するプログラムを作る。	・イベントによる条件分岐処理について理解させるために、数値を加算するタイミングを考えさせる。
4	・ネットワーク上で変数を共有し、「電気を売るボタン」で値を加算するプログラムを作成する。	・作成した変数を共有し、データを置換し合う意義に気付かせる。
5	・条件式と論理式を用いて「電気を買うボタン」を押すごとに共有変数とリストの要素から決められた値を減算するプログラムを作成する。	・「デンキ」と「ガーネ」の値がそれぞれ一定値以上の場合だけ動作するプログラムを考えさせる。 ・並列処理の意味を理解させるために、作成してきたプログラムを見直させる。
6	・条件付きの反復処理プログラムを作成して、ゲームを自動化させる。	・自動化によって得られるメリットについて話し合わせ、学習のまとめをさせる。

める「風力」の値をランダムに変化させる必要があるからである。具体的には、10秒ごとに0～3の乱数を発生させ、変数にその値を繰り返し置換し続けるプログラム処理である。このために、図3に示すワークシートを活用してこのアルゴリズムを考えさせてからプログラミングをさせた。

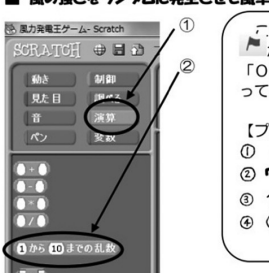
次に、変数に格納された「風力」の値を参照し、それに応じた速さで「風力発電機」の風車を回転させ続けるアルゴリズムを考えさせてから、プログラムを作成させた。どの生徒も、自分たちで考えて作成したプログラムによって風車の回転速度が時間とともにランダムに変化したり止まったりする様子を見て興奮している様子であった。生徒が作成した乱数を発生させるプログラムと風車を回転させるプログラムを図4に示す。

### 3.3 イベントによる条件分岐処理

「風力発電王」は、「工場」から自動的に送られてくるゲーム上の通貨である「ガーネ」に触れた際に、その合計額を数え上げて表示するように設計している（図5）。このような、何らかのきっかけでプログラムが動き出すイベントドリブン型のプログラミングの特徴と分岐処理について学ばせるために、教員が完成させておいた「FHG」の動作を観察させながら、「風力発電王」が「ガーネ」の値を表示するプログラムについて考えさせた。

「どのようなタイミングでガーネの額が増えているか」という発問に対しては、どの生徒も「風力発電王にガーネがくっついた時」と答え、人間による

■ 風の強さをランダムに発生させて風車を回転させよう



「このゲームの世界では、いつも0～3の強さで風が吹いています。がクリックされたら10秒ごとに「dataの1番目」のデータを「0から3までの乱数」で置き換えるプログラムを「ステージ」に作ってみましょう。

【プログラミングのヒント】

- ① がクリックされたら
- ② 「dataの1番目」を「0～3までの乱数」で置き換える
- ③ 10秒待つ
- ④ ②～③の処理をずっと繰り返す

次に、風車が回転するプログラムを作ってみましょう。風車を回すので、プログラムは風車に作ります。

【プログラミングのヒント】

- ① がクリックされたら
- ② 「dataの1番目」度回す
- ③ 「」の処理をずっと繰り返す

図3 反復処理とリストの使用法を学ぶためのワークシート

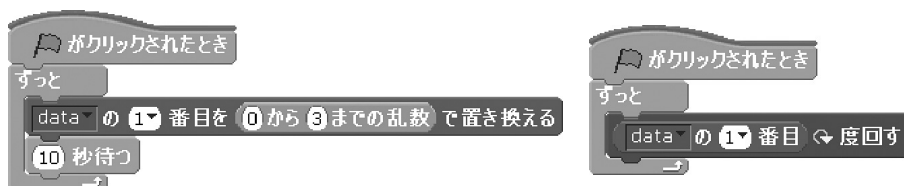


図4 生徒が作成した乱数を発生するプログラム（左）と風車を回転させるプログラム（右）



図5 ゲーム実行中の「風力発電王」の様子

コンピュータ操作以外にも、特定のタイミングでプログラムが動き出していることに気付いた様子であった。そして、図6に示すプログラミングのヒントとなる穴埋め形式の問題を記載したワークシートを与えてアルゴリズムを考えさせたところ、ほとんどの生徒が、ワークシートの穴埋め問題を使ってアルゴリズムを考えることができていた。



図7 生徒が作成した「風力発電王」に「ガーン」の値を表示させるプログラム

ところが、実際のプログラミングの場面では、やや複雑なプログラム処理が求められたためか、多くの生徒がアルゴリズム通りにブロックを組み合わせることに苦心していた。そこで、グループ内で「反復処理と分岐処理の組み合わせを考える生徒」「使用できるブロックを見つける生徒」「変数の足し算を考える生徒」の3つの役割を決めてから取り掛かるように促した。生徒が作成したプログラムを図7に示す。また、学習後の振り返りのコメント例を図

**■「ガーン」を貯めよう**

1番目（風力）

2番目（ガーン）

3番目

**ミッション①**では、dataというリストを作り、その1番目に風力のデータを格納しました。今回のミッションでは、「風力発電王」が「ガーン」を貯金して、その額が表示されるプログラムを作ります。

「リストの2番目」に「ガーン」のデータを格納して、それを表示（「風力発電王」が言う）させるプログラムを作ってみましょう。

「風力発電王」に「ガーン」が届くと自動的に一定額が貯金され、その額を表示する…というプログラムを作ります。プログラムをどこに作ったらいいか、もう検討はつきますね？

【プログラミングのヒント】

- ① 「
- ② （風力発電王が）「dataの2番目」と言う
- ③ もし（風力発電王が）「」に触れたら「dataの2番目」を「dataの2番目+1」と置き換える
- ④ 「

図6 イベントによる条件分岐処理を学ぶためのワークシート

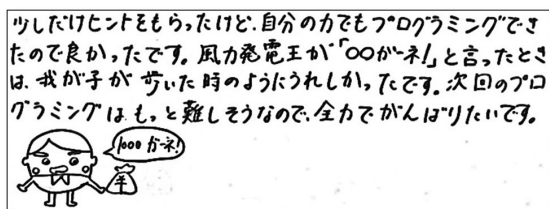


図 8 生徒の振り返りのコメント例

8に示す。

### 3.4 ネットワークを介した変数の共有

複数のシステムがネットワーク上の変数に同時並行的にアクセスするために必要なプログラムの基本を学ばせるために、「電力売買会社」にネットワークを介して「デンキ」を売るプログラム処理を学ばせた。Scratchでは、ローカルPC内でもネットワーク上でも、変数の値を置換するブロックは同じであるが、変数を参照する際に使用するブロックは区別されている（表3）。生徒にはまず、教員がこの点について図9に示すワークシートを使って説明して理解させた。

その後、図10に示すワークシートを与えて、「電気売るボタン」を押すと「電力売買会社」に「デンキ」の値を表示させる変数を読み取って、現在の「風力」の値を加算した値で置換するとともに、「風力発電王」が表示する「ガーネ」の値を増加させる

表3 変数を扱うブロック

	ローカルPC内	ネットワーク上
置換する場合	変数Aを《任意の値》にする	
参照する場合	変数A	変数A センサーの値

プログラムのアルゴリズムを考えさせた。

ほとんどのグループが、考え合いながら「電気売るボタン」が正しく動作するようにプログラムを作成できていたが、いくつかのグループの生徒は、誤って反復処理のブロックを付け加えてプログラムを作成していた（図11）。間違えた生徒たちは、このブロックについて「必ず使うものだと思っていた」と述べていた。このように、一部にはアルゴリズムとそれぞれのブロックに対する意味理解が不十分な生徒がいることが確認された。また、加算記号と乗算記号を間違えて、グループ内全員が混乱する事例も見られた（図12）。こうした生徒たちは、プログラミングのミスがグループのメンバー全員に影響を与えてしまうネットワークプログラミングの特徴に気付いた様子であった（図13）。

プログラム作成後の生徒は、「おお！増える増える！」と言い合って、大はしゃぎしながらボタンを押すごとに「デンキ」の値が増加する様子を確認し

■ 「電気売るボタン」に、ネット上で電力の売り買いをするプログラムを作ろう

前回の「ミッション3」に備えてを参考に、チームのメンバー全員のパソコンをネットに接続させておきましょう。

次に、データを共有して読み書きできるよう、左の①～③の手順でdenkiという変数を作りましょう。

① denki という変数を作る

② denki を 100 にする

③ denki センサーの値

のようにdenkiという変数を100にすると、その値はdenkiのアイコンで扱うことができます。ですから、例えばdenki + 50のアイコンを作れば、それは150になります。ところが、ネットワーク上で共有されている変数を読み取る時はdenkiではなく、denki センサーの値のアイコンを使う必要があります。

変数を書き換える時

ネット上の変数を読み取る時

denki センサーの値 + 30 =

denki センサーの値 - 20 =

図 9 ネットワーク上の変数の置換と参照の仕方を学ばせるワークシート

このミッションで「電気を売るボタン」に必要なのは、ボタンがクリックされたら、その時の風力に応じた電力を売るプログラムです。(風力2であれば、2デンキを2ガーネで売る。)

プログラム上では、

- ・「denki」という変数を「(ネット上の denki という変数) + (その時の風力の値)」にする
- ・「貯金しているガーネ」に「その時の風力の値」を加える

という処理をします。

ちなみに、風力は data の 1 番目に、貯金しているガーネは data の 2 番目に格納していましたね。

電気を売る

【プログラミングのヒント】

① 「denki」を「denki センサーの値 + data の 1 番目」にする

② data の 2 番目を「data の 2 番目 + data の 1 番目」で置き換える

図10 「電気を売るボタン」のプログラムを考えるためのワークシート



図11 誤って反復処理を加えたプログラムの例



図12 加算記号と乗算記号を誤ったプログラム例

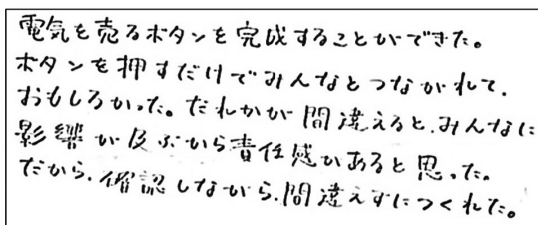


図13 ネットワークプログラミングの特徴を感じとった生徒のコメント例

ていた。

### 3.5 条件式と論理式を用いたプログラム

「FHG」は、「風力」が0になると「工場」が崩れていくアニメーションの後にゲームオーバーするため、素早く「電気を買うボタン」をクリックして「工場」の停電を回避しなければならない(図14)。

ところが、「電力売買会社」からの「デンキ」の買取り価格は「1 デンキ」につき「2 ガーネ」であり、「100デンキ」単位でしか売らない仕様になっている。したがって、「電気を買うボタン」には「デンキ」の値を格納する変数の値が100以上かつ「ガーネ」の値が200以上である条件を満たした場合にのみ動作するプログラムを実装させる必要がある。生徒には、ワークシートを使ってプログラミングのヒントを与えてアルゴリズムを考えさせた(図15A部分)。

グループ内で協同的にプログラミングをする習慣が定着してきたためか、どのグループもすぐに生徒同士で役割分担を決めてプログラミングに取り掛かり、「意外に簡単だ」言いながらプログラムを完成させて「FHG」で遊び始めていた。また、完成できない生徒に対しては、「みんなができないとゲー

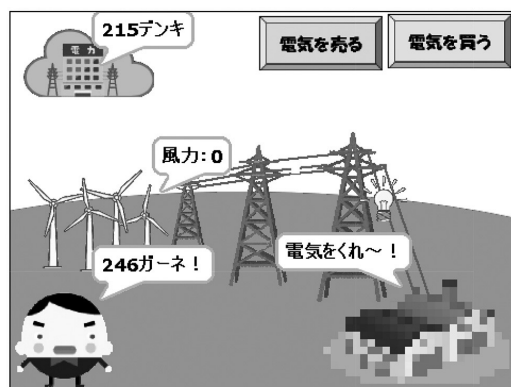


図14 「工場」が停電してゲームオーバーする直前の画面の様子



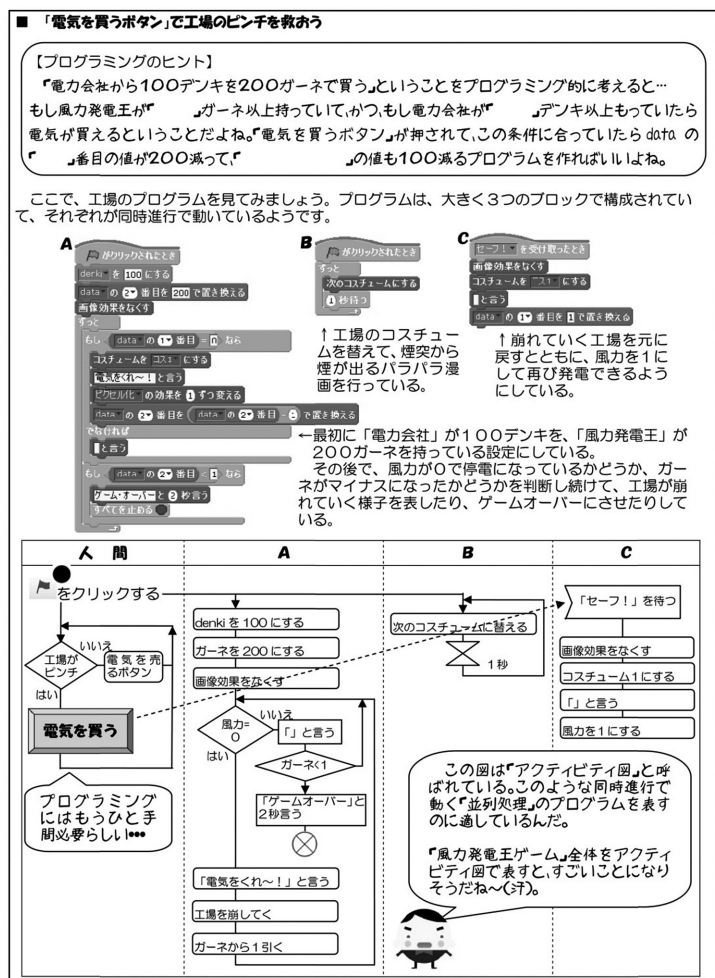


図15 プログラミングのヒントと並列処理を説明するワークシート

ムが進まない」と言いながらグループ内で支援し合う様子が見受けられた。生徒が作成したプログラムを図16に示す。

### 3.6 並列処理

「FHG」は、「工場」にゲームオーバーの判定処理、「工場」の煙突から煙を出すアニメーション処理、



図16 「電気を買うボタン」のプログラム

ゲームオーバーの中断処理、の3つのプログラムが実装された状態で生徒に与えられている。生徒には、これらのプログラムが並列的に処理されていることを理解させるために、「工場」のプログラムの簡易なアクティビティ図(図15B部分)を示して説明した。生徒の振り返りのコメント例を図17に示す。

### 3.7 「FHG」の自動化

電力需給の自動化を担うプログラム処理と、そのメリットについて考えさせる目的で、「電気を買う」「電気を買うボタン」の自動化に取り掛からせた。まず始めに「電気を買うボタン」は、単純な反復処理で自動化できることを伝えて取り掛からせた。どの生徒もすぐにプログラムを完成できていた(図18)。プログラムの動作を確認した生徒は、「ボタン

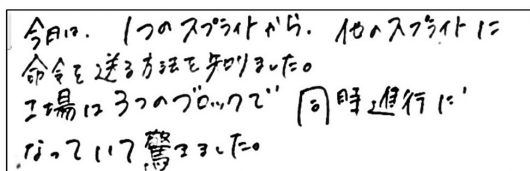


図17 生徒の振り返りコメントの例

を連打しなくいいからラク」「デンキもガーネもどんどん貯まる」と言って喜んでた。

次に、「電気を買うボタン」については、「風力」が0になった場合だけ必要な処理であることを伝えてプログラミングをさせた。これまでの学習の中で最も複雑な変数の取り扱いに戸惑う生徒が多く見受けられたが、「風力」と「ガーネ」の値が格納されている変数を常に監視して、「風力」=0かつ「ガーネ」>200の場合だけで動作させればよいことに気付いた何人かの生徒が、グループ内の生徒を支援して全員でプログラムを完成させていた(図19)。

プログラム作成後、動作を確認したほとんどの生徒が、すべて自動化された「FHG」に対して、「つまらない」「することがない」「見ていだけ」と述べて落胆している様子であった。一方で、「停電しなくて安心」「自動化ってこういうことか」「デンキが有効に使える」「機械に任せておける」と述べ、自動化の意味を実感している様子であった。

このように、変数の扱い方に対して難しさを感じる生徒が少なくないものの、グループ内の全員が



図18 「電気を買うボタン」の自動化プログラム



図19 「電気を買うボタン」の自動化プログラム

ネットワーク上で協同してプログラミングをしなければ上手く動作しない「FHG」の学習に取り組み、自動化プログラムの仕組みと意義を実感していた。

## 4. 結果と考察

### 4.1 質問紙調査

学習後の生徒に対して、①「FHG」教材を活用した授業に対する中学生の意識状況、②協同的学びによる学習内容の定着に関する意識、③ネットワークプログラミングのスキル定着に対する意識、④電力需給の自動処理のしくみと意義理解、について明らかにするために、質問紙による調査を実施した。結果を表4に示す。

### 4.2 「FHG」教材を活用した授業に対する中学生の意識状況

「FHG」を活用した授業に対する中学生の意識状況を明らかにするために、1)～4)の設問に対する結果に着目する。「FHG」の学習の難易度を問う1)の設問に対しては、51人中30人(59%)の生徒が「難しい」と否定的な回答をした一方で、2)の学習の楽しさを問う設問に対しては、42人(82%)が「楽しい」と肯定的な回答をした。また、「FHG」の学習の有用性に対する意識を問う3)の設問に対しては、「ためになる」と回答した生徒が37人(72%)であり、学習内容に対する興味を問う4)の設問の回答からは、35人(69%)が興味をもって取り組んでいたことがわかった。

以上から、「FHG」は中学生に対して、一定の難易度を感じさせながらも、興味と有用性を感じさせる適切な教材であると言える。

### 4.3 協同的学びと学習内容の定着に関する意識

「FHG」は、ネットワークを介して双方向でデータをやりとりし、プログラミングの結果をみんなで確かめ合いながら協同的に学び合うことが必要である。このようなプログラミング学習における協同的学びの必然性をもたらす「FHG」の教材設計と、習得させるプログラミングスキルの難易度をスモールステップで高める配列にした単元の構成について考察するために、5)と6)の設問に対する結果に着目した。協同して学ぶことができたかを問う5)の設問に対しては、37人(73%)が「グループで話し合って学べる」と回答した。質問紙に設けた自由記述欄には、「友達と教え合ってきたことがたくさんあった」「グループの一人でも間違えるとうま

表4 調査結果

	人 (%)				
	1	2	3	4	5
1) 「FHG」の学習は簡単	0(0)	5(10)	16(31)	21(41)	9(18)
2) 「FHG」の学習は楽しい	21(41)	21(41)	6(12)	3(6)	0(0)
3) 「FHG」の学習はためになる	19(37)	18(35)	12(24)	2(4)	0(0)
4) 「FHG」の学習に興味がある	13(26)	22(43)	14(27)	2(4)	0(0)
5) グループで話し合っ て学べる	31(61)	6(12)	9(17)	2(4)	3(6)
6) 「FHG」の学習内容がわかる	15(29)	21(41)	12(24)	2(4)	1(2)
7) ネットワークのプログラミング わかった	6(12)	30(59)	9(17)	4(8)	2(4)
8) 並列処理について理解できた	13(25)	19(37)	12(24)	7(14)	0(0)
9) SGのプログラムの働 きと仕組みが想像できる	21(41)	14(27)	9(18)	5(10)	2(4)
10) 実際に使えばエネルギーの有 効活用につながる	20(39)	18(35)	10(20)	3(6)	0(0)

くできないから、協力し合うことが大切だと思った」等の記述が見られた。そして、学習内容の定着に関する意識を問う6)の設問に対しては、36人(70%)が「学習内容がわかる」と回答した。自由記述欄には「だんだんと難しくなっていくが、協力し合っ  
てこなせた」「得意じゃないが、友達と一緒に頑張  
れた」「最初は簡単だと思っていたけど、最後はか  
なり難しかったがみんなと一緒に完成できた」等の  
記述が見られた。

これらのことから、グループ内で協同して電力需給の疑似システムを再現して学ぶ「FHG」の教材としてのつくりと、スモールステップで難易度を高める配列の単元構成が、内容理解の定着に対する意識に寄与したと言える。

#### 4.4 ネットワークを介したプログラミングスキルの定着に対する意識

ネットワークを介したプログラミングスキルの定着に対する意識を問う7)の設問に対しては、36人(71%)が「わかった」と肯定的な回答を示し、概ね良好な結果であると言える。しかし、その内訳に

着目すると、「よくあてはまる」と強い肯定感をもって回答した生徒は6人(12%)に留まっている。これは、Scratch特有の変数の置換用ブロックと参照用ブロックの使い分けに対する理解が十分ではなかったためであると考えられる。実際に、自由記述欄には、「変数の使い方がすごく難しくて悩んだ」「変数を一つでも間違えるとできなかった」等ネットワーク上の変数の取扱いの難しさに関する記述がいくつか見られた。また、並列処理の理解について問う8)の設問に対しては、32人(62%)が「理解できた」と肯定的な回答をしていた。「簡易なプログラムが同時に動いて複雑な動きをしていることがすごいと思った」「いくつものプログラムから構成されていて、一つでも不備があると成り立たないから繊細だとわかった」「チームの一人でも間違え  
るとうまくできない」等、コンピュータプログラムの緻密さを実感する記述が見られた。

以上のことから、ネットワークを介した変数の取扱いに関する理解は、十分であるとは言えないが、多くの生徒が、ネットワーク上のデータを双方向でやりとりするために必要なプログラミングスキルを身に付けたことを自覚したと言える。そして、授業では、グループの全員がプログラムを完成して初めて遊べる「FHG」を、みんなで協同して完成させ、楽しむことができていたことから、筆者らが設定した教育目標の一つめである「ネットワークを介して変数を参照したり置換したりするプログラミングができること」を達成できたと言える。

#### 4.5 電力需給の自動処理のしくみと意義理解

「FHG」の学習が、電力需給の自動化を実現するプログラム処理のしくみ理解と、そうしたプログラム処理の意義理解を促したかを検証するために9)と10)の設問に対する結果に着目した。電力需給の自動処理プログラムに対しては、9)の設問で35人(68%)の生徒が「SGのプログラムのはたらきと仕組みが想像できる」と肯定的な回答をしていた。また、そうしたプログラム処理がエネルギーの有効活用に果たす役割の認識を問う10)の設問に対しては、38人(74%)が「実際に使えばエネルギーの有効活用につながる」と回答した。自由記述欄には、「電気を売るボタンや買うボタンのプログラムを作っ  
て、プログラムの仕組みがつかめた。実際に利用で  
きたらすごいと思った」「余った電力や不足する電力を補うプログラムがわかった」「プログラムを作

りながら、実際に利用できたらエネルギーの有効利用につながってすごいと考えた」「このようなプログラムが現実にならとて便利になると思った」等の記述が多く見られた。

このことから、筆者らが設定した教育目標の二つめである「コンピュータプログラムの工夫がエネルギー資源の有効利用に寄与していることを実感的に理解できること」が達成できたと言える。

## 5. 結論

本研究では、電力需給の疑似システムを題材にした「FHG」と称するオンラインゲームのプログラミングを学びながら、そうした技術に組み込まれた自動化プログラムのしくみと、その意義について考える教材と指導法を開発した。

中学生に対して実験授業を行った結果、筆者らが教育目標として設定した「ネットワークを介して変数を参照したり置換したりするプログラミングができること」、「コンピュータプログラムの工夫がエネルギー資源の有効利用に寄与していることを実感的に理解できること」の二つを達成したことを示した。そして、中学生は、グループ内で協同して学ぶ必然性のある「FHG」の授業に対しては、難しさを感じながらも、自分たちに有用な学習をみんなで協同して楽しんで取り組めると実感できる教材であることを示した。

今後は、他の中学校でも実験授業を実施し、教材と指導法を改善して授業プログラムを確定することが課題である。

## 参考文献

- 1) 未来投資戦略 2018－「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革－，首相官邸日本経済再生本部，p.5,43（2018）
- 2) 野村敦子：データがもたらす経済・社会の変革－データドリブン社会を目指す先行事例から得られる示唆と課題－，日本総研JRIレビュー 2018，PP.4-5（2018）
- 3) 文部科学省 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編，p.52（2017）
- 4) 秋山政樹，花田 守，本多満正，菅家久貴，佐々木純：スマートグリッドの知的処理を理解する疑似体験教材と指導法の開発，秋田大学教育文

化学部教育実践研究紀要，第38号，pp.243-251（2016）

- 5) 秋山政樹，本多満正，内橋和佳，菅家久貴，花田 守：給電設計をパフォーマンス課題とした協働的学びの授業づくり，日本産業技術教育学会第34回東北支部大会講演論文集，pp.1-2（2016）
- 6) 平井佑樹，井上智雄：ペアプログラミング学習における状態の推定－つまずきの解決の成功と失敗に見られる会話の違い，情報処理学会論文誌 Vol.53 No.1，pp.72-80（2012）

## 謝辞

本研究は，JSPS 科研費15K04453の助成を得た。

## Summary

The task of the authors was to create a lesson for junior high school students to learn about the mechanism of an automated technology system relevant in their everyday lives. Previous studies had enabled students to appreciate the significance of automation by manually pursuing automatic processing embedded in a smart grid power supply and demand management system.

For this lesson we focused on the electricity supply and demand management computer program itself which is a core part of the smart grid. We developed programming teaching materials and teaching methods that allow students to learn about programming through interacting with each other on a computer network. We also explored the social significance that such technology has in reciprocal utilization of energy resources. In this paper, we will examine and report on the teaching materials developed and educational effect of using them in the lesson.

**Key Words** : computer network programming, smart grid, Scratch, technical education

(Received January 7, 2019)